

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL

**CENÁRIOS DE ABASTECIMENTO FUTURO DE PALMAS-TO COM BASE
NA SIMULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIBEIRÃO
TAQUARUSSU GRANDE**

ANTONIO RODRIGUES DA SILVA NETO

Porto Alegre, RS – Brasil

Março, 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL

**CENÁRIOS DE ABASTECIMENTO FUTURO DE PALMAS-TO COM BASE
NA SIMULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIBEIRÃO
TAQUARUSSU GRANDE**

ANTONIO RODRIGUES DA SILVA NETO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (M.Sc.).

Orientador: Prof. Dr. André Luis Lopes Silveira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos André B. Mendes – IPH/UFRGS

Prof. Dr. Olavo Correa Pedrollo – IPH/UFRGS

Prof. Dr. Girlene Figueiredo Maciel – UFT

Porto Alegre, RS – Brasil

Março, 2011

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista a minha Mãe, mulher de grande sabedoria que colocou a frente de seu filho barreiras para que ele pudesse superar, apresentou desafios para que se tornasse vitórias, para que menino vivesse como homem e o homem fosse eterno menino nos braços de sua Mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor meu Deus, pela oportunidade dada a mim, a minha família e meus amigos de procurar a sabedoria nesta etapa profissional de minha vida e conquistá-la.

Ao meu filho Pedro Lucas, pelos dias que me chamava para brincar, onde naquele momento deveria parar de estudar e ficar com a minha família. A minha esposa Mônica Araujo, pela compreensão, ajuda, carinho, apoio e dedicação a tudo o que faço proporcionando um coração cheio de graça.

Agradeço os laços atados com os meus amigos da turma de mestrado pela determinação, pelo companheirismo em todas as dificuldades que nós passamos nesta caminhada até este momento.

A Empresa SANEATINS, pelo apoio e visão de proporcionar aos seus funcionários a oportunidade de se aperfeiçoarem tecnicamente tornando-se um profissional melhor.

Ao professores do IPH, por seus ensinamentos e verdades que nos aconselharam nesta trajetória rumo a mais uma conquista. Agradeço ao Professor André Silveira pelos ensinamentos e paciência na conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos professores da Universidade Federal do Tocantins – UFT, o Prof.º Girlene Marciel, da Fundação Universidade do Tocantins - UNITINS, o Prof. Luiz Cabral e da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, o Prof.º Silvestre Lopes pelas discussões e os conselhos no desenvolvimento do trabalho.

À Secretaria do curso de Pós-Graduação na UFT, a Sr.ª. Keila Guimarães que nos abençoou por sua presença em nossas vidas, nos acolheu e nos ensinou de como é uma verdadeira amizade.

A todos, MUITO OBRIGADO....

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Colocação do Problema.....	1
1.2. Hipótese.....	1
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Objetivo	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Disponibilidade Hídrica Natural.....	4
2.2. Gestão de Recursos Hídricos.....	6
2.3. Estimativa das Séries Hidrológicas em Locais com Dados Insuficientes	7
2.4. Mudança e Variabilidade Climática	11
2.5. Demanda de Água para Abastecimento Público	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1. Área de Estudo	14
3.1.1. Sistema de Abastecimento de Água do Município de Palmas/TO.....	18
3.2. Estratégia Metodológica.....	20
3.3. Estimativa da Oferta Hídrica	21
3.4. Estimativas das Projeções de Demandas	25
3.4.1. Projeção de Demanda para o Abastecimento da População Urbana.....	25
3.4.2. Projeção de Demanda para Abastecimento da População Rural da Sub-Bacia do Ribeirão Taquarussu Grande	28
3.4.3. Projeção de Demanda para a Irrigação	29
3.4.4. Projeção de Demanda para Abastecimento Animal	30
3.5. Cenários Propostos	31
3.5.1. Cenário 01: Demanda Hídrica para o Abastecimento	31
3.5.2. Cenário 02: Demanda Hídrica para Abastecimento após Simulações de Retiradas Hipotéticas.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34

4.1. Disponibilidade Hídrica.....	34
4.1.1. Sub-bacia 01: Aplicação do Modelo Win_IPH2.....	34
4.1.2. Sub-bacia 02: Métodos Aplicados.....	37
4.1.3. Cálculo das Vazões Mínimas	39
4.2. Demanda Hídrica.....	41
4.2.1. População Urbana de Palmas-TO.....	41
4.2.2. Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande	41
4.2.2.1 População Rural.....	42
4.2.2.2. Irrigação.....	42
4.2.2.3. Abastecimento Animal	43
4.2.2.4. Demanda Total	44
4.3. Cenários	44
4.3.1. Cenário 01: Demanda Hídrica para o Abastecimento	46
4.3.2. Cenário 02: Demanda Hídrica para o Abastecimento após simulações de retiradas hipotéticas.....	52
4.3.3. Análise dos Cenários	58
5. CONCLUSÃO.....	60
6. RECOMENDAÇÕES.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO A.....	69

NETO, A. R. S. N. (2010) **Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas-TO com base na Simulação da Disponibilidade Hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUMO

A falta de dados hidrológicos é fator limitante da representação mais precisa do comportamento hídrico, comprometendo a gestão de bacias hidrográficas. Quando estas bacias são responsáveis pelo abastecimento público a situação torna-se crítica. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para avaliação da disponibilidade hídrica para o abastecimento, utilizando cenários adaptados ao clima do cerrado, mesmo com carência de dados hidrometeorológicos, sendo aplicada na Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande em Palmas-TO. A proposta de metodologia consiste na Estimativa da Oferta Hídrica, onde propôs obter os dados de disponibilidade hídrica através dos Métodos de Proporção de Área, de Regressão e do modelo chuva-vazão Win_IPH II, posteriormente adotando a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ como as vazões de referência; na Estimativa da Demanda e Projeções, que identificou os usos consultivos e a taxa de crescimento da população urbana e rural, da criação animal e os seus respectivos consumos per capita, necessária para a projeção de demanda futura; nos Cenários Propostos, foram aplicadas simulações para atendimento do abastecimento público no horizonte de 20 anos, considerando a variabilidade climática na região e/ou inserção de novos usuários, no qual a vazão de referência adotada foi cotejada com a curva de demanda, avaliando a disponibilidade hídrica e identificando a variação do máximo déficit. Os resultados obtidos foram que a metodologia proposta se mostrou adequada, como uma ferramenta de análise e tomadas de decisões no gerenciamento integrado dos usos dos recursos hídricos; observou que a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ anual adotada restringe o uso da água na maior parte do tempo, enquanto a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ mensal possui uma maior capacidade de disponibilizar água; o maior usuário da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande é a população urbana do município de Palmas, sendo esta responsável por 98,5% do total consumido; nos cenários, o Caso 01 do Cenário 02, demonstrou ser a tendência futura no atendimento da demanda de 66% da população urbana (ETA 006) utilizando a Q_{90} mensal, tendo o déficit de 47,17% no ano de 2010.

Palavra chave: abastecimento público, projeção de demanda hídrica, conflito de uso, projeção de disponibilidade hídrica, modelo hidrológico.

NETO, A. R. S. N. (2010) **Scenarios of Future Supply Palmas-TO based Simulation Hydric Availability of the Stream Taquarussu Grande**. Thesis (Master) - Hydraulic Research Institute, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011

ABSTRACT

The lack of hydrological data is a limitante factor of the most precise representation of the hydric behaviour, compromising the management of hydrological basins, when these basins are responsible for the publish supply the situation becomes critical. This paper proposes a methodology for assessment of watershed conditions in the supply scenarios adapted to the scarcity of hydrometeorological data, being applied in the sub-basin of the Great Stream Taquarussu Palmas-TO. The proposed methodology is the estimate of Water Supply, which aimed to obtain data on water availability through the methods of Area Ratio, Regression and model rainfall-runoff Win_IPH II, later adopting the Q_{90} and $Q_{7,10}$ as the flow of reference; Estimation of the Demand and Projections, which identified the uses advisory and the growth rate of urban and rural population of the animal creation and their respective per capita, which is necessary for the projection of future demand, in the proposed scenario, simulations were applied to attend the public supply in the 20-year horizon, given the climate variability in the region and / or adding new users, in which the reference flow used was checked against the demand curve, assessing water availability and identifying the shift of the maximum deficit and Estimated Cost of Work, which has proposed alternatives to increase water availability by estimating the costs of these works. The results were that the proposed methodology was adequate as a tool for analysis and decision making in integrated management of water resources uses; noted that the Q_{90} and $Q_{7,10}$ adopted restricts the annual water use in most of the time , While the Q_{90} and $Q_{7,10}$ monthly has a greater capacity to provide water, the biggest user of the Sub-basin Taquarussu Ribeirão Grande is the Palmas city urban population which is responsible for 98.5% of total consumption, in the scenarios, the case 01 of Scenario 02, proved to be the future trend in meeting demand of 66% of urban population (ETA 006) monthly using the Q_{90} , with the deficit of 47.17% in 2010.

Key-Words: public supply, projected water demand, use conflict, projection of water availability, hydrologic model

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico do Hidrograma e período de duração d de vazões mínimas	4
Figura 02: Mapa de localização da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande - TO	14
Figura 03: Mapa dos Solos da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande - TO.....	16
Figura 04: Sistema de Abastecimento de Água do Município de Palmas/TO.....	19
Figura 05: Gráfico do Histórico de Vazões do Ribeirão Taquarussu Grande na Estação Seca	20
Figura 06: Divisão da sub-bacia 01 e 02 e Localização das Estações e Ponto de Medição....	22
Figura 07: Hidrograma da Calibração 01	36
Figura 08: Hidrograma da Calibração 02.....	36
Figura 09: Gráfico da Série de Vazões Diárias Gerada da Sub-bacia 01.....	37
Figura 10: Gráfico de Comparação das vazões calculadas com a observada na Sub-bacia 02	38
Figura 11: Gráfico da Série de Vazões Diárias Gerada da Sub-bacia 02.....	39
Figura 12: Gráfico da Vazão Mínima da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande (Anual - Período de 2002 a 2009).....	39
Figura 13: Gráfico da Vazão Mínima da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande (Mensal – Período de 2002 a 2009).....	40
Figura 14: Gráfico da Projeção de Crescimento Populacional Urbano e Demanda Hídrica do Município de Palmas/TO.....	41
Figura 15: Gráfico da Projeção de Crescimento Populacional Rural e Demanda Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande.....	42
Figura 16: Gráfico da Projeção de Crescimento da Área Irrigada e Demanda Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande	43
Figura 17: Gráfico da Projeção de Crescimento da Criação de Animais e sua Demanda Hídrica na Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande.....	43
Figura 18: Gráfico do Limite da Disponibilidade Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande – Período de 2002 a 2009	45
Figura 19: Gráfico da Projeção de Crescimento de 66% da População Urbana (ETA 006) e Demanda Hídrica do Município de Palmas/TO	45
Figura 20: Mapa de Localização da ETA 006 e Braço do Lago da UHE Lajeado	59
Figura 21: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da <i>Vazão Outorgada Mensal e Anual</i> baseada na Q_{90} e a Demanda para Abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”.	70

- Figura 22:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q_{90} e a Demanda para Abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”. 71
- Figura 23:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para Abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”. 72
- Figura 24:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para Abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 02”. 73
- Figura 25:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q_{90} e a Demanda para abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 - Caso 01”. 74
- Figura 26:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q_{90} e a Demanda para abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 - Caso 01” 75
- Figura 27:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 – Caso 02” 76
- Figura 28:** Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 – Caso 02” 77

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Vazão “per capita” do meio urbano	13
Quadro 02: Características Fisiográficas da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande	17
Quadro 03: Sistema de Abastecimento de Água de Palmas/TO	18
Quadro 04: Estação Fluviométrica.....	22
Quadro 05: Estação Pluviométrica.....	22
Quadro 06: ETP do Município de Palmas/TO	23
Quadro 07: Vazão “per capita” do meio urbano, por estado	26
Quadro 08: Vazão “per capita” no meio rural, por estado	29
Quadro 09: Vazão Máxima Requerida pelas Culturas.....	29
Quadro 10: Consumo per capita de água por grupo animal.....	30
Quadro 11: Valores dos Parâmetros Calibrados	35
Quadro 12: Valores das Funções Objetivo	35
Quadro 13: Valores das Q_{90} e Análise Estatística.....	38
Quadro 14: Ajustamento de Curvas de Regressão.....	38
Quadro 15: Projeção de Demanda Hídrica	44
Quadro 16: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> calculada com base na Q_{90} e a Demanda de 100% da População Urbana	47
Quadro 17: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> calculada com base na Q_{90} e a Demanda de 66% da População Urbana	48
Quadro 18: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 100% da População Urbana	50
Quadro 19: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 66% da População Urbana	51
Quadro 20: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> , calculada com base na Q_{90} e a Demanda de 100% da População Urbana.	53
Quadro 21: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> , calculada com base na Q_{90} e a Demanda de 66% da População Urbana (ETA 006).	54
Quadro 22: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da <i>Vazão Outorgada mensal e anual</i> , calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 100% da População Urbana (ETA 006).	56

Quadro 23: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada mensal e anual*, calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 66% da População Urbana (ETA 006).57

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA	- Agência Nacional das Águas
APA	- Área de Proteção Ambiental
DNAEE	- Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica
ELETRORÁS	- Centrais Elétricas Brasileiras S.A
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	- Estação de Tratamento de Água
ETP	- Evapotranspiração Potencial
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática
IPH2	- Modelo Hidrológico de Chuva-Vazão
NATURATINS	- Instituto Natureza do Tocantins
NEMETH-RH	- Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos - TO
PREVIVAZM	- Modelo Hidrológico de Chuva-Vazão
QUAL2E	- Modelo de Qualidade de Água de Rios
QUAL2R	- Interface gráfica para o modelo Qual2E
RIB	- Ribeirão
RURALTINS	- Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Tocantins
SAA	- Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEATINS	- Companhia de Saneamento do Tocantins
SEAGRO	- Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural de Palmas/TO
SEPLAN	- Secretaria do Planejamento do Estado do Tocantins
SNIS	- Sistema Nacional de Informações em Saneamento
SWAT	- <i>Soil Water Assessment Tool</i>
TAQ	- Taquarussu
TOPMODEL	- <i>Topography based hydrological Model</i>
UNITINS	- Fundação Universidade do Tocantins
UFT	- Universidade Federal do Tocantins
USGS	- United States Geological Service
Win_IPH2	- Modelo Matemático de Precipitação Chuva-Vazão

1. INTRODUÇÃO

1.1. Colocação do Problema

A falta de longas e consistentes séries de dados hidrometeorológicos é fator limitante da representação mais precisa do comportamento hidrológico, comprometendo a gestão de bacias hidrográficas. Associada a esta escassez de dados encontra-se a deficiência de pesquisas para identificação da oferta hídrica em muitas bacias hidrográficas responsáveis pelo abastecimento público, frente à necessidade de suprir a demanda futura para os diversos usos.

A consequência desta carência de conhecimento oportuniza o desenvolvimento de metodologias em bacia hidrográfica para avaliação das condições de abastecimento em cenários adaptados à escassez de dados hidrometeorológicos.

Torna-se, então, necessário o uso de ferramentas auxiliares (modelos hidrológicos) para a compreensão dos processos naturais envolvidos no ciclo hidrológico e a obtenção dessas informações, que podem auxiliar as entidades gestoras de recursos hídricos na formulação de propostas, no planejamento e nas tomadas de decisões sobre a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica.

Estas metodologias poderiam também abrandar a problemática nas empresas de saneamento responsáveis pelo abastecimento público e esgotamentos sanitários, haja vista que, em seus planejamentos estratégicos, face ao horizonte de 20 anos, não levam em conta muitas vezes, o risco de desabastecimento.

A Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, concessionária responsável pelo o abastecimento público e esgotamento sanitário do estado do Tocantins, insere-se neste contexto. A sua principal Estação de Tratamento de Água – ETA 006 em Palmas, capital do Estado, capta água no Ribeirão Taquarussu Grande, que é responsável atualmente pelo abastecimento de aproximadamente 145 mil habitantes, sua bacia hidrográfica tem carência de dados hidrológicos.

1.2. Hipótese

Mesmo em um contexto de dificuldade de dados e informações é possível propor uma metodologia com base científica para avaliação das condições de abastecimento público em

cenários adaptados à carência de dados hidrometeorológicos, conforme apontado na colocação do problema.

1.3. Justificativa

Os dados hidrológicos são a base para o desenvolvimento, planejamento e gestão dos recursos hídricos. As regiões mais remotas normalmente não possuem equipamentos instalados necessários ao monitoramento destes dados, devido à falta de recursos e/ou ineficiência organizacional dos órgãos responsáveis.

É necessária a conscientização dos gestores na elaboração de estratégias que dêem prioridade à implantação de uma rede hidrometeorológica. Esta ação no médio prazo propiciaria dados reais essenciais para realização de trabalhos científicos e a gestão sustentável dos recursos hídricos, tanto para o poder público como para as empresas responsáveis pelo abastecimento público e esgotamento sanitário.

Como o acesso à água é um dos fatores mais limitantes para o desenvolvimento sócio-econômico de muitas regiões, as incertezas quanto ao abastecimento público devido à carência de dados hidrológicos geram conflitos no uso da água, inviabilizam investimentos ou comprometem a qualidade da água. Esta deficiência de dados compromete integralmente o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia, intensificando os conflitos.

De acordo com Silveira (1997), atualmente, inexistem métodos confiáveis para estimativa de disponibilidade hídrica na ausência de dados, o que limita a avaliação de aproveitamentos de pequenos mananciais, como pequenas centrais hidrelétricas, sistema de irrigação e abastecimento urbano, além de prejudicar os estudos de avaliação da qualidade das águas e os de apoio à instrução de processos de outorga.

O que está ocorrendo, segundo Silveira (1997) é que a falta destas informações hidrológicas, nas bacias, induz os pesquisadores a utilizarem métodos e modelos na tentativa de obter respostas aceitáveis, de maneira que estas se assemelhem às condições reais. O que se pode obter é uma melhor maneira de se extrair informações existentes, pois nenhuma metodologia poderá aumentar as informações já existentes nos dados (TUCCI, 2006).

Tucci (1987) apud Mazieiro (2010) salientaram que os projetos precisam ser desenvolvidos, e dificilmente será possível implantar uma rede de coleta e esperar que dados sejam obtidos com boa amostragem, para que estudos sejam realizados. Nestes casos, os modelos hidrológicos se constituem em poderosas ferramentas. Os modelos hidrológicos

buscam representar os processos do ciclo hidrológico, como a evaporação, a infiltração, os escoamentos na superfície e o subterrâneo. A escolha de um ou outro tipo é feita conforme o objetivo do trabalho e a disponibilidade dos dados.

No presente trabalho discute-se a possibilidade de uso destes dados hidrológicos escassos utilizando o modelo de chuva-vazão como forma de simulação das vazões mínimas, com intuito de propor uma metodologia na bacia hidrográfica para avaliação das condições de abastecimento em cenários adaptados à carência de dados hidrometeorológicos.

Com esta proposta, pretende-se compor uma metodologia que identifique o déficit hídrico em cenários para abastecimento público, proporcionando aos gestores públicos o gerenciamento da disponibilidade hídrica.

1.4. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para avaliação da disponibilidade hídrica para o abastecimento, utilizando cenários adaptados ao clima do cerrado, mesmo com carência de dados hidrometeorológicos, tendo como estudo de caso a cidade de Palmas/TO.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Disponibilidade Hídrica Natural

A disponibilidade hídrica natural de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua duração e frequência de ocorrência, refletindo o potencial natural disponível para o abastecimento de água das populações, indústrias, irrigação, navegação, geração de energia elétrica e lançamentos de efluentes (RODRIGUES, 2000).

Segundo Novaes (2005) as vazões médias e mínimas são de grande importância para um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, de forma que minimize, os conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários.

De certa maneira, a estimativa da disponibilidade hídrica recai freqüentemente na situação da estimativa de vazões mínimas para seções sem monitoramento hidrológico ou com série estatisticamente pequena.

As vazões mínimas são obtidas a partir de novas séries de valores que se constituem de combinações matemáticas entre as vazões médias diárias.

Essas novas séries podem ser constituídas de vazões que representam uma média móvel de determinada duração. Várias durações podem ser utilizadas, formando distintas séries, sendo que uma das mais freqüentes é a duração de sete dias (CRUZ, 2001).

Isto permitirá estimar níveis de frequência e, reciprocamente, o risco de ocorrência de valores maiores ou menores que um dado nível de vazão. Na figura 01 apresenta-se o gráfico do hidrograma e período de duração d de vazões mínimas.

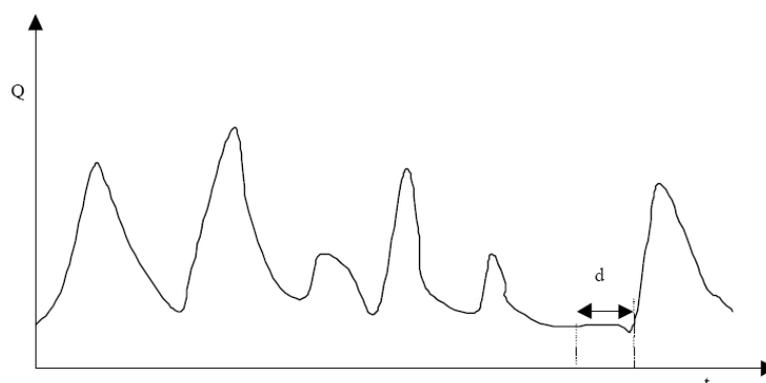


Figura 01: Gráfico do Hidrograma e período de duração d de vazões mínimas

Tucci (2002) afirma que as características da vazão mínima podem ser estabelecidas pela análise de frequência, curvas de duração ou permanência e depleção. A curva de frequência, obtida a partir da amostra de vazões observadas, procura inferir a função cumulativa de probabilidades da população da qual a amostra foi retirada.

No entanto, segundo Lima (2008) quando há falta de dados de campo, a vazão pode ser obtida por meio do índice denominado “vazão específica” que pode fornecer uma excelente idéia da ordem de grandeza da vazão disponível ao longo dos cursos d’ água. A vazão específica é definida pela razão entre a vazão que flui em determinado ponto do rio e sua respectiva área de drenagem.

A grande maioria dos pesquisadores utiliza a curva de permanência ou de duração que é obtida da frequência da ocorrência das vazões ou níveis de uma determinada bacia, para determinar a vazão (TUCCI, 2002).

Esta curva retrata a parcela do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado. O interesse na busca desta curva consiste em conhecer a amplitude de variação das vazões e, principalmente, a frequência com que cada valor de vazão ocorre, numa determinada seção do curso d’ água (SILVA e BAENA, 2002).

Segundo Euclides et. al. (2001), além dos resultados diretos que fornece para o estudo do aproveitamento das disponibilidades do curso d’ água, a curva de permanência constitui um instrumento valioso de comparação entre as características distintas das bacias hidrográficas, colocando em evidência os efeitos do relevo, da vegetação e uso do solo e da precipitação, sobre a distribuição das vazões.

A curva de frequência procura inferir a função cumulativa de probabilidades da população da qual a amostra foi retirada (das vazões, por exemplo). Isso permite estimar níveis de frequência e, reciprocamente, os riscos de ocorrência de valores maiores ou menores que um dado nível de vazão (TUCCI, 2002).

A estimativa do tempo de retorno das amostras de dados pode ser determinada pelo uso de funções de ajuste das distribuições de frequência das variáveis analisadas. Dentre as fórmulas comumente utilizadas, citam-se as distribuições de Weibull, Normal, Log-normal e a distribuição Assintótica de Extremos I. (LANNA, 2004).

As durações mais comuns utilizadas para análise de frequência de vazões mínimas são as de 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90 e 180 dias, sendo a determinação desses valores realizada pela pesquisa do valor mínimo, por meio de médias móveis dessas durações. Normalmente,

durações maiores, como 7 ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário, já que a seqüência de vazões baixas é que representa uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. Procedimentos para determinação de curvas de vazões mínimas são encontrados em Tucci (2002) e Lanna (2004).

Outra aplicabilidade da curva de permanência, no caso da gestão das águas no Brasil, é na definição de limites de outorga superficial por muitos dos órgãos gestores de recursos hídricos, que utilizam percentuais dos índices Q_{90} , e $Q_{7,10}$ para estabelecer limites da máxima vazão de retirada de água nos rios.

2.2. Gestão de Recursos Hídricos

O conhecimento do comportamento temporal e espacial das variáveis hidrológicas e das vazões consumidas pelos diversos usuários da água é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite quantificar a disponibilidade dos recursos hídricos no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso se encontra ou pode vir a se tornar escasso. Mais do que a simples análise do comportamento hidrológico, o inventário das disponibilidades de água deve prever uma quantificação dinâmica e precisa do quanto, onde, quando e como utilizar os recursos hídricos (RODRIGUEZ, 2004).

A Política Nacional de Recursos Hídricos ressalta a importância de cinco instrumentos essenciais à boa gestão dos recursos hídricos: a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e o Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

O instrumento de outorga de direito do uso de recursos hídricos busca uma adequada administração da oferta das águas, visando evitar concessões e autorizações incompatíveis com a disponibilidade hídrica existente, estabelecendo a vazão de referência.

Em rios perenes, a outorga é usualmente feita com base na $Q_{7,10}$ (vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos) ou na Q_{90} (vazão mínima com 90% de permanência no tempo) que é definida através da estimativa da curva de permanência das vazões naturais, dentre outras.

Segundo Harris et. al. (2000) apud Rodriguez (2004), a aplicação do critério de vazão de referência é o procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para

derivações são geralmente feitas a partir de uma vazão de base de pequeno risco. A vantagem de usar vazões de estiagem é a de que se obtêm maiores garantias de que não ocorrerão falhas de atendimento.

Por exemplo, a Agência Nacional das Águas - ANA, adota como vazão de referência a Q_{95} , que dispõe como limite até 70% da mesma para os usos superficiais, estabelece como vazão remanescente no rio no mínimo 30% da vazão com 95% de permanência.

O Distrito Federal, assim como Bahia e Pernambuco, adota 80% da Q_{90} como limite máximo das derivações. O Estado de Goiás estabelece que o limite máximo das derivações consultivas a serem outorgadas é de 10% da $Q_{7,10}$, enquanto Minas Gerais estabelece o limite máximo para a outorga como sendo 30% da vazão $Q_{7,10}$.

No estado do Tocantins, onde está localizada a bacia em estudo, o órgão ambiental competente, o Instituto Natureza do Tocantins - NATURATINS, gestor de recurso hídrico, através da Portaria Estadual nº 2.432/04, estabeleceu que a vazão máxima a ser outorgada é de 75% da Q_{90} .

Por outro lado, Pereira e Lanna (1996) apud Rodrigues (2004); Ribeiro (2000); Medeiros e Naghettini (2001), criticam o uso da vazão de referência como base para outorga, pois, segundo esses autores, apesar de minimizar os riscos de falha no atendimento às demandas, limita a expansão dos sistemas de uso da água, visto que, em grande parte do tempo, as vazões ocorridas superam as vazões de referência.

2.3. Estimativa das Séries Hidrológicas em Locais com Dados Insuficientes

O desenvolvimento de estudos para quantificação de disponibilidade hídrica é limitado pela ausência de dados fluviométricos em pequenos rios, pois a rede hidrometeorológica do Brasil atende principalmente às grandes bacias hidrográficas, geralmente superiores a 300 km² (BLANCO; SECRETAN; FAVRE, 2007).

A escassez de dados para estudos em hidrologia e recursos hídricos, devido à não disponibilidade temporal e espacial de informações, levou à busca de formas de transferências dos dados conhecidos de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Embora não seja normalmente reconhecido como modelo regional, o modelo de síntese de vazões por proporção de áreas contribuintes, ou simplesmente, o modelo de

proporção de áreas, tem sido utilizado amplamente para a avaliação de disponibilidade hídrica em locais sem dados.

No Brasil, o uso do modelo é sugerido pelo manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (Eletrobrás, 1985) para determinação das disponibilidades hídricas nas seções dos estudos de aproveitamento hidrelétrico, com a recomendação de alguns cuidados na sua aplicação, como a indicação de estabelecer um limite de utilização em bacias que possuam a razão maior ou igual de 1/3 entre as áreas de drenagem da menor e da maior.

Cruz (2001) relata que, mesmo sem justificar, diversos autores utilizaram a técnica para vários objetivos, como Ribeiro (2000), que utilizou a técnica para transferir dados de vazão para seções de interesse a um sistema de outorga. Scartazzini e Livi (1999) também fizeram uso dessa técnica, juntamente com a do estudo de regionalização de Tucci (2002), para definir vazões em seções de interesse ao conhecimento de potencial hidroenergético no alto rio Pelotas. A proporcionalidade de áreas também foi utilizada por Ramalho et. al. (1997), que utilizaram a vazão de estiagem para 30 dias de duração e cinco anos de recorrência por unidade de área, para alimentar um modelo de simulações da qualidade de água QUAL2E. Cunha (1997), para estudos de impacto ambiental em uma bacia, transferiu dados de bacias vizinhas para as seções de interesse.

Em outros países, a técnica encontra ampla aplicação e respaldo por parte de entidades importantes, como é o caso, por exemplo, do Estado do Texas/EUA, onde o método de proporção de áreas é utilizado para calcular as vazões naturais reconstituídas no projeto de modelagem e disponibilidade hídrica (Sokulsky et al, 1998). O United States Geological Service (USGS), a agência técnico-científica de recursos naturais dos Estados Unidos, recomenda o uso da técnica no seu país, com base em uma revisão e avaliação relativas ao uso da mesma (RIES e FRIESZ, 2000).

Segundo Tucci (2002) outra técnica para suprir a deficiência da rede hidrométrica no Brasil, que tem tido resultados satisfatórios é a regionalização hidrológica utilizada para transferir dados de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Lanna et. al. (1983) relataram a metodologia aplicada para regionalização de vazões mínimas na Bacia do rio Jacuí. A base hidrológica de informação são as vazões mínimas anuais, com duração de 1, 3 e 7 dias, nos postos fluviométricos da bacia. O objetivo é a estimativa das contribuições hídricas mínimas em seções fluviais ao longo do trecho navegável crítico do rio Jacuí. Os resultados obtidos foram animadores no que concerne a

estimativa de vazões mínimas com duração até a ordem de 15 dias e tempos de retorno até cerca de 50 anos, em qualquer seção dos cursos de água da bacia, incluindo aqueles sem medições hidrométricas.

Uma grande restrição para a aplicação do método de regionalização é quando as séries de vazões utilizadas para a construção das equações regionais encontrarem-se impactadas por ações antrópicas do tipo derivação consuntiva e/ou obras de regularização. Essas atividades provocam descontinuidades no escoamento natural, prejudicando ou descaracterizando as equações regionais ou as regiões homogêneas em bacias intensamente afetadas por essas singularidades. Nessa situação, os estudos de regionalização têm aplicabilidade reduzida, ficando estas vinculadas a estudos de inventário global da bacia, não sendo adequada a utilização para avaliações singulares, como a que ocorre para a instrução de um processo de outorga de uso dos recursos hídricos.

Silva Junior et. al. (2003) comenta que apesar da regionalização se caracterizar por uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, não é um método seguro para extrapolação hidrológica para bacias de menor porte, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrológicos, gerando incertezas na tomada de decisão. A regionalização não substitui as informações, apenas busca uma melhor estimativa em face das incertezas existentes.

Segundo Cruz (2001) alguns autores desenvolveram métodos que aproveitam as informações contidas nas pequenas amostragens de vazões durante as estiagens para caracterizar o decaimento das vazões, baseando-se no princípio de que o deplecionamento fluvial é característica importante da bacia após cessada a precipitação.

O primeiro exemplo de aproveitamento das características da curva de depleção por pequenas amostras é a aplicação do método de proporção de vazões proposta por Riggs (1972).

Outro exemplo é o proposto por Silveira et al (2005), que desenvolveu o método denominado REGIO-DEPLEÇÃO que é baseado em registros regionais de vazões, medidas em campanhas limitadas no tempo e em informações fisiográficas, onde considera que o efeito da depleção regional melhorou objetivamente as estimativas de vazões de baixa magnitude em comparação com métodos, como da regionalização e proporção de áreas, aplicados aos mesmos dados. O método proposto obteve fatores de proporcionalidade de vazões mínimas superiores ao método da proporção de áreas (que não envolve informações de vazão).

Outra alternativa de uso das poucas informações locais é utilizar uma regressão linear da série curta com outra longa, obtida em outro local que contenha as mesmas características de bacia e clima. Riggs (1990) recomenda que o coeficiente de correlação, nesses casos, deve ser maior que 0,8. De outra maneira, a precisão poderá ser menor do que simples extrapolação de uma curva obtida com a série curta.

Usualmente, os modelos hidrológicos são mais difundidos e utilizados em áreas com poucas informações hidrológicas, conforme coloca Obregon et. al. (1999), onde os modelos hidrológicos podem ser utilizados para a obtenção de vazões em locais carentes de dados e também potencializar o emprego das técnicas apresentadas: extensão de séries para regionalização de funções hidrológicas.

Nguyen et. al. (2006) apud Mazieiro (2010) relatam que os modelos hidrológicos são feitos para alcançar dois objetivos principais: a) conseguir um melhor entendimento dos comportamentos hidrológicos de uma bacia hidrográfica e compreender como as mudanças na bacia podem afetar estes comportamentos com respeito a aspectos quali-quantitativos da água; e b) geração dos dados hidrológicos para facilitar o propósito do planejamento dos recursos hídricos, proteção de cheias, mitigação da contaminação, outorga de uso ou para fazer previsões.

As limitações ao uso de modelos chuva-vazão para bacias com dados de vazão escassos ou mesmo sem dados, podem ser relativas a: disponibilidade de dados de chuva representativos da região (incerteza espacial) e clima (incerteza temporal); representatividade da estimativa da evapotranspiração; incerteza de conexão de aquíferos ao rio, nas caracterizações do tipo de solo e na definição da curva chave (dos dados de ajuste, quando existirem); simplificações do processo assumidas na elaboração do modelo, isto é, na capacidade que o modelo tem de captar as principais informações referentes ao processo e incerteza na transferência de parâmetros do modelo, função que pode ser não linear, desconhecida e complexa (CRUZ, 2001).

Schuler (1998) que aplicou o modelo TOPMODEL (Beven, 1997) na bacia do rio Corumbataí, localizada no Estado de São Paulo, constatou que o modelo simula razoavelmente as vazões no leito do rio, sendo necessário utilizar diferentes combinações de valores dos parâmetros, muitas vezes sem significado real, o que torna a validade física do modelo questionável. Também aplicando o modelo TOPMODEL na bacia do rio Corumbataí, Moraes et. al. (2003) compararam as variáveis obtidas por este modelo com as medidas em campo, constatando que a variável condutividade hidráulica do solo saturado apresentou

valores calibrados pelo modelo muito acima dos medidos em campo.

Costa et. al. (2003) desenvolveu e aplicou o modelo PREVIVAZM para prever as vazões afluentes mensais aos aproveitamentos hidrelétricos de quatro bacias brasileiras (Paraná, Paranaíba, São Francisco e Tietê) concluindo que o aprimoramento do modelo incorporando outras informações que não apenas as vazões passadas, como, por exemplo, a precipitação poderia melhorar a qualidade das previsões de vazões.

Machado et. al. (2003) aplicaram o modelo SWAT (Arnold et. al., 1998) para simular o escoamento produzido em uma sub-bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (Ad = 5.973 ha), afluente do rio Piracicaba, situado no Estado de São Paulo, constatando que o modelo superestimou as vazões mínimas, sendo considerado o ajuste do fator α como o maior responsável por este comportamento no período de estiagem.

Meller et. al. (2002) aplicou o modelo IPH2 (Tucci, 1998) em sub-bacias localizadas na Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Mirim.. A correlação se mostrou razoável para apenas uma sub-bacia, não acontecendo o mesmo para as demais, provavelmente devido às características particulares de algumas delas como a existência de estruturas de amortecimento de cheias.

Moreira (2005) aplicou o Modelo IPH2 para simular o escoamento na bacia do rio Barigui, situada no Estado do Rio Grande do Sul, apresentando resultados satisfatórios comparando a vazão obtida através dos postos pluviométricos com as obtidas da utilização dos dados de chuvas provenientes de radar.

2.4. Mudança e Variabilidade Climática

As mudanças e variabilidades climáticas ameaçam a disponibilidade de água de muitas regiões do mundo, afetando não apenas o abastecimento doméstico e industrial de água, a irrigação e a geração hidroelétrica, como também, a segurança e a qualidade dos ambientes naturais e urbanos, por meio do aumento de cheias, secas e da erosão, com conseqüente decréscimo da qualidade da água e da diversidade dos ecossistemas (WAGENER & FRANKS, 2005).

Christensen et. al. (2004) compararam vários cenários de alterações climáticas com o comportamento hidrológico (série histórica) da bacia hidrográfica do rio Colorado nos Estados Unidos. Os resultados mostraram que se a mudança climática prevista pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC (2001) ocorrer de fato levará a uma

situação em que a demanda total do sistema excederá a reserva de escoamento, levando o sistema como um todo a uma substancial degradação no seu desempenho.

Com o objetivo de subsidiar o planejamento regional e redirecionar as atividades humanas, Swart e Santos (2001), realizaram uma pesquisa em São Paulo, no período de 1955 a 1997, onde avaliaram o comportamento dos parâmetros térmicos e hídricos, tentando identificar possíveis alterações nos parâmetros climáticos e suas implicações nos recursos hídricos. Os autores afirmaram estar havendo um aumento na temperatura média anual nos setores do espaço paulista analisado e, como consequência, um aumento na deficiência hídrica que exigirá futuras adaptações nas políticas públicas de ocupação da terra e de ordenamento territorial.

O estresse hídrico advindo destas mudanças climáticas vem sendo utilizado para caracterizar problemas de abastecimento de água em qualquer região, até mesmo em áreas com taxas de precipitação anuais significativas, mas insuficientes para gerar vazões compatíveis com as excessivas demandas.

As preocupações com o abastecimento concentram-se, principalmente, nas cidades e centros urbanos, onde as demandas estão em um processo crescente no tempo e concentrada no espaço. Os habitantes dos centros urbanos passam praticamente todo o tempo em ambientes construídos, principalmente em edificações, fazendo uso da água direta ou indiretamente (WAGENER & FRANKS, 2005).

Desequilíbrios futuros entre demanda e oferta de água são previsíveis e medidas corretivas e mitigadoras precisam ser adotadas, principalmente no planejamento das cidades para racionalizar a distribuição de bens e serviços. O colapso do abastecimento de água já é uma realidade, sobretudo em bairros densamente povoados das periferias dos centros urbanos. Duas áreas chamam atenção relacionada à falta de água e aos riscos futuros de abastecimento no Brasil: o semi-árido nordestino e o densamente povoado sudeste.

2.5. Demanda de Água para Abastecimento Público

Existem duas razões que podem determinar uma alteração na relação entre disponibilidade hídrica e demanda. A primeira deve-se a fenômenos naturais, associados às condições climáticas de cada região, e a segunda está diretamente associada ao crescimento populacional que acaba exercendo pressão cada vez maior sobre os recursos hídricos.

Este crescimento amplia a demanda por água no futuro e, é inevitável se mantidos os

padrões de consumo atual e for considerado o contínuo inchaço populacional das periferias dos centros urbanos, das regiões metropolitanas e planos diretores.

No Brasil, país de dimensões continentais, diferenças climáticas e, sobretudo, regionais, também influenciam a definição da cota per capita. Ao contrário do esperado, ainda na década de 1970, dados nacionais apresentavam valores de 90L/pessoa/dia na região Nordeste, mais quente, e 150L/pessoa/dia na região Sul, que apresenta temperaturas mais amenas (AZEVEDO NETO et al., 1973).

Dados do ano de 2008, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS o consumo médio per capita do Brasil foi de 150L/hab/dia, sendo que nas médias regionais resultaram em 135,7 L/hab.dia na região Norte, 110,5 L/hab/dia na região Nordeste, 178,1 L/hab/dia na região Sudeste, 137,2 L/hab/dia na região Sul e 143,8 L/hab/dia na região Centro-Oeste (SNIS, 2008)

Com base em pesquisas localizadas, os projetistas de Sistema de Abastecimento de Água de São Paulo passaram a adotar valores médios, sendo 200 L/pessoa/dia um valor comumente apresentado. Entretanto, não há indicações metodológicas que justifiquem o uso indiscriminado desse valor. Nesse sentido, para reduzir erros de medição e aumentar a confiabilidade dos valores usados nos projetos foram desenvolvidos, ao longo do tempo, modelos para estimar o consumo de água, por categoria de consumidor, baseados em funções algébricas lineares de variáveis de fácil obtenção (BERENHAUSER e PULICI, 1983).

Na prática, Magalhães et. al. (2001), buscando uma estimativa de consumo per capita em comunidades atendidas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP calcularam o consumo efetivo, aquele isento de perdas, para 83 sistemas de abastecimento de água com população abastecida variando de 80 a 113.000 habitantes para o período de 1998 a 2000 e não encontraram uma correlação entre o porte da população e o consumo per capita, como mostra o quadro 01. O estudo apresentou consumo médio per capita de 199L/pessoa/dia sendo o índice de perdas de 35% e um consumo efetivo de 129L/pessoa/dia.

Quadro 01: Vazão “per capita” do meio urbano

Faixa da população (habitantes)	Consumo per capita (L/hab/dia)
<2.000	130,0
2.000 a 10.000	125,0
10.000 a 50.000	133,0
10.000 a 1200.000	128,0

(Fonte: Magalhaes et al., 2001)

(UNITINS, 1999).

A Sub-bacia do Taquarussu Grande faz parte das bacias que são afluentes diretas do rio Tocantins, possui aproximadamente 36 km no sentido leste-oeste, e seus principais contribuintes pela margem esquerda são o ribeirão Taquaruçuzinho, o córrego Machado e o córrego Buritizal, e pela margem direita são os córregos Macacão e o Tiúba (SANTOS, 2000).

De acordo com o método proposto por Köppen, cuja sistemática se fundamenta nos regimes térmicos e pluviométricos e na distribuição das associações vegetais, o clima da região corresponde ao tropical chuvoso das savanas tropicais (Aw), caracterizado por máximo de precipitação no verão e período seco no inverno.

O total de chuvas no mês mais seco é inferior a 60 mm, e com uma média pluviométrica anual de 1600 mm e temperatura média mensal superior a 25 °C, atingindo um máximo no final do inverno, antes do início das chuvas (SEPLAN, 2005).

As temperaturas máximas absolutas superam os 41°C, e no frio, maior que 18°C, com o comportamento térmico diário da região, também recebem forte influência dos alísios do quadrante leste, em sua maioria, com uma diminuição de temperatura mais drástica que 2,5°C esperados para um desnível de 400 ou 500 m (SEPLAN, 2005).

A sua localização na zona de dominância dos alísios acarreta uma série de conseqüências e implicações micro-climáticas, esperando sensível acréscimo da pluviosidade ao longo das bordas planálticas. Compensatoriamente, as vertentes e a depressão ocidental, situada a sotavento do alísio zonal, sofrem uma redução pluviométrica (EMBRAPA, 1975).

O levantamento geológico possibilita a delimitação de unidades litológicas generalizadas, sendo a Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande composta por litologias do tipo Complexo Goiano, datadas do Pré-Cambriano Inferior, possuindo intrusões graníticas ácidas da Suíte Intrusiva Ipueiras do Pré-Cambriano Médio. Este embasamento é recoberto por depósitos sedimentares da Formação Serra Grande do Siluriano Inferior, da Formação Pimenteira do Devoniano e por aluviões datadas do Quaternário (SEPLAN, 2005).

As nascentes localizam-se principalmente na encosta das serras e, em menor quantidade, nos limites das chapadas apresentando cotas e altitudes elevadas (BRASIL, 1981).

A pedologia na área da Sub-bacia é caracterizada pela presença dos seguintes solos,

conforme demonstra a figura 03:

- LV2: Associação de Latossolo vermelho-amarelo Concrecionário ou não textura média e argilosa relevo suave ondulado + solos Concrecionários indiscriminados textura indiscriminada relevo suave ondulado e ondulado ambos distróficos;
- LE1: Latossolo vermelho-escuro distrófico textura argilosa relevo plano suave ondulado;
- R3: Associação de solos Litólicos textura indiscriminada + solos Concrecionários indiscriminados textura indiscriminada + Afloramentos de Rocha todos distróficos relevo ondulado; e
- SC9: Associação de solos Concrecionários com textura média/argilosa relevo ondulado + Podzólico vermelho-amarelo raso concrecionário textura média relevo ondulado + Latossolo vermelho-amarelo textura média relevo suave ondulado todos distróficos

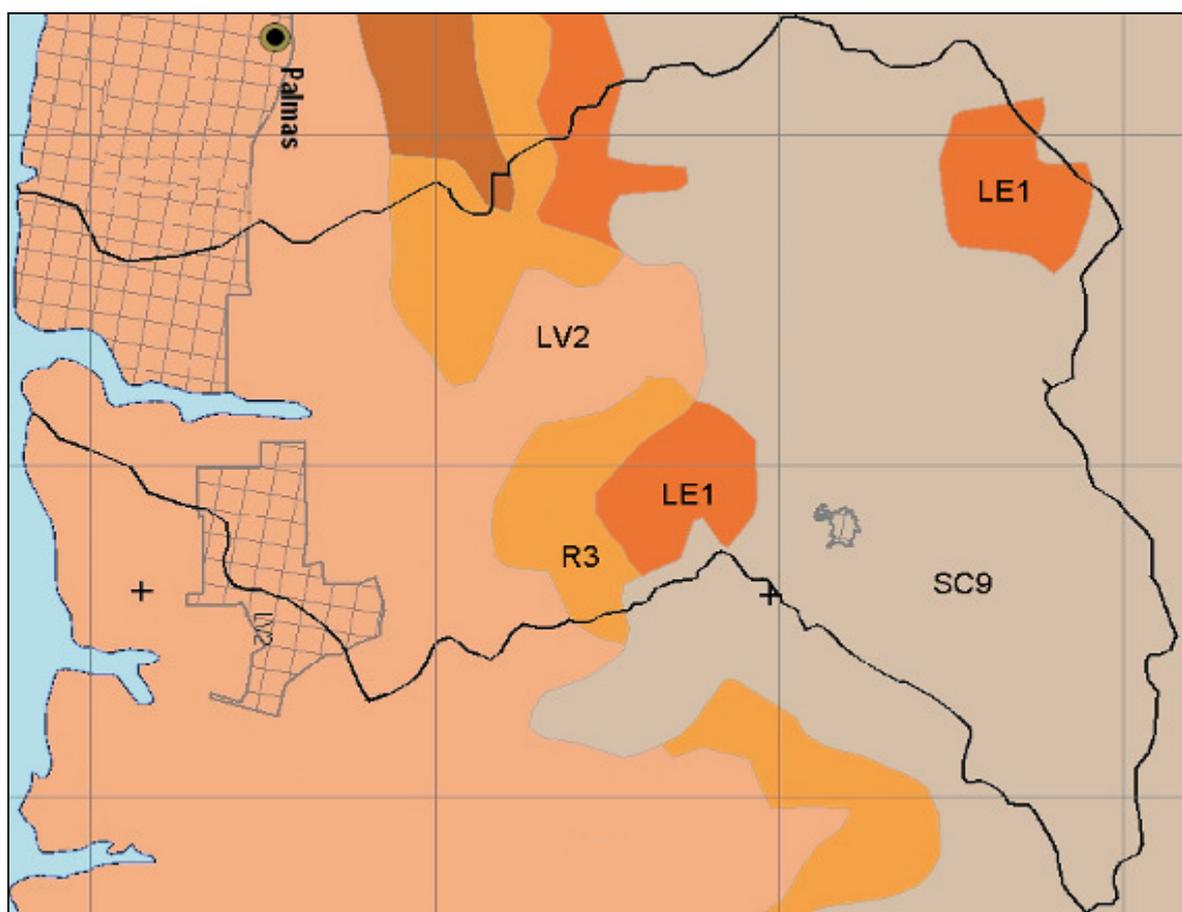


Figura 03: Mapa dos Solos da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande - TO

Segundo Oliveira (1999) as características fisiográficas da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande estão demonstradas no quadro 02.

Quadro 02: Características Fisiográficas da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande

Características Geométricas	Classificação / Valor
Padrão de drenagem	Sub-dendrítico
Área da sub-bacia	461,39 Km ²
Comprimento do perímetro	113,37 Km
Rede de drenagem	513,13 Km
Coeficiente de forma (Kf)	0,265
Coeficiente de compacidade (kc)	1,878
Sentido de orientação da bacia	86° 30' SW
Densidade de drenagem	1,15 L/Km ²
Largura média da bacia	13,905 Km
Cota de altitude mais alta	694m
Cota de altitude mais baixa	200 m
Altitude média da sub-bacia	363,85 m
Declividade média da bacia	0,0115 m/m (1,15%)
Comp. Axial do ribeirão Taquarussu Grande	42,2 Km
Sinuosidade do ribeirão Taquarussu Grande	1,113
Comp. axial do ribeirão Taquarussuzinho	35.3 Km
Sinuosidade do ribeirão Taquarussuzinho	1,108
Ângularidade	Baixa
Grau de controle	Pequeno nos tributários
Orientação dos tributários	Não orientados
Orientação dos ribeirões Taquarussuzinho e Taquarussu Grande	Orientados

(Fonte: Oliveira, 1999)

3.1.1. Sistema de Abastecimento de Água do Município de Palmas/TO

Palmas, Capital do Estado do Tocantins, localizada no centro geográfico do Estado, têm uma altitude média de 260 metros acima do nível do mar e, como coordenadas, 10°10' de latitude sul e 48°20' de longitude oeste, possui população de 223.817 mil habitantes (IBGE, 2010).

A capital foi projetada, investida de modernidade, e ambientada a uma filosofia ecológica e humanística, onde o homem poderá conviver em harmonia com a natureza, respeitando o seu meio ambiente.

O Sistema de Abastecimento de Água do município de Palmas - TO é composto por 05 (cinco) Estações de Tratamento de Água (ETA), sendo 03 (três) de captação superficial e 02 (duas) por captação subterrânea, conforme mostra o quadro 03. O sistema atualmente é operado pela empresa Concessionária, Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS.

Quadro 03: Sistema de Abastecimento de Água de Palmas/TO

Denominação	ETA 03	ETA 05	ETA 06	ETA 07	ETA 08	ETA 09
Manancial utilizado para captação	Córrego Água Fria	Córrego Brejo Comprido	Ribeirão Taquarussu Grande	Córrego Roncador	Poços – Vila União	Poços - Taquari
Capacidade de Tratamento (L/s)	100	85	500	85	45	72

(Fonte: SANEATINS, 2010)

Na figura 04 apresenta-se a localização das estações de tratamento e suas respectivas áreas abastecidas, tendo a ETA 006 como a unidade operacional principal, responsável pelo abastecimento de 66% da população urbana (parte do Plano Diretor, Distrito de Taquaralto e Aurenny's) atendendo aproximadamente cerca de 50 mil famílias.

A ETA 006 foi projetada de forma modular, sendo dividida em três módulos, com capacidade final de tratar a vazão de 2.500 L/s. No entanto, somente o primeiro módulo foi instalado, com capacidade de tratar a vazão de 500 L/s. A princípio o projeto tinha o intuito de desativar as demais ETA's, concentrando toda produção de água tratada a ser distribuída para população urbana na ETA 006.



Figura 04: Sistema de Abastecimento de Água do Município de Palmas/TO
(Fonte: SANEATINS, 2010)

Segundo a SANEATINS (2010), nestes últimos anos vem ocorrendo a diminuição da vazão do ribeirão Taquarussu Grande, surtindo efeito na oferta hídrica da Sub-bacia, principalmente no período de estiagem (meses de Julho a Setembro), conforme demonstra na figura 05.

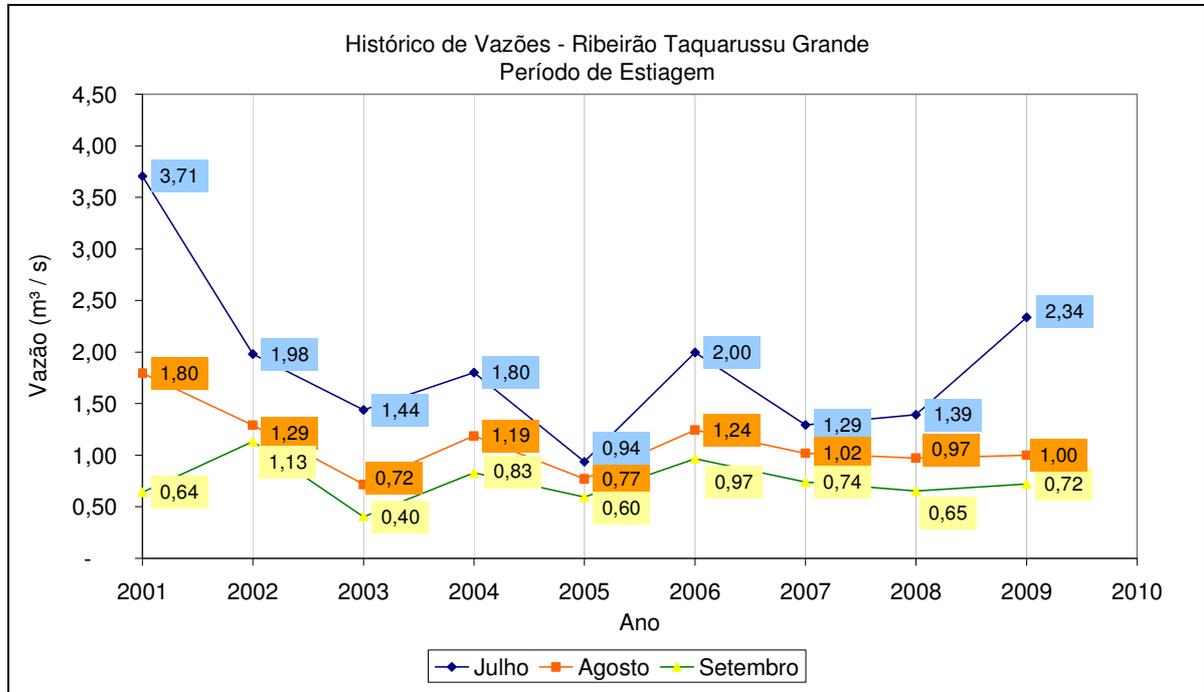


Figura 05: Gráfico do Histórico de Vazões do Ribeirão Taquarussu Grande na Estação Seca
(Fonte: Saneatins, 2010)

3.2. Estratégia Metodológica

A Proposta de uma metodologia para avaliar a disponibilidade hídrica para o abastecimento público, utilizando cenários adaptados ao clima do cerrado, mesmo com a escassez de dados hidrometeorológicos, foi desenvolvida baseada:

Na Estimativa da Oferta Hídrica, onde propôs obter os dados de disponibilidade hídrica através dos Métodos de Proporção de Área, de Regressão e no modelo de chuva-vazão Win_IPH II, para gerar a série longa de vazões. Determinar a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ como as vazões de referência.

Na Estimativa da Demanda e Projeções, que identificou os usos consultivos e a taxa de crescimento da população urbana e rural, da criação animal e os seus respectivos per capita, necessária para a projeção de demanda futura.

Nos Cenários Propostos, foram aplicadas simulações para atendimento do

abastecimento público no horizonte de 20 anos, para o qual a vazão de referência adotada foi cotejada com a curva de demanda, avaliando a disponibilidade hídrica e identificando a variação do máximo déficit.

Ao final da análise, as informações obtidas apresentam o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica.

3.3. Estimativa da Oferta Hídrica

Para estimar a oferta hídrica é necessário calcular a vazão mínima, cujo conhecimento, segundo Tucci (2001) permite avaliar o limite do uso da água de um manancial para diferentes finalidades.

Neste trabalho se propõe obter os dados por meio de modelagem hidrológica, especificamente, utilizando o modelo WIN_IPH2 (Bravo et. al., 2006), que simula os processos de transformação da precipitação em vazão e a comparação dos hidrogramas simulados com os hidrogramas observados. Segundo Soares (2010), o modelo WIN_IPH2, acopla três modelos, o IPH II (Tucci, 2006), o algoritmo SCE-UA (Duan; Sorooshian; Gupta, 1992), e o algoritmo MOCOM-UA (YAPO; GUPTA; SOROOSHIAN, 1998).

O modelo IPH II é do tipo conceitual, concentrado, composto por algoritmos de perdas de evaporação e interceptação, separação do escoamento e propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos (Tucci, 2006). Os algoritmos permitem a calibração automática e manual dos parâmetros do modelo IPH II.

A utilização do modelo WIN_IPH2 neste trabalho justifica-se devido a ser simples, com a manipulação de um número mínimo de parâmetros, e baseado em metodologias bem difundidas.

Na determinação das vazões mínimas, utilizou-se a identificação dos dados hidroclimatológicos, cujos códigos e período das séries históricas da estação pluviométrica e fluviométrica, são apresentados nos quadros 04 e 05 e suas localizações na figura 06.

Os dados identificados de vazões medidas por terceiros, que não estão cadastrados junto à ANA, foram utilizados neste trabalho, como é o caso das vazões medidas pela SANEATINS, do ribeirão Taquarussu Pequeno, cuja periodicidade foi de forma esporádica, concentrada na estação de estiagem, sendo especificamente nos meses de Julho a Setembro, nos anos de 2003 a 2009.

Quadro 04: Estação Fluviométrica

Código	Estação	Latitude	Longitude	Período
223551	Taquarussu	-10° 15' 0''	-48° 16' 0''	2003 – 2005

Quadro 05: Estação Pluviométrica

Código	Estação	Latitude	Longitude	Período
1048005	Taquarussu do Porto	-10° 18' 48''	-48° 09' 34''	1976 – 2007
-----	UFT	-10° 10' 40''	-48° 21' 43''	2002 – 2009

Antes da aplicação do modelo, realizou-se a divisão da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande (Sub-bacia) em duas: sub-bacia 01, correspondendo ao ribeirão Taquarussu Grande até o posto fluviométrico da estação do Taquarussu, tendo área de 157,82 Km²; e a sub-bacia 02, correspondente ao ribeirão Taquarussu Pequeno até a confluência com o ribeirão Taquarussu Grande, tendo área de 210,64 Km².

Esta divisão se fez necessária, para calibração do modelo, em função de possuir somente uma estação fluviométrica com seqüência de dados diários dentro da área em estudo, localizada no ribeirão do Taquarussu Grande. Existem somente duas estações pluviométricas, a Estação do Taquarussu de Porto que está inserida na Sub-bacia e a Estação da UFT, localizada na Universidade Federal do Tocantins – UFT, na área adjacente da Sub-bacia.

Neste caso, a vazão do exutório da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande foi estimada através do somatório das vazões calculadas das sub-bacias 01 e 02.

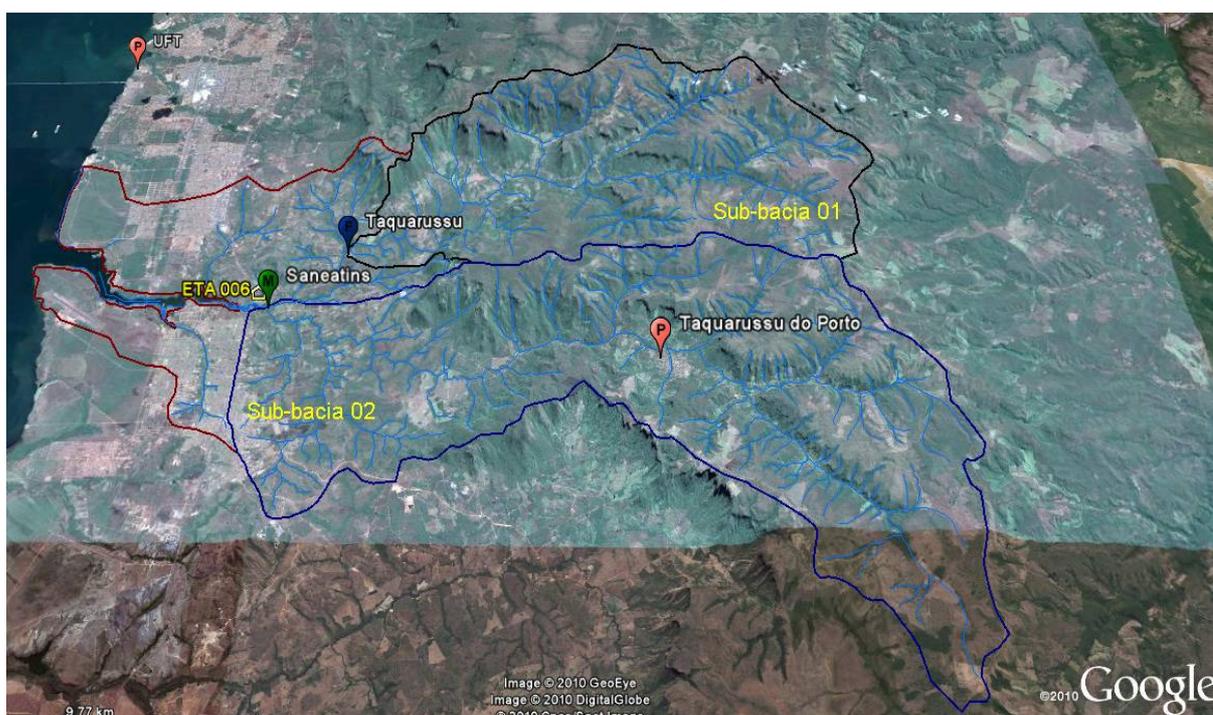


Figura 06: Divisão da sub-bacia 01 e 02 e Localização das Estações e Ponto de Medição

A calibração foi realizada pelo método automático multi-objetivo, denominado MOCOM-UA (Yapo et. al., 1998), e pelo método manual por tentativa e erro, em que os valores dos parâmetros são alterados manualmente, procurando uma boa representação dos hidrogramas em locais onde existem dados de vazão observados.

Para o ajuste do modelo, foram adotados os seguintes critérios:

- a) condições iniciais: considerou-se a percolação igual à vazão de base no início do evento, sendo 2% da máxima vazão observada e a vazão superficial foi zero;
- b) escoamento superficial: para histogramas tempo-área sintéticos, foi adotado o coeficiente igual a 1,5 para a bacia, devido à sua forma retangular (Haas, 2002);
- c) área impermeável da sub-bacia: foi considerada uma taxa de 0%;
- d) discretização temporal: o intervalo de tempo da simulação foi igual a 1440 minutos (01 dia), conforme a discretização dos dados de chuva;

A calibração na sub-bacia 01 foi realizada utilizando as duas estações pluviométricas, apresentado duas calibrações, sendo:

- Calibração 01: Foram utilizados os dados de entrada da Estação Pluviométrica do Taquarussu do Porto, a vazão observada da Estação do Taquarussu e a evapotranspiração potencial (Quadro 06), a qual foi obtida junto ao Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos – NEMET-RH, da Fundação Universidade do Tocantins - UNITINS para o município de Palmas, tendo sido calculada através do método de Thornthwaite & Matter (1955) com uso dos dados das normais climatológicas do município de Porto Nacional, referente ao período de 1961 a 1990.

Quadro 06: ETP do Município de Palmas/TO

Tempo Meses	ETP mm	Tempo Meses	ETP mm
Jan	115,0	Jul	124,1
Fev	105,8	Ago	152,1
Mar	121,4	Set	163,9
Abr	127,3	Out	141,3
Mai	137,8	Nov	123,4
Jun	122,2	Dez	119,4

(Fonte: NEMET-RH/UNITINS, 2009)

- Calibração 02: alterando somente a estação pluviométrica, utilizando-se a Estação da UFT.

A calibração que apresentou o melhor resultado da função objetivo (Erro Relativo Médio, Desvio Padrão do Erro do Inverso da Vazão e o Coeficiente de Nash Sutcliffe), foi utilizada na realização da simulação das séries de vazões diárias a partir de séries longas de precipitações do período em que a calibração foi satisfatória para a sub-bacia 01.

Através do software Sischah 1.0, programa de domínio público disponível no site da ANA, calculou-se a vazão associada à permanência de 90% (Q_{90}), retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período, e a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), pelo processamento conjunto de toda série histórica de vazões, denominado anual e de cada mês do ano, denominado mensal, resultando na Q_{90} e a $Q_{7,10}$ anual e mensal. Neste estudo, considerou-se o início do ano hidrológico, o mês de outubro, estabelecendo a estação chuvosa compreendida pelos meses de outubro a março e a estação da estiagem, os meses de abril a setembro.

Para calcular os dados de vazão diária da sub-bacia 02, propôs a aplicação de três métodos, onde realizou-se a análise gráfica e estatística entre as vazões obtidas junto à SANEATINS do ribeirão Taquarussu Pequeno e as vazões calculadas pelos métodos propostos. Para isso utilizou-se o software BioEstat 5.0 que identificou o melhor ajuste do coeficiente de correlação de Pearson e o menor Erro Relativo entre as Q_{90} observadas e calculadas.

Os métodos foram:

- Método 01: Aplicação dos parâmetros calibrados da sub-bacia 01, do modelo Win_IPH 2, para obter a série de vazões diárias, na qual utilizou-se os dados da Estação Pluviométrica do Taquarussu do Porto e a Evapotranspiração Potencial demonstrada no quadro 3.5;
- Método 02: Aplicação do Método de Proporção de Área, no qual utilizou-se os dados de vazão da Estação Fluviométrica do Taquarussu (sub-bacia 01). No método de Proporção de Área, a vazão na seção de interesse é obtida por:

$$Q_{alvo} = Q_{fonte} \cdot \frac{A_{alvo}}{A_{fonte}} \quad (1.0)$$

onde :

Q_{alvo} é a vazão no local de interesse; Q_{fonte} é a vazão na seção com dados; A_{alvo} é a área da bacia hidrográfica de contribuição à seção de interesse e; A_{fonte} é a área da bacia hidrográfica de contribuição à seção com dados;

- Método 03: Aplicação do Modelo de Regressão, identificando o melhor coeficiente de determinação (R^2) entre as vazões da Estação Fluviométrica do Taquarussu (sub-bacia 01), com as vazões obtidas junto à SANEATINS do ribeirão Taquarussu Pequeno (sub-bacia 02) no mesmo período.

Após a identificação do método que melhor se ajustou, foi calculada a vazão diária na sub-bacia 02, através do software Siscach 1.0, obtendo a vazão mínima $Q_{7,10}$ e a Q_{90} .

3.4. Estimativas das Projeções de Demandas

Com o objetivo de analisar o comportamento da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande e promover subsídios para garantir a sustentabilidade das demandas hídrica em seus diferentes usos, considerando somente a categoria de uso consultivo, tendo em conta a irrigação, o abastecimento animal e o abastecimento humano (rural e urbano), bem como a proteção do sistema. Foi realizado o cálculo das demandas atuais e futuras, num horizonte de 20 anos (2010 – 2030).

3.4.1. Projeção de Demanda para o Abastecimento da População Urbana

Para projeção da demanda necessita-se conhecer a população futura que se espera encontrar nos anos projetados e o consumo per capita, sendo, a partir de então, feita uma estimativa do consumo de água.

– Estimativa de Crescimento da População

O crescimento populacional é um fenômeno de grande complexidade e dependente de incertezas de fatores econômicos, políticos e sociais. Vários métodos têm sido utilizados na literatura para estimar numericamente a população futura. Dentre estes métodos estão os estatísticos, os gráficos e os determinísticos. Alguns deles são baseados em experiências passadas, destacando-se os processos de crescimento aritmético, geométrico e logístico, os quais pressupõem que o aumento da população em função do tempo siga uma progressão aritmética, geométrica e a curva logística, respectivamente. Outros métodos, que também são

comumente utilizados, são os de equações lineares, parabólicas, logarítmicas e exponenciais, e os processos empíricos ou de extrapolação gráfica (SCIENTEC, 1997).

Com o intuito de avaliar o aumento das demandas para o abastecimento humano e o efeito da dinâmica da variação populacional no tempo e no espaço, fez-se uma estimativa do crescimento populacional para o horizonte de 20 anos, onde utilizou-se o modelo geométrico (Equação 2.0), descrito por Câmara (2003).

O modelo geométrico pressupõe que a população de determinada cidade cresça segundo uma projeção geométrica, e que seguirá a mesma tendência nos anos subsequentes.

$$P_F = P_o \cdot (1 + Tx)^N \quad (2.0)$$

onde:

P_F = população projetada final (hab);

P_o = população inicial (hab);

Tx = taxa de crescimento geométrico anual (%) em anos;

N = número de amostras a projetar – ano.

- Projeção de Demanda para o Abastecimento

Para a estimativa de demanda da população urbana, foram levantadas as informações sobre a cota per capita de captação de água em áreas urbanas, que são apresentadas no quadro 07 de acordo ANA (2003b).

Quadro 07: Vazão “per capita” do meio urbano, por estado

Estados	Faixa da População (habitantes)	Consumo per capita (L/hab/dia)
AL, GO, PI, RR	<10.000	135,0
	10.000 a 100.000	160,0
	100.000 a 500.000	180,0
	>500.000	210,0
AC, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	<10.000	200,0
	10.000 a 100.000	230,0
	100.000 a 500.000	265,0
	>500.000	310,0
AM, AP, BA, MG, RJ, RS, SP	<10.000	300,0
	10.000 a 100.000	350,0
	100.000 a 500.000	400,0
	>500.000	470,0

(Fonte: ANA, 2003b).

O cálculo de demanda para o abastecimento da população urbana, para o ano de 2010, foi estimado com base na equação 3.0 descrita por Azevedo Neto (1998), na qual multiplica-se a população urbana pela cota per capita.

Equação da Estimativa da Vazão Média Diária:

$$Q_m = \frac{P \cdot q}{86400} \quad (3.0)$$

onde:

Q_m = vazão média, em L/s;

P = população urbana (hab);

q = consumo per capita, em L/hab x dia.

No entanto, a sua disponibilidade está vinculada a capacidade de produção da Estação de Tratamento de Água - ETA, ou seja, é necessário determinar a vazão de retirada do manancial que, após o tratamento, é equivalente a esta demanda para o abastecimento. Para isso, utilizou a equação 4.0 descrita por Guimarães (2007).

Equação da Estimativa da Vazão de Produção (Captada):

$$Q_{Prod} = \left(\frac{Q_m \cdot K_1 \cdot 24}{t} \right) \cdot \left(\frac{1 + qETA}{100} \right) \cdot Q_s \quad (4.0)$$

onde:

Q_{Prod} = vazão de captação e da ETA, em L/s;

Q_m = vazão média, em L/s;

t = período de funcionamento da produção, em h;

qETA = consumo de água na ETA, em %;

k_1 = coeficiente do dia de maior consumo; e

Q_s = vazão singular de grande consumidor, em L/s.

Equação da Estimativa da Vazão Tratada:

$$Q_{TRATADA} = Q_{PROD} \cdot K_2 \quad (5.0)$$

onde:

Q_{Tratada} = vazão tratada, em L/s

Q_{Prod} = vazão de captação e da ETA, em L/s;

K_2 = coeficiente do horário de maior consumo.

– **Critério Adotado para Projeção**

- a. Para o crescimento populacional do município de Palmas/TO foi utilizado os dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), onde obteve-se a taxa de crescimento de 5% a.a para o horizonte de 20 anos (2010 – 2030);
- b. A população urbana inicial de 218.727,00 habitantes (IBGE, 2010);
- c. Per capita adotada foi a utilizada pela concessionária, a SANEATINS, de 250L/hab/dia;
- d. $K_1 = 1,2$ e $K_2 = 1,5$;

3.4.2. Projeção de Demanda para Abastecimento da População Rural da Sub-Bacia do Ribeirão Taquarussu Grande

Utilizou-se os dados do relatório sócio-econômico e ambiental da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande, realizado pela SANEATINS (2007), de outorgas emitidas pelo órgão ambiental competente no estado, o NATURATINS, e de levantamento em campo de forma a obter informações quanto ao volume máximo, conforme a sua sazonalidade e destino de uso da água.

Inclui-se nessa modalidade o consumo de água para ingestão e preparo de alimentos, higiene da moradia e corporal, limpeza dos utensílios, lavagem de roupas e veículos, descarga de vasos sanitários, insumo para atividades econômicas domiciliares, irrigação de jardins, hortas, pomares domiciliares e criação de animais de estimação.

Essa demanda foi representada pela vazão máxima requerida, onde incluíram-se, percentualmente todos os consumos acima descritos.

De uma forma geral o consumo per capita adotado foi de 100 L/habitantes/dia,

conforme os critérios propostos pela ANA (2003b) no meio rural, do documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos”, apresentados no quadro 08.

Quadro 08: Vazão “per capita” no meio rural, por estado

ESTADOS	Vazão “per capita” L/hab/dia Meio Rural
AL, GO e PI	70,0
AC, BA, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA, PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO	100,0
AM, AP, MG, RJ, RS, RR, SP	125,0

(Fonte: IBGE, 2003b).

Em seguida, foram determinadas as demandas para a população rural, a partir do produto do consumo per capita pela respectiva população rural.

A partir dos dados da população rural da sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande para o ano de 2010 e das taxas de crescimento, que segundo o IBGE é de 1.0% a.a, fez-se a projeção da população total para o horizonte de 20 anos (2010-2030), descrito por Câmara (2000). De posse dos dados de crescimento populacional, obteve-se a estimativa do consumo de água para o mesmo período.

3.4.3. Projeção de Demanda para a Irrigação

Foi pesquisada junto às secretarias municipais e estaduais, assim como nas entidades afins, informações sobre a irrigação na Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande e realizado levantamento de campo para identificação e quantificação de propriedades irrigadas.

Para as estimativas do consumo de água na rizicultura, foram utilizados os resultados de pesquisas apresentados no quadro 09, e nas demais culturas, adotou-se valor médio igual a 0,7 L/s/ha, conforme recomendado por Maçaneiro (2003).

Quadro 09: Vazão Máxima Requerida pelas Culturas

Culturas	Necessidades de Irrigação		q
	mm/dia	m³/ha/dia	L/s/ha
Abacaxi	3,43	34,32	0,60
Maracujá	2,98	29,79	0,41
Coco	3,46	34,64	0,48
Banana	5,21	52,05	0,72

(Fonte: PENMAN-MONTEITH citado por SEPLAN, 2002).

Com base nos dados de áreas plantadas na Sub-bacia para o ano de 2010, calculou-se o

consumo de água para a rizicultura, multiplicando-se a área plantada (em hectares), pela vazão de consumo por hectare.

Considerando a taxa de crescimento de 1% a.a da área irrigada, adotada pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Tocantins – RURALTINS, para região rural de Palmas/TO, fez-se a projeção de crescimento para o horizonte de 20 anos. De posse dos dados de crescimento, obteve-se a estimativa do consumo de água neste período.

3.4.4. Projeção de Demanda para Abastecimento Animal

Foi realizado também levantamento junto às secretarias municipais e estaduais, assim como, nas entidades afins, informações sobre rebanhos na Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande e levantamento de campo para identificação e quantificação dos animais.

Para estimativa de consumo de água para o abastecimento animal foram adotados os dados apresentados por Sugai (2003), conforme quadro 10.

Quadro 10: Consumo per capita de água por grupo animal

Animais	Consumo L/animal/dia
Bovinos de corte	50
Gado leiteiro confinado	70
Eqüídeos	40
Ovinos	7,0
Suínos	20
Caprinos	7,0
Aves	0,36

(Fonte: Sugai, 2003, p. 291).

Com os dados de consumo, calculou-se a vazão retirada para o abastecimento animal, conforme equação descrita por Rodriguez (2004), na qual multiplica-se o número de cabeças do rebanho para cada espécie animal pela cota per capita, obtendo as demandas.

Equação da Estimativa da Vazão para Abastecimento Animal

$$Q_{aa} = \frac{P_{aa} \cdot q_{aa}}{86400} \quad (6.0)$$

onde:

Q_{aa} = vazão retirada para o abastecimento animal (L/s)

P_{aa} = número de cabeças do rebanho para cada espécie animal;

q_{aa} = Vazão “per capita” para cada espécies animal (L/d/cab).

Após a identificação dos tipos de animais e sua quantificação, adotou-se a taxa de crescimento de 1% a.a. para os animais, baseando-se nos dados da Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural - SEAGRO de Palmas (2010). Aplicou-se o modelo geométrico, descrito por Câmara (2000), para calcular a projeção de crescimento. De posse dos dados de crescimento, obteve-se a estimativa do consumo de água.

3.5. Cenários Propostos

Um dos objetivos deste estudo é verificar a viabilidade da aplicação da metodologia proposta em situações de escassez de dados hidrológicos, na avaliação da condição de abastecimento público. Visando-se analisar esta aplicação, foram considerados dois cenários: o Cenário 01: Demanda Hídrica para Abastecimento, e o Cenário 02: Demanda Hídrica para Abastecimento após Simulações de Retiradas Hipotéticas.

O primeiro trata da análise da disponibilidade hídrica considerando os usos da água; e o segundo estuda o comportamento da disponibilidade hídrica devido à retirada hipotética de percentuais da vazão a ser outorgada.

A seguir, serão detalhados os cenários propostos para o estudo e a metodologia aplicada.

3.5.1. Cenário 01: Demanda Hídrica para o Abastecimento

O Cenário 01 objetivou analisar a disponibilidade hídrica da Sub-bacia para o abastecimento público, ponderando as demandas atuais e futuras dos diferentes usuários.

Para esta análise, considerou-se:

- I. como oferta hídrica, 75% da vazão de referência, sendo o limite máximo a ser outorgado denominado neste trabalho como *vazão outorgada*. Este percentual é o mesmo definido pelo órgão ambiental (NATURATINS), através da portaria estadual N°. 2432/00;
- II. as outorgas emitidas;
- III. a demanda para o abastecimento de 100% da população urbana do município

de Palmas-TO, calculada utilizando a vazão de produção (equação 4.0) que garante a vazão média no horizonte de 20 anos (2010 a 2030);

- IV. a demanda para o abastecimento de 66% da população urbana (144.360 habitantes – ano 2010) que representa o percentual de atendimento realizado pela ETA 006, correspondendo a parte da população do plano diretor e aos distritos de Taquaralto e Aurenys, calculada utilizando a vazão de produção (equação 4.0) que garante a vazão média no horizonte de 20 anos (2010 a 2030);
- V. que não haverá perda de disponibilidade hídrica no horizonte estimado.

Neste cenário consideraram-se duas situações para a realização das simulações, sendo:

- Caso 01 utilizou as vazões calculadas da Q_{90} anual e mensal, como vazão de referência, sendo assim, obteve a *vazão outorgada anual e mensal*, como oferta hídrica para suprir a demanda da Sub-bacia e da população urbana. Esta vazão de referência é a mesma adotada pelo órgão ambiental (NATURATINS);
- Caso 02 utilizou as vazões calculadas da $Q_{7,10}$ anual e mensal, como vazão de referência, sendo assim, obteve a *vazão outorgada anual e mensal*, como oferta hídrica para suprir a demanda da Sub-bacia e da população urbana. Esta vazão de referência adotada foi devido às especulações na área acadêmica e técnica no estado, na qual solicitaria ao conselho estadual de meio ambiente a alteração da vazão de referência para $Q_{7,10}$.

3.5.2. Cenário 02: Demanda Hídrica para Abastecimento após Simulações de Retiradas Hipotéticas

O Cenário 02 teve como objetivo avaliar a disponibilidade hídrica em função da simulação de retirada hipotética de 25% da *vazão outorgada*. Entende-se que este cenário representaria a inserção de novos usuários, e/ou ocorrência de fenômenos climáticos, e/ou aumento na degradação ambiental da Sub-bacia. A demanda da Sub-bacia já estava contemplada nesta simulação de retirada.

Para esta avaliação, analisou-se o comportamento de uso dos recursos hídricos considerando-se a ocorrência da insuficiência na disponibilidade hídrica no abastecimento da população urbana. Foram adotadas as mesmas condições descritas nos itens I a IV do

Cenário 01. Este cenário também foi dividido em duas situações, sendo:

- Caso 01 utilizou as vazões calculadas da Q_{90} anual e mensal, como vazão de referência, sendo assim, obteve a *vazão outorgada anual e mensal*, a qual simulou a retirada hipotética de 25%, empregada como oferta hídrica para suprir a demanda da população urbana;
- Caso 02 utilizou as vazões calculadas da $Q_{7,10}$ anual e mensal, como vazão de referência, sendo assim, obteve a *vazão outorgada anual e mensal*, a qual simulou a retirada hipotética de 25%, empregada como oferta hídrica para suprir a demanda da população urbana.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Disponibilidade Hídrica

Após todas as análises empreendidas, cujo objetivo foi o conhecimento da realidade hidrológica da sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande, obtendo-se as séries de precipitação, vazão e evapotranspiração potencial, que são os dados de entrada do modelo, chegou à fase de realização das simulações e avaliação crítica dos resultados do modelo Win_IPH2.

4.1.1. Sub-bacia 01: Aplicação do Modelo Win_IPH2

A calibração do modelo hidrológico da sub-bacia 01 foi de forma manual, sendo ajustado por tentativa e erro, individualmente para cada evento, permitindo que os parâmetros variassem de acordo com a busca das melhores estatísticas, dando maior ênfase no ajuste das vazões mínimas, que representa a variável de maior importância no estudo.

Tanto a Calibração 01 como a Calibração 02 foram utilizados os dados disponíveis do período de 1027 dias, de 10 de Dezembro de 2002 a 30 de Setembro de 2005. A calibração do modelo e a verificação foram feitas no mesmo período.

O intervalo selecionado se deve ao fato das limitações de dados existentes na sub-bacia e áreas adjacentes, além de não possuírem falhas nos dados fluviométricos e pluviométricos diários.

No quadro 11 encontram-se os valores dos parâmetros calibrados, que segundo Moreira (2005) o parâmetro R_{max} , reflete a capacidade de armazenamento máximo em um reservatório de perdas, e pode ser facilmente ajustado através da análise dos volumes observados e simulados pelo modelo.

Os parâmetros I_0 e I_b representam as capacidades inicial e mínima de infiltração do solo, respectivamente, e H é igual a e^{-k} , sendo e a base dos logaritmos neperianos e k um parâmetro empírico, relacionado ao tipo de solo (MOREIRA, 2005).

Dos parâmetros a serem ajustados, o coeficiente de depleção do escoamento subterrâneo K_{sub} pode ser estimado a partir da recessão dos hidrogramas observados (MOREIRA, 2005).

Quadro 11: Valores dos Parâmetros Calibrados

Parâmetros	Calibração	Calibração
	01	02
I _O – Capacidade de infiltração máxima do solo (mm/h)	181,99	80,18
I _B - Capacidade de infiltração mínima do solo (mm/h)	6,15	10,10
H – Parâmetro de decaimento da infiltração no solo (–)	0,62	0,25
K _S - Parâmetro de propagação do escoamento superficial (dias)	10,0	10,0
K _{SUB} – Parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo (dias)	10,0	47,54
R _{MAX} - Capacidade máxima do reservatório de interceptação (mm)	0,00	9,0
ALFA - Escoamento direto de áreas impermeáveis (–)	0,01	0,01

A Calibração 01, de modo geral, apresentou os resultados das funções objetivo do modelo Win_IPH2, pouco expressiva para o ajuste do modelo, tendo o coeficiente de Nash de 0,08, o Desvio relativo médio de 1,18% e o Desvio Padrão do Erro do Inverso da Vazão de 3,0 m³/s.

Com relação a Calibração 02, a mesma apresentou o melhor ajuste tendo o coeficiente de Nash de 0,72, o Desvio relativo médio de 0,38%, e o Desvio Padrão do Erro do Inverso da Vazão de 2,04 m³/s, em resposta aos eventos ocorridos, conforme apresentado no quadro 12.

Quadro 12: Valores das Funções Objetivo

Funções Objetivo	Calibração 01	Calibração 02
Desvio Padrão (m ³ /s)	3,04	1,67
Desvio abs. médio (m ³ /s)	1,83	0,86
Desvio quad. rel. médio (m ³ /s)	2,30	0,43
Desvio quad. inverso [1/(m ³ /s)]	3,00	2,04
Coef. Nash-Sutcliffe (–)	0,08	0,72
Desvio rel. médio (%)	1,18	0,38
Erro de Volume (–)	-19,61	-3,69

Nas figuras seguintes são apresentados os hidrogramas para os valores de vazão calculados e observados da calibração 01 e da calibração 02.

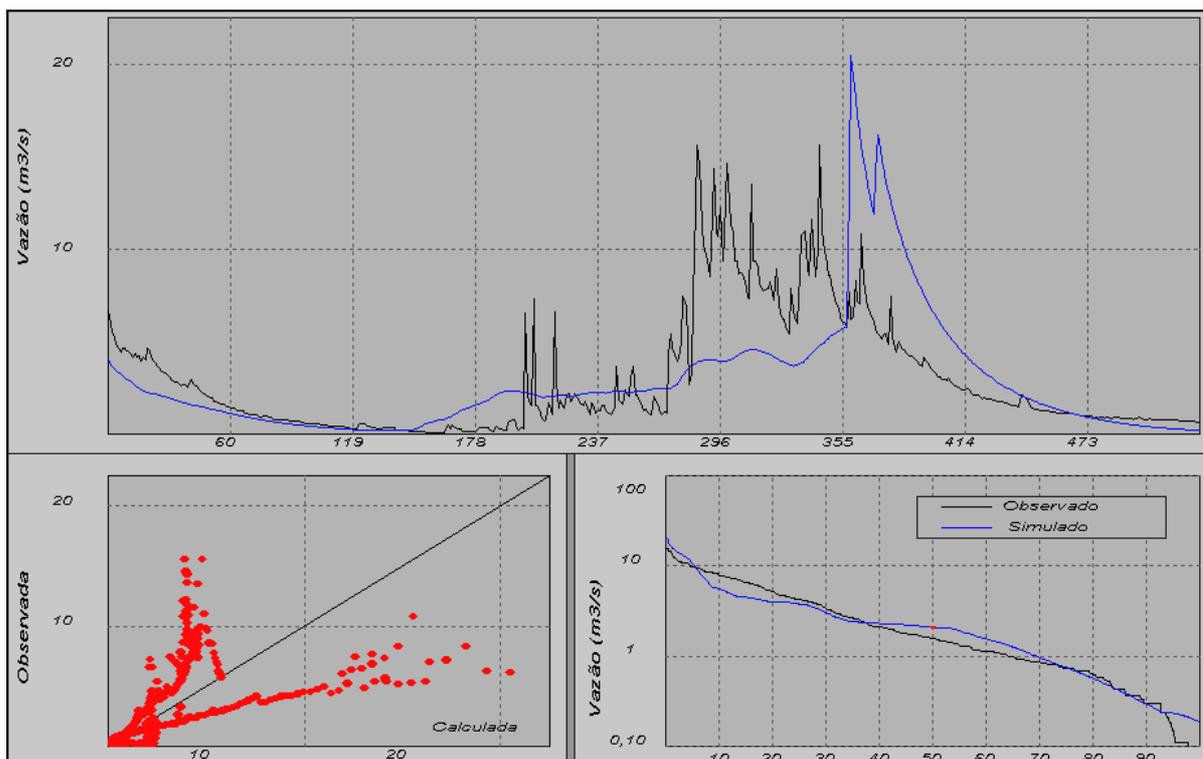


Figura 07: Hidrograma da Calibração 01

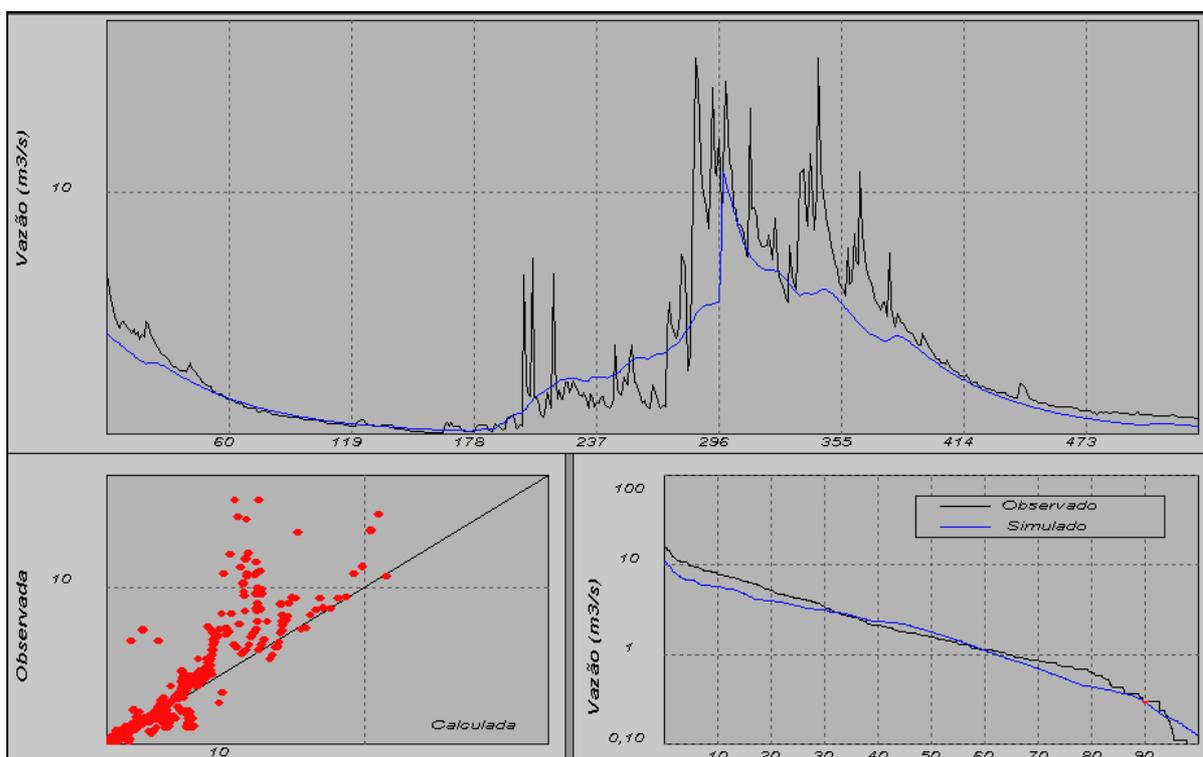


Figura 08: Hidrograma da Calibração 02

Utilizando-se os parâmetros da calibração 02, foi gerado a série histórica de vazões diárias simulada da sub-bacia 01, do período de 01 de novembro de 2001 a 31 de dezembro de 2009, conforme demonstra a figura 09.

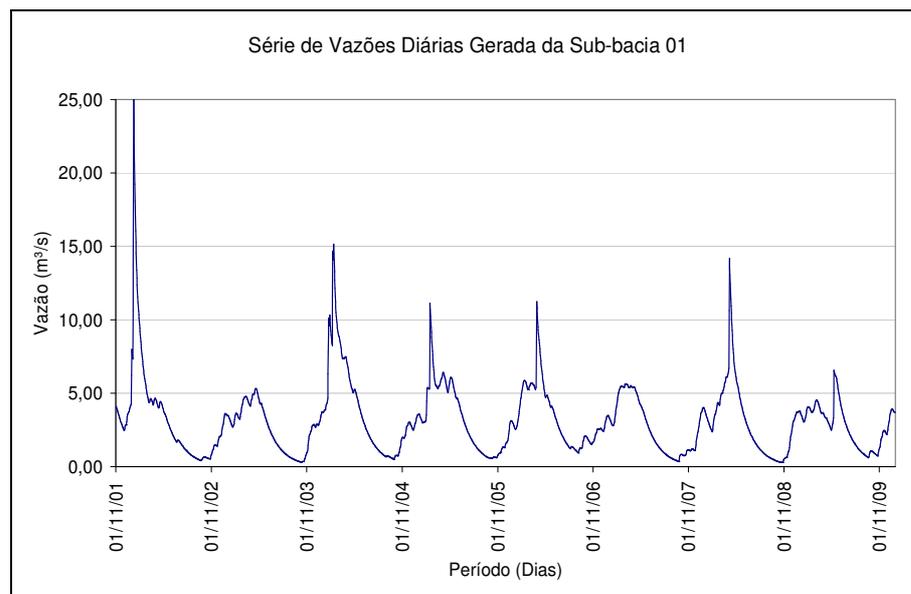


Figura 09: Gráfico da Série de Vazões Diárias Gerada da Sub-bacia 01

Os dados hidrológicos na região são praticamente inexistentes. Acredita-se que a ocorrência de efeito da circulação local esteja provocando precipitações isoladas ao longo da serra, aliada a pedologia da região, possibilitando as variações das vazões entre os mananciais principais da sub-bacia 01 (Ribeirão Taquarussu Grande) e sub-bacia 02 (Ribeirão Taquarussu Pequeno).

Este fato poderia justificar a Calibração 02, que utilizou os dados da estação pluviométrica da UFT, localizada fora da área de estudo, ter apresentado resultados mais satisfatórios em comparação à estação inserida na sub-bacia 01-Calibração 01, dentro dos critérios adotados.

4.1.2. Sub-bacia 02: Métodos Aplicados

Na análise estatística, comparando-se os dados de vazão observada (ribeirão Taquarussu Pequeno) com as calculadas pelos métodos propostos, a correlação de Pearson, foi satisfatória com valores acima de 0,9 (Quadro 13). Riggs (1990) recomenda que o coeficiente de correlação deve ser maior que 0,8.

O Método 03, que aplicou a Regressão Linear, foi o que apresentou o menor erro relativo e o maior coeficiente de determinação R^2 de 83,79% (Quadro 14), obtendo o melhor ajuste.

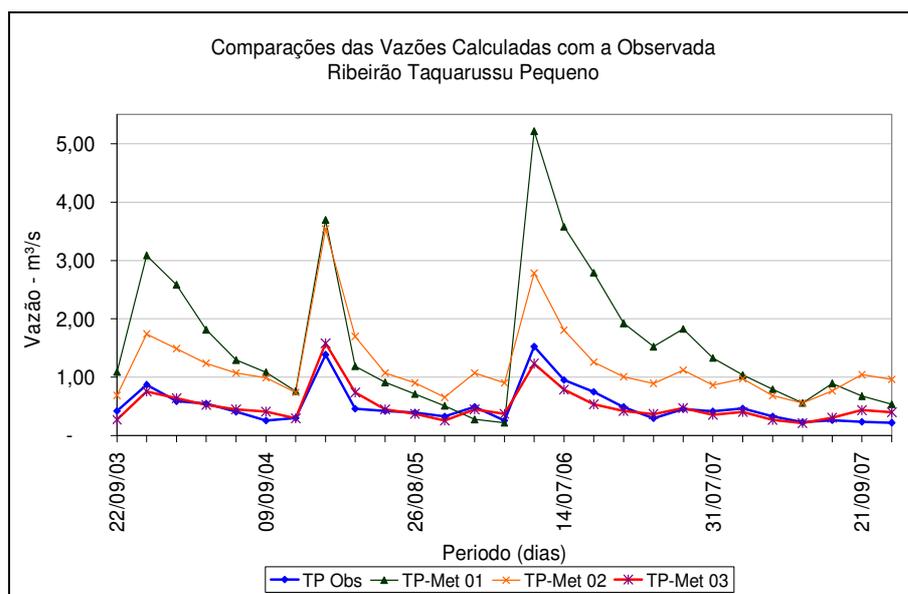
Quadro 13: Valores das Q_{90} e Análise Estatística

Parâmetros	Observada	Método 01	Método 02	Método 03
Q_{90} (m ³ /s)	0,25	0,53	0,69	0,27
Erro Relativo (%)	-----	111,14	175,31	9,33
Correlação Pearson	-----	0,93	0,92	0,92

Quadro 14: Ajustamento de Curvas de Regressão

Regressão	Linear	Exponencial	Logarítmica	Geométrica
Tamanho da amostra =	27	27	27	27
Intercepto (a) =	-0,0422	0,1987	0,6487	0,5441
Coef. regressão (b) =	0,6122	0,8828	0,6811	1,0361
Coef. determinação (R^2) =	83,79%	70,73%	77,28%	72,57%
Equação =	$Y' = a + bX$	$Y' = a * e^{(bX)}$	$Y' = a + b * \ln(X)$	$Y' = a * X^b$
Graus de liberdade =	25	25	25	25
(p) =	$p < .00001$	$p < .00001$	$p < .00001$	$p < .00001$

Na figura 10 apresentam-se as comparações entre a Vazão Observada Ribeirão Taquarussu Pequeno (TP Obs) e a vazão calculada pelo Método 01 (TP-Met 01), 02 (TP-Met 02) e 03 (TP-Met 03), onde observa-se graficamente que o Método 03 apresenta o melhor ajuste.

**Figura 10:** Gráfico de Comparação das vazões calculadas com a observada na Sub-bacia 02

Utilizando-se a série histórica gerada das vazões diárias simulada da sub-bacia 01, do período de 01 de novembro de 2001 a 31 de dezembro de 2009, pois aplicado o Método 03 (Regressão Linear), gerando-se a série para sub-bacia 02, do mesmo período, conforme demonstra a figura 11.

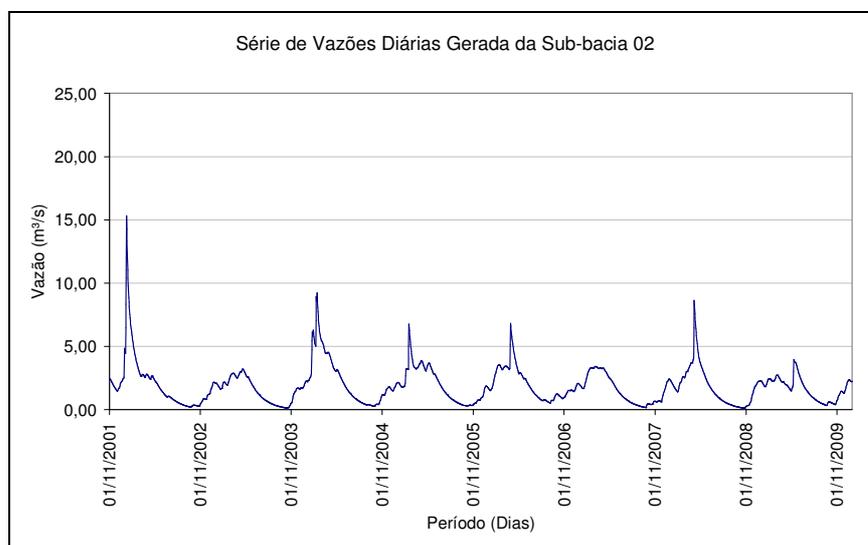


Figura 11: Gráfico da Série de Vazões Diárias Gerada da Sub-bacia 02

4.1.3. Cálculo das Vazões Mínimas

A vazão estimada da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande foi obtida através do somatório da série de vazões diárias gerada da sub-bacia 01 e da sub-bacia 02.

Na figura 12 são apresentados os dados da vazão mínima, a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ anual referente ao período 2002 a 2009, onde utilizou o software Siscah 1.0. No cálculo da $Q_{7,10}$, a distribuição que melhor ajustou aos dados foi a Log Pearson III.

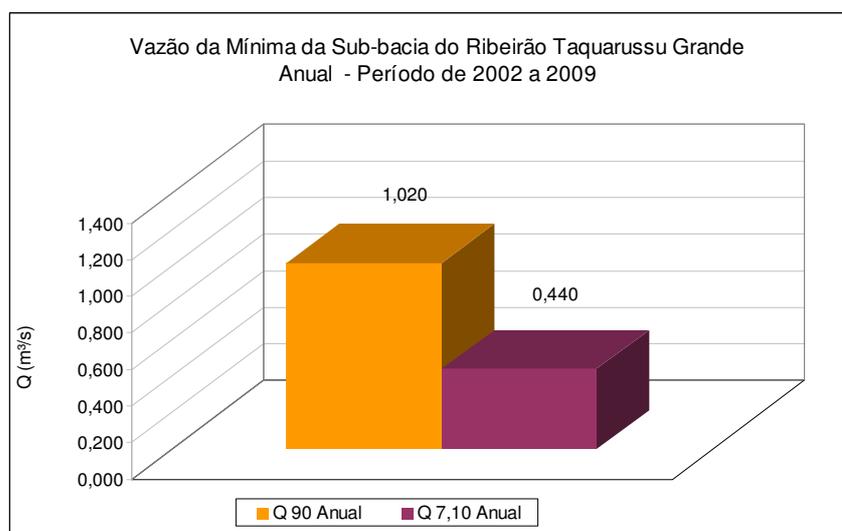


Figura 12: Gráfico da Vazão Mínima da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande (Anual - Período de 2002 a 2009)

Já na figura 13 são apresentadas as vazões mínimas, a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ mensal do mesmo período citado anteriormente da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande, onde também utilizou o software Siscah 1.0 para calcular as vazões.

No cálculo da $Q_{7,10}$, a distribuição que melhor ajustou aos dados mensais foi a Log Pearson III, com exceção do mês de março que foi a distribuição Weibull.

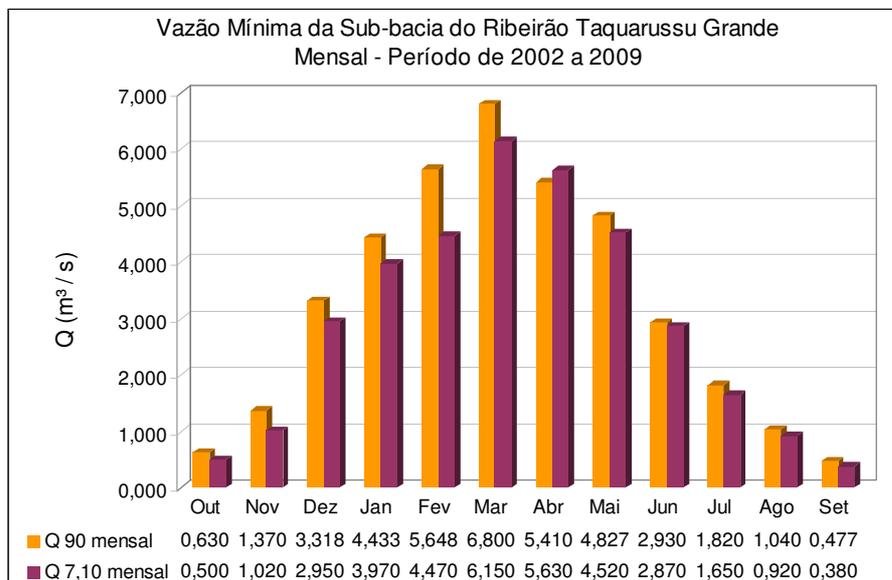


Figura 13: Gráfico da Vazão Mínima da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande (Mensal – Período de 2002 a 2009)

Conforme os resultados obtidos demonstrados nas figuras 12 e 13, a $Q_{7,10}$ do ano hidrológico é restritiva quanto ao uso comparando-a a $Q_{7,10}$ mensal, apontando uma maior disponibilidade hídrica nos períodos chuvosos e seco, com exceção do mês de setembro, podendo atender às demandas de outorga de uso da água sem comprometer a vazão ecológica.

Fato este apresentado também à Q_{90} mensal que possui disponibilidade hídrica significativa comparada a Q_{90} anual, ocorrendo restrição somente nos meses de setembro e outubro.

Cruz & Tucci (2008) divulgam que essa diferença de vazão no período mensal é natural, decorrente da variação normal existente ao longo do ano.

No entanto, embora não haja um aproveitamento desses excessos pelos setores usuários, os problemas relacionados à adoção da vazão de referência por período ainda permanecem. Isso devido às diferenças de comportamento das chuvas acontecidas em cada período, onde a variação do regime de chuvas influenciam diretamente na vazão do manancial.

4.2. Demanda Hídrica

4.2.1. População Urbana de Palmas-TO

Na figura 14, apresenta-se a projeção de crescimento populacional urbano do Município de Palmas/TO e sua demanda hídrica para o horizonte de 20 anos (2010-2030), na qual foi adotada a taxa de crescimento de 5% a.a., e a população urbana, referente ao ano de 2010 de 218.727,0 habitantes, baseados nos dados do IBGE, considerando que o consumo per capita, foi o mesmo adotado pela SANEATINS de 250 L/hab/dia.

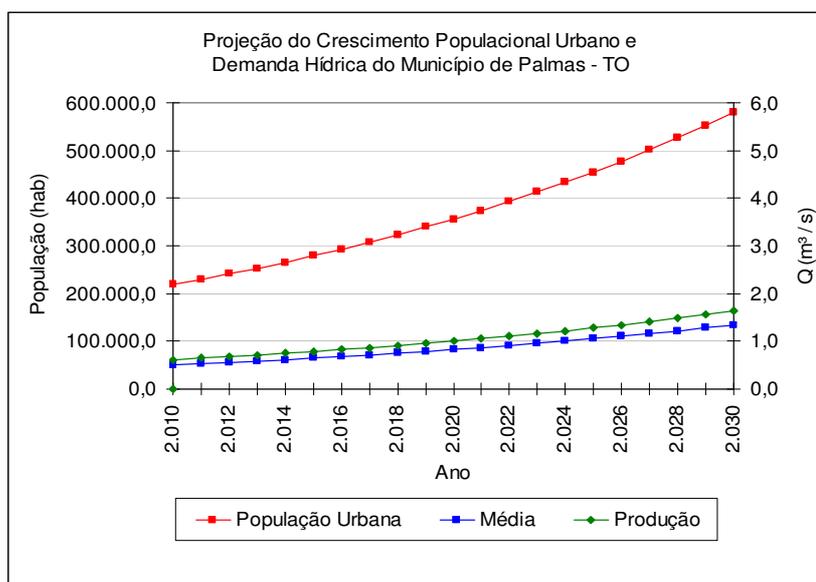


Figura 14: Gráfico da Projeção de Crescimento Populacional Urbano e Demanda Hídrica do Município de Palmas/TO

Observa-se que a vazão média (demanda) representa o valor necessário para garantir o abastecimento, enquanto a de produção é a vazão captada no manancial, sendo imprescindível no suporte à vazão média para que a mesma permaneça constante.

4.2.2. Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande

Com base nas informações do Relatório Socioeconômico e Ambiental da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande (SANEATINS, 2007) e no levantamento de campo, foi possível a obtenção de dados para projeção da demanda.

Na ocasião foram visitadas cerca de 312 propriedades, sendo 174 na sub-bacia 01 e 138 na sub-bacia 02. Vale ressaltar que na sub-bacia 02 está inserido um distrito, conhecido como Taquaruçú, que segundo o IBGE (2010) possui uma população estimada de

2.243 habitantes.

4.2.2.1 População Rural

De posse destes dados, onde considerou a taxa de crescimento de 1% a.a (IBGE) e o consumo médio de 100 L/hab/dia (ANA, 2003b) ambos para o meio rural, na figura 15 é apresentada a projeção do crescimento populacional rural e demanda hídrica da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande no horizonte de 20 anos (2010-2030).

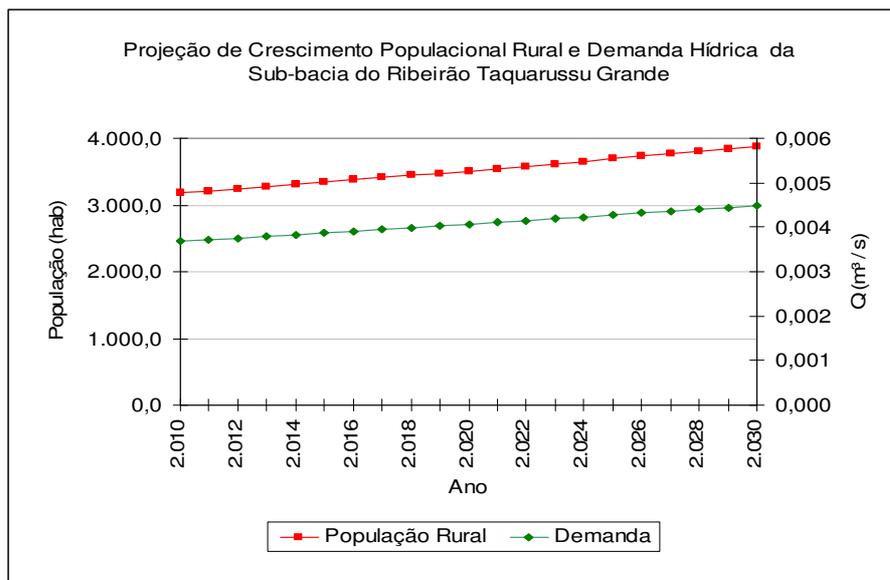


Figura 15: Gráfico da Projeção de Crescimento Populacional Rural e Demanda Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande

4.2.2.2. Irrigação

Com relação à irrigação, não existe nenhuma outorga emitida pelo órgão gestor (NATURATINS) na Sub-bacia. No entanto, observaram no levantamento de campo algumas áreas irrigadas.

Baseadas nestas áreas, considerando-as constantes, observando o tipo de cultura, mas desprezando a sazonalidade, em função da área irrigada ser de pouca expressão (cerca de 8 ha), realizou-se a projeção de demanda.

A figura 16 demonstra a projeção do crescimento da área irrigada e demanda hídrica da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande para o horizonte de 20 anos (2010-2030), na qual foi adotada a taxa de crescimento de 1% a.a. (RURALTINS, 2010) da área irrigada, e o valor de 0,7 L/s/ha, para as culturas, conforme recomendado por Machado et al (2003), e Maçaneiro (2003).

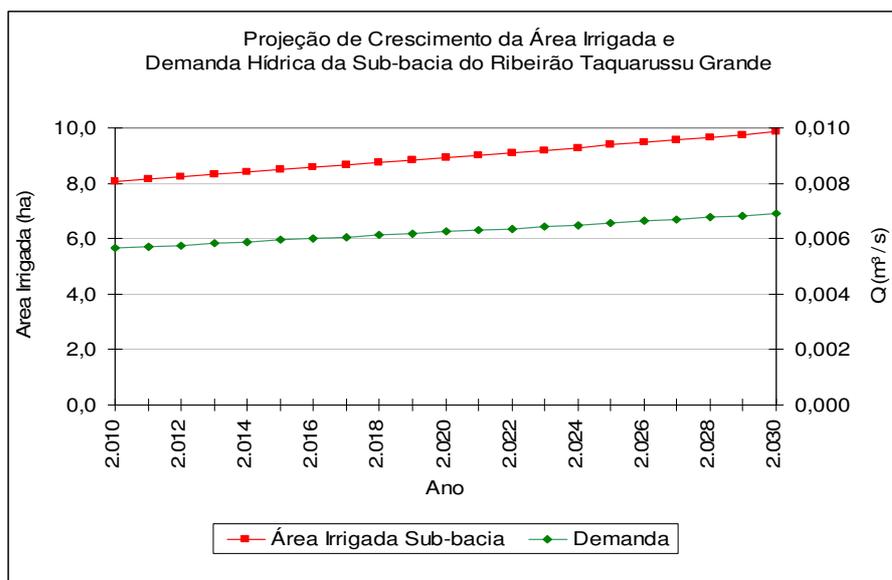


Figura 16: Gráfico da Projeção de Crescimento da Área Irrigada e Demanda Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande

4.2.2.3. Abastecimento Animal

Na figura 17 demonstra a projeção do crescimento da criação de animais e demanda hídrica da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande, no horizonte de 20 anos (2010-2030). Na projeção de demanda para o abastecimento animal foram considerados os consumos de água estabelecidos no quadro 10, e para projeção de crescimento, a taxa geométrica de 1% a.a, adotado pela Secretaria Municipal da Agricultura e Desenvolvimento Rural (2010).

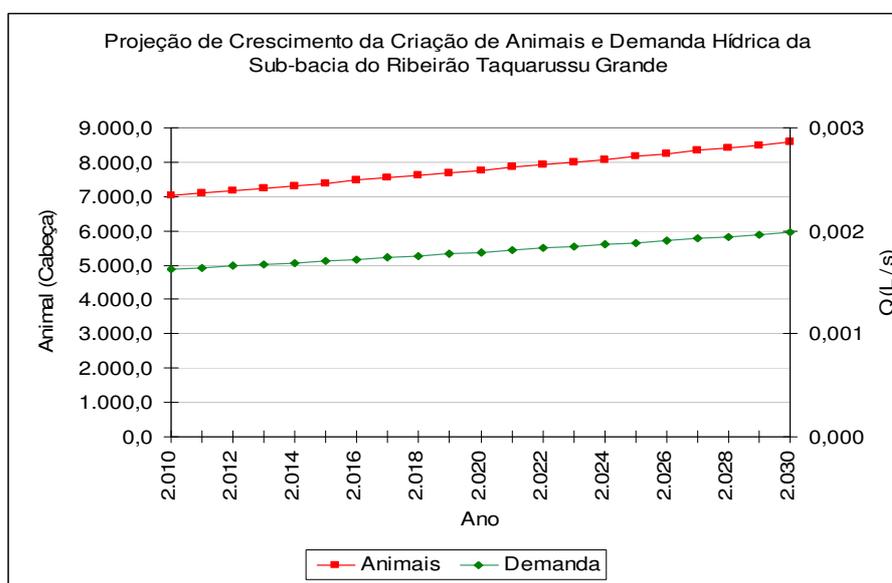


Figura 17: Gráfico da Projeção de Crescimento da Criação de Animais e sua Demanda Hídrica na Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande

No levantamento de campo foram identificados os grupos animais de bovinos (1.556 cabeças), suínos (872 cabeças), ovinos (292 cabeças), eqüinos (112 cabeças), caprinos (246 cabeças) e aves (3.884 cabeças).

4.2.2.4. Demanda Total

O quadro 15 mostra a estimativa da evolução da demanda hídrica na Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande e da População Urbana no período de 2010 a 2030. A demanda da população urbana representa em média, cerca de 98,85%, da demanda hídrica total, enquanto a Sub-bacia é cerca de 1,15%.

Quadro 15: Projeção de Demanda Hídrica

Ano	Sub-bacia				População Urbana (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
	Irrigação (m ³ /s)	Animal (m ³ /s)	População Rural (m ³ /s)	Sub-total (m ³ /s)		
2.010	0,00566	0,00162	0,00368	0,01096	0,615	0,626
2.011	0,00571	0,00164	0,00372	0,01107	0,646	0,657
2.012	0,00577	0,00166	0,00375	0,01118	0,678	0,689
2.013	0,00583	0,00167	0,00379	0,01129	0,712	0,723
2.014	0,00589	0,00169	0,00383	0,01140	0,747	0,759
2.015	0,00594	0,00171	0,00387	0,01152	0,785	0,796
2.016	0,00600	0,00172	0,00391	0,01163	0,824	0,836
2.017	0,00606	0,00174	0,00395	0,01175	0,865	0,877
2.018	0,00612	0,00176	0,00398	0,01187	0,908	0,920
2.019	0,00619	0,00178	0,00402	0,01199	0,954	0,966
2.020	0,00625	0,00179	0,00406	0,01211	1,001	1,013
2.021	0,00631	0,00181	0,00411	0,01223	1,051	1,063
2.022	0,00637	0,00183	0,00415	0,01235	1,104	1,116
2.023	0,00644	0,00185	0,00419	0,01247	1,159	1,171
2.024	0,00650	0,00187	0,00423	0,01260	1,217	1,229
2.025	0,00657	0,00189	0,00427	0,01272	1,277	1,290
2.026	0,00663	0,00190	0,00432	0,01285	1,341	1,354
2.027	0,00670	0,00192	0,00436	0,01298	1,408	1,421
2.028	0,00677	0,00194	0,00440	0,01311	1,478	1,492
2.029	0,00683	0,00196	0,00445	0,01324	1,552	1,566
2.030	0,00690	0,00198	0,00449	0,01337	1,630	1,643

4.3. Cenários

A realização de cenários permite simular o balanço entre oferta e demanda, sob determinadas condições, com intuito de obter informações na gestão de recursos hídricos atual e futuro.

Nas simulações para o abastecimento da população urbana até 2030 foi considerada somente a utilização dos recursos hídricos da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande.

Na figura 18 é apresentada a *vazão outorgada anual e mensal*, calculada no período de 2002 a 2009, tendo como a vazão de referência a Q₉₀ e a Q_{7,10} e na figura 19 a projeção de

crescimento da população urbana e demanda hídrica no município de Palmas-TO, onde utilizou o percentual de 66% para estimar a população urbana no ano de 2010, que representa a população a ser abastecida pela ETA 006, que foram também utilizados na análise dos cenários.

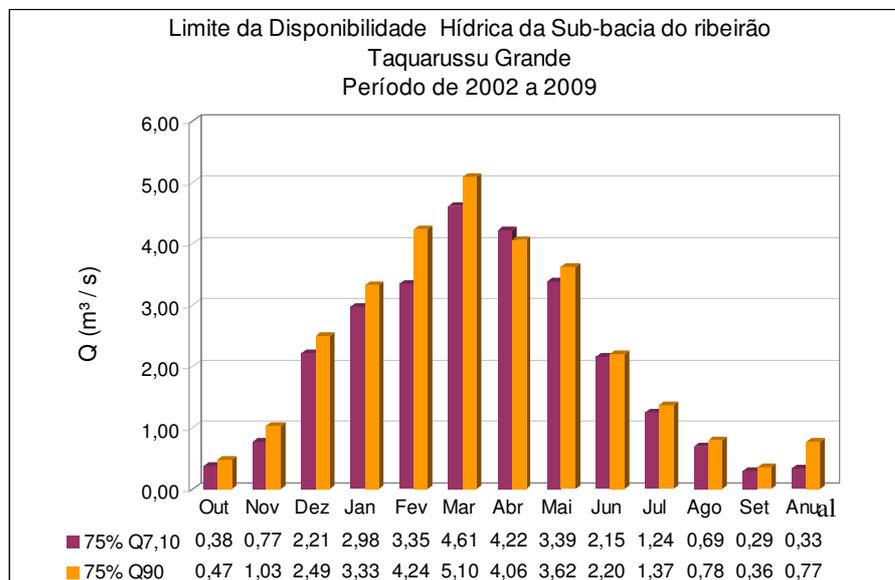


Figura 18: Gráfico do Limite da Disponibilidade Hídrica da Sub-bacia do ribeirão Taquarussu Grande – Período de 2002 a 2009

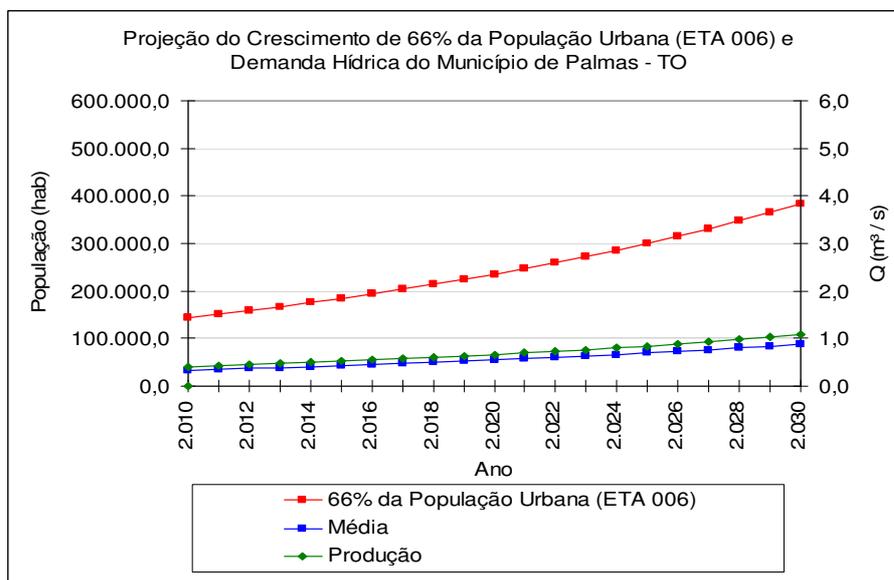


Figura 19: Gráfico da Projeção de Crescimento de 66% da População Urbana (ETA 006) e Demanda Hídrica do Município de Palmas/TO

Conforme informações do órgão gestor estadual (NATURATINS), o único usuário outorgado é a SANEATINS, que possui captação no Ribeirão do Taquarussu Grande, com a finalidade para abastecimento público, sendo assim, desprezou-se os valores outorgados, considerando a projeção de demanda da população urbana.

4.3.1. Cenário 01: Demanda Hídrica para o Abastecimento

No primeiro cenário, que trata da análise da disponibilidade hídrica para o abastecimento público, foram considerados, a projeção de demanda no horizonte de 20 anos da Sub-bacia para o abastecimento de 66% (ETA 06) e 100% da população urbana, as outorgas emitidas, a oferta hídrica e a estabilidade da disponibilidade hídrica, como análise para o Cenário 01. Obteve-se os seguintes resultados:

Caso 01 – vazão de referência adotada foi a Q_{90} , onde o limite máximo a ser outorgado considerado foi de 75% da vazão de referência, obtendo a *vazão outorgada anual e mensal*.

Mantendo-se a *vazão outorgada anual* de 0,77 m³/s e a *vazão outorgada mensal* que apresentou no mês de setembro a menor oferta hídrica com 0,29 m³/s, demonstrou-se o atendimento de toda projeção de demandas para os diferentes usuários na Sub-bacia, a qual atingirá no final do plano demanda em torno de 0,01337 m³/s.

Já para o abastecimento de 100% da população urbana, a demanda não foi suprida integralmente, para que pudesse manter tanto a *vazão outorgada anual* como a *mensal*, conforme observado no quadro 16, onde o índice de não atendimento da *vazão outorgada anual* ficou em torno de 0,50% no ano de 2010, atingindo um percentual de 62,4% em 2030. Para a *vazão outorgada mensal*, os meses de setembro e outubro do ano de 2010 apresentaram déficit hídrico de 53,5% e 38,50%, respectivamente, comprometendo o abastecimento neste período, seguidos do mês de agosto a partir do ano de 2011, com 3,3%, do mês de Novembro em 2016, com 0,2% e do mês de Julho em 2022, com 1,0%.

Para o abastecimento de 66% da população urbana (ETA 006), conforme quadro 17, a demanda também não foi suprida integralmente, a *vazão outorgada mensal*, apresentou déficit de 29,66% no mês de setembro e de 7% no mês de outubro ambos no ano de 2010, enquanto a *vazão outorgada anual* demonstrou excedência na capacidade do Ribeirão Taquarussu Grande em cerca de 50,6%, neste caso, a *vazão outorgada anual* extrapolou a capacidade do manancial, fato este repetido até o ano de 2018.

A *vazão outorgada mensal* é capaz de suprir toda a demanda da população urbana abastecida pela ETA 006 (66%) no horizonte de 20 anos nos meses de dezembro a julho, além de possuir a capacidade de disponibilizar água para outras atividades afins.

Quadro 16: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada mensal e anual* calculada com base na Q_{90} e a Demanda de 100% da População Urbana

ANO	DEMANDA	OFERTA HÍDRICA (m³/s)												
	(m³/s)	<i>Vazão Outorgada (75% da Q_{90}), calculada com base no período de 2002 a 2009</i>												
	100% da População Urbana	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
	3,325	4,236	5,100	4,058	3,620	2,198	1,365	0,780	0,358	0,473	1,028	2,488	0,765	
2.010	0,769	332,6%	451,1%	563,5%	427,9%	371,0%	185,9%	77,6%	1,5%	-53,5%	-38,5%	33,7%	223,7%	-0,5%
2.011	0,807	312,0%	424,9%	532,0%	402,8%	348,6%	172,3%	69,1%	-3,3%	-55,7%	-41,5%	27,3%	208,3%	-5,2%
2.012	0,847	292,4%	399,9%	501,9%	378,9%	327,3%	159,4%	61,1%	-7,9%	-57,8%	-44,2%	21,3%	193,7%	-9,7%
2.013	0,890	273,8%	376,2%	473,3%	356,1%	306,9%	147,0%	53,4%	-12,3%	-59,8%	-46,9%	15,5%	179,7%	-14,0%
2.014	0,934	256,0%	353,5%	446,1%	334,4%	287,6%	135,3%	46,2%	-16,5%	-61,7%	-49,4%	10,0%	166,4%	-18,1%
2.015	0,981	239,1%	332,0%	420,1%	313,8%	269,2%	124,1%	39,2%	-20,5%	-63,5%	-51,8%	4,8%	153,8%	-22,0%
2.016	1,030	223,0%	311,4%	395,4%	294,1%	251,6%	113,4%	32,6%	-24,2%	-65,3%	-54,1%	-0,2%	141,7%	-25,7%
2.017	1,081	207,6%	291,9%	371,8%	275,4%	234,9%	103,3%	26,3%	-27,8%	-66,9%	-56,3%	-4,9%	130,2%	-29,2%
2.018	1,135	193,0%	273,2%	349,4%	257,5%	219,0%	93,6%	20,3%	-31,3%	-68,5%	-58,4%	-9,5%	119,3%	-32,6%
2.019	1,192	179,0%	255,5%	328,0%	240,5%	203,8%	84,4%	14,6%	-34,5%	-70,0%	-60,3%	-13,8%	108,8%	-35,8%
2.020	1,251	165,8%	238,6%	307,7%	224,3%	189,4%	75,7%	9,1%	-37,7%	-71,4%	-62,2%	-17,9%	98,9%	-38,9%
2.021	1,314	153,1%	222,5%	288,3%	208,9%	175,6%	67,3%	3,9%	-40,6%	-72,8%	-64,0%	-21,8%	89,4%	-41,8%
2.022	1,379	141,1%	207,1%	269,8%	194,2%	162,5%	59,3%	-1,0%	-43,4%	-74,1%	-65,7%	-25,5%	80,4%	-44,5%
2.023	1,448	129,6%	192,5%	252,2%	180,2%	150,0%	51,8%	-5,7%	-46,1%	-75,3%	-67,4%	-29,0%	71,8%	-47,2%
2.024	1,520	118,7%	178,6%	235,5%	166,9%	138,1%	44,5%	-10,2%	-48,7%	-76,5%	-68,9%	-32,4%	63,7%	-49,7%
2.025	1,596	108,3%	165,4%	219,5%	154,2%	126,8%	37,7%	-14,5%	-51,1%	-77,6%	-70,4%	-35,6%	55,9%	-52,1%
2.026	1,676	98,4%	152,7%	204,3%	142,1%	116,0%	31,1%	-18,6%	-53,5%	-78,7%	-71,8%	-38,7%	48,5%	-54,4%
2.027	1,760	89,0%	140,7%	189,8%	130,6%	105,7%	24,9%	-22,4%	-55,7%	-79,7%	-73,1%	-41,6%	41,4%	-56,5%
2.028	1,848	80,0%	129,3%	176,0%	119,6%	95,9%	18,9%	-26,1%	-57,8%	-80,6%	-74,4%	-44,4%	34,7%	-58,6%
2.029	1,940	71,4%	118,3%	162,9%	109,2%	86,6%	13,3%	-29,6%	-59,8%	-81,6%	-75,6%	-47,0%	28,3%	-60,6%
2.030	2,037	63,2%	108,0%	150,4%	99,2%	77,7%	7,9%	-33,0%	-61,7%	-82,4%	-76,8%	-49,6%	22,2%	-62,4%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Quadro 17: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada mensal e anual* calculada com base na Q₉₀ e a Demanda de 66% da População Urbana

ANO	DEMANDA (m ³ /s)	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
		Vazão Outorgada (75% da Q ₉₀), calculada com base no período de 2002 a 2009												
	66% da População Urbana (ETA 006)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		3,325	4,236	5,100	4,058	3,620	2,198	1,365	0,780	0,358	0,473	1,028	2,488	0,765
2.010	0,508	554,7%	734,0%	904,2%	698,9%	612,8%	332,7%	168,8%	53,6%	-29,6%	-7,0%	102,3%	390,0%	50,6%
2.011	0,533	523,6%	694,4%	856,5%	661,0%	579,0%	312,2%	156,0%	46,3%	-32,9%	-11,4%	92,7%	366,7%	43,5%
2.012	0,560	494,0%	656,7%	811,1%	624,9%	546,7%	292,6%	143,9%	39,3%	-36,1%	-15,6%	83,6%	344,5%	36,7%
2.013	0,588	465,8%	620,8%	767,8%	590,4%	516,0%	273,9%	132,3%	32,7%	-39,1%	-19,6%	74,8%	323,4%	30,2%
2.014	0,617	438,9%	586,6%	726,6%	557,7%	486,8%	256,2%	121,2%	26,4%	-42,0%	-23,4%	66,5%	303,3%	24,0%
2.015	0,648	413,3%	553,9%	687,4%	526,4%	458,9%	239,3%	110,7%	20,4%	-44,8%	-27,1%	58,6%	284,2%	18,1%
2.016	0,680	388,9%	522,9%	650,0%	496,7%	432,3%	223,1%	100,7%	14,7%	-47,4%	-30,5%	51,1%	265,9%	12,5%
2.017	0,714	365,7%	493,3%	614,3%	468,3%	407,0%	207,8%	91,2%	9,2%	-49,9%	-33,8%	43,9%	248,5%	7,1%
2.018	0,750	343,6%	465,1%	580,4%	441,3%	383,0%	193,2%	82,1%	4,1%	-52,3%	-37,0%	37,1%	232,0%	2,1%
2.019	0,787	322,5%	438,2%	548,0%	415,6%	360,0%	179,2%	73,4%	-0,9%	-54,5%	-40,0%	30,6%	216,2%	-2,8%
2.020	0,826	302,4%	412,7%	517,2%	391,1%	338,1%	166,0%	65,2%	-5,6%	-56,7%	-42,8%	24,4%	201,2%	-7,4%
2.021	0,867	283,3%	388,3%	487,9%	367,7%	317,3%	153,3%	57,4%	-10,1%	-58,8%	-45,5%	18,4%	186,8%	-11,8%
2.022	0,911	265,1%	365,1%	460,0%	345,5%	297,5%	141,3%	49,9%	-14,4%	-60,7%	-48,1%	12,8%	173,2%	-16,0%
2.023	0,956	247,7%	343,0%	433,3%	324,3%	278,6%	129,8%	42,7%	-18,4%	-62,6%	-50,6%	7,5%	160,2%	-20,0%
2.024	1,004	231,2%	321,9%	408,0%	304,1%	260,6%	118,9%	36,0%	-22,3%	-64,4%	-52,9%	2,3%	147,9%	-23,8%
2.025	1,054	215,4%	301,8%	383,8%	284,9%	243,4%	108,5%	29,5%	-26,0%	-66,1%	-55,2%	-2,5%	136,1%	-27,4%
2.026	1,107	200,4%	282,7%	360,8%	266,6%	227,1%	98,6%	23,3%	-29,5%	-67,7%	-57,3%	-7,2%	124,8%	-30,9%
2.027	1,162	186,2%	264,5%	338,9%	249,2%	211,6%	89,1%	17,5%	-32,9%	-69,2%	-59,3%	-11,6%	114,2%	-34,2%
2.028	1,220	172,5%	247,2%	318,0%	232,6%	196,7%	80,1%	11,9%	-36,1%	-70,7%	-61,3%	-15,8%	104,0%	-37,3%
2.029	1,281	159,6%	230,7%	298,2%	216,8%	182,6%	71,6%	6,6%	-39,1%	-72,1%	-63,1%	-19,8%	94,3%	-40,3%
2.030	1,345	147,2%	215,0%	279,2%	201,7%	169,2%	63,4%	1,5%	-42,0%	-73,4%	-64,9%	-23,6%	85,0%	-43,1%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Caso 02 – vazão de referência adotada foi a $Q_{7,10}$, onde o limite máximo a ser outorgado considerado foi de 75% da vazão de referência, obtendo a *vazão outorgada anual e mensal*.

Com esta vazão de referência adotada, a demanda $0,01337 \text{ m}^3/\text{s}$ da Sub-bacia seria atendida integralmente, considerando tanto a oferta hídrica disponibilizada pela *vazão outorgada anual* que é de $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ como a *vazão outorgada mensal*, sendo de $0,285 \text{ m}^3/\text{s}$ no mês de agosto.

Porém, conforme evidenciado no quadro 18 não seria possível atender a demanda 100% da população urbana no horizonte de 20 anos pela *vazão outorgada anual*, na qual apresenta déficit inicial de 57,1%, atingindo 83,8% no final de plano, provocando de imediato a busca por alternativas para realizar o abastecimento.

Entretanto, no mesmo quadro e figura, a *vazão outorgada mensal*, nos meses de dezembro a junho consegue atender integralmente esta demanda, tendo somente nos meses de agosto a novembro uma deficiência preocupante no atendimento para o mesmo horizonte, pois provoca de imediato o desabastecimento da população urbana por 04 meses consecutivos.

A mesma situação descrita no parágrafo anterior é evidenciada nos resultados apresentados no quadro 19, no qual não é possível atender a demanda de 66% da população urbana pela *vazão outorgada anual* no horizonte de 20 anos, tendo déficit inicial de 35%.

No entanto, a *vazão outorgada mensal* possui capacidade de suprir esta demanda integralmente nos meses de dezembro a junho do mesmo horizonte. Os meses de julho a novembro apresentaram índice de não atendimento considerado de 43,9% no ano de 2010 e de 78,8% no ano de 2030, (Quadro 4.9).

Quadro 18: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada mensal e anual* calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 100% da População Urbana

ANO	DEMANDA	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
	(m ³ /s)	Vazão Outorgada (75% da $Q_{7,10}$), calculada com base no período de 2002 a 2009												
	100% da População Urbana	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,978	3,353	4,613	4,223	3,390	2,153	1,238	0,690	0,285	0,375	0,765	2,213	0,330
2.010	0,769	287,4%	336,1%	500,1%	449,3%	341,0%	180,0%	61,0%	-10,2%	-62,9%	-51,2%	-0,5%	187,8%	-57,1%
2.011	0,807	269,0%	315,4%	471,5%	423,2%	320,1%	166,7%	53,3%	-14,5%	-64,7%	-53,5%	-5,2%	174,2%	-59,1%
2.012	0,847	251,4%	295,7%	444,4%	398,4%	300,1%	154,0%	46,1%	-18,6%	-66,4%	-55,7%	-9,7%	161,1%	-61,1%
2.013	0,890	234,7%	276,9%	418,5%	374,7%	281,1%	142,0%	39,1%	-22,4%	-68,0%	-57,8%	-14,0%	148,7%	-62,9%
2.014	0,934	218,8%	259,0%	393,9%	352,1%	263,0%	130,5%	32,5%	-26,1%	-69,5%	-59,8%	-18,1%	136,9%	-64,7%
2.015	0,981	203,6%	241,9%	370,4%	330,6%	245,7%	119,5%	26,2%	-29,6%	-70,9%	-61,8%	-22,0%	125,6%	-66,3%
2.016	1,030	189,2%	225,6%	348,0%	310,1%	229,3%	109,1%	20,2%	-33,0%	-72,3%	-63,6%	-25,7%	114,9%	-67,9%
2.017	1,081	175,5%	210,1%	326,7%	290,6%	213,6%	99,1%	14,5%	-36,2%	-73,6%	-65,3%	-29,2%	104,7%	-69,5%
2.018	1,135	162,4%	195,4%	306,4%	272,1%	198,7%	89,7%	9,0%	-39,2%	-74,9%	-67,0%	-32,6%	95,0%	-70,9%
2.019	1,192	149,9%	181,4%	287,1%	254,4%	184,5%	80,6%	3,9%	-42,1%	-76,1%	-68,5%	-35,8%	85,7%	-72,3%
2.020	1,251	138,0%	168,0%	268,7%	237,5%	171,0%	72,1%	-1,1%	-44,8%	-77,2%	-70,0%	-38,9%	76,8%	-73,6%
2.021	1,314	126,7%	155,2%	251,2%	221,5%	158,1%	63,9%	-5,8%	-47,5%	-78,3%	-71,5%	-41,8%	68,4%	-74,9%
2.022	1,379	115,9%	143,1%	234,4%	206,2%	145,8%	56,1%	-10,3%	-50,0%	-79,3%	-72,8%	-44,5%	60,4%	-76,1%
2.023	1,448	105,6%	131,5%	218,5%	191,6%	134,1%	48,7%	-14,5%	-52,3%	-80,3%	-74,1%	-47,2%	52,8%	-77,2%
2.024	1,520	95,8%	120,5%	203,4%	177,7%	123,0%	41,6%	-18,6%	-54,6%	-81,3%	-75,3%	-49,7%	45,5%	-78,3%
2.025	1,596	86,5%	110,0%	189,0%	164,5%	112,4%	34,8%	-22,5%	-56,8%	-82,1%	-76,5%	-52,1%	38,6%	-79,3%
2.026	1,676	77,7%	100,0%	175,2%	151,9%	102,3%	28,4%	-26,2%	-58,8%	-83,0%	-77,6%	-54,4%	32,0%	-80,3%
2.027	1,760	69,2%	90,5%	162,1%	140,0%	92,6%	22,3%	-29,7%	-60,8%	-83,8%	-78,7%	-56,5%	25,7%	-81,2%
2.028	1,848	61,2%	81,4%	149,6%	128,5%	83,5%	16,5%	-33,0%	-62,7%	-84,6%	-79,7%	-58,6%	19,7%	-82,1%
2.029	1,940	53,5%	72,8%	137,8%	117,7%	74,7%	11,0%	-36,2%	-64,4%	-85,3%	-80,7%	-60,6%	14,1%	-83,0%
2.030	2,037	46,2%	64,6%	126,5%	107,3%	66,4%	5,7%	-39,2%	-66,1%	-86,0%	-81,6%	-62,4%	8,6%	-83,8%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Quadro 19: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada mensal e anual* calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 66% da População Urbana

ANO	DEMANDA	OFERTA HÍDRICA (m³/s)												
	(m³/s)	Vazão Outorgada (75% da $Q_{7,10}$), calculada com base no período de 2002 a 2009												
	66% da População Urbana (ETA 006)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,978	3,353	4,613	4,223	3,390	2,153	1,238	0,690	0,285	0,375	0,765	2,213	0,330
2.010	0,508	486,3%	560,1%	808,2%	731,4%	567,5%	323,8%	143,7%	35,9%	-43,9%	-26,2%	50,6%	335,6%	-35,0%
2.011	0,533	458,4%	528,8%	765,1%	692,0%	535,8%	303,7%	132,1%	29,4%	-46,5%	-29,7%	43,5%	315,0%	-38,1%
2.012	0,560	431,9%	498,9%	724,0%	654,3%	505,6%	284,5%	121,1%	23,3%	-49,1%	-33,0%	36,7%	295,3%	-41,0%
2.013	0,588	406,7%	470,5%	684,9%	618,5%	476,9%	266,3%	110,6%	17,4%	-51,5%	-36,2%	30,2%	276,5%	-43,8%
2.014	0,617	382,6%	443,4%	647,6%	584,4%	449,5%	248,9%	100,6%	11,8%	-53,8%	-39,2%	24,0%	258,6%	-46,5%
2.015	0,648	359,7%	417,6%	612,1%	551,9%	423,4%	232,3%	91,1%	6,5%	-56,0%	-42,1%	18,1%	241,6%	-49,1%
2.016	0,680	337,8%	393,0%	578,3%	520,9%	398,5%	216,5%	82,0%	1,5%	-58,1%	-44,9%	12,5%	225,3%	-51,5%
2.017	0,714	317,0%	369,6%	546,0%	491,4%	374,8%	201,5%	73,3%	-3,4%	-60,1%	-47,5%	7,1%	209,9%	-53,8%
2.018	0,750	297,2%	347,3%	515,3%	463,3%	352,3%	187,2%	65,1%	-7,9%	-62,0%	-50,0%	2,1%	195,2%	-56,0%
2.019	0,787	278,3%	326,0%	486,1%	436,5%	330,8%	173,5%	57,2%	-12,3%	-63,8%	-52,3%	-2,8%	181,1%	-58,1%
2.020	0,826	260,4%	305,8%	458,2%	411,0%	310,3%	160,5%	49,8%	-16,5%	-65,5%	-54,6%	-7,4%	167,8%	-60,1%
2.021	0,867	243,2%	286,5%	431,7%	386,8%	290,8%	148,1%	42,7%	-20,5%	-67,1%	-56,8%	-11,8%	155,0%	-62,0%
2.022	0,911	226,9%	268,1%	406,4%	363,6%	272,2%	136,3%	35,9%	-24,2%	-68,7%	-58,8%	-16,0%	142,9%	-63,8%
2.023	0,956	211,4%	250,6%	382,4%	341,6%	254,5%	125,1%	29,4%	-27,8%	-70,2%	-60,8%	-20,0%	131,4%	-65,5%
2.024	1,004	196,6%	233,9%	359,4%	320,6%	237,7%	114,4%	23,3%	-31,3%	-71,6%	-62,6%	-23,8%	120,4%	-67,1%
2.025	1,054	182,5%	218,0%	337,6%	300,6%	221,6%	104,2%	17,4%	-34,5%	-73,0%	-64,4%	-27,4%	109,9%	-68,7%
2.026	1,107	169,0%	202,9%	316,8%	281,5%	206,3%	94,5%	11,8%	-37,7%	-74,2%	-66,1%	-30,9%	99,9%	-70,2%
2.027	1,162	156,2%	188,5%	297,0%	263,4%	191,7%	85,2%	6,5%	-40,6%	-75,5%	-67,7%	-34,2%	90,4%	-71,6%
2.028	1,220	144,1%	174,8%	278,1%	246,1%	177,9%	76,4%	1,4%	-43,4%	-76,6%	-69,3%	-37,3%	81,4%	-73,0%
2.029	1,281	132,5%	161,7%	260,1%	229,7%	164,7%	68,0%	-3,4%	-46,1%	-77,7%	-70,7%	-40,3%	72,7%	-74,2%
2.030	1,345	121,4%	149,3%	243,0%	214,0%	152,1%	60,1%	-8,0%	-48,7%	-78,8%	-72,1%	-43,1%	64,5%	-75,5%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

4.3.2. Cenário 02: Demanda Hídrica para o Abastecimento após simulações de retiradas hipotéticas

No Cenário 02, objetivou-se avaliar a disponibilidade hídrica em função da simulação da retirada de 25% da *vazão outorgada*, tendo como vazão de referência a Q_{90} e $Q_{7,10}$ anual e mensal, esta vazão foi utilizada como oferta hídrica para analisar se houve comprometimento do abastecimento da população urbana. Obteve-se os seguintes resultados:

Caso 01 – retirada de 25% da *vazão outorgada anual e mensal*, tendo a Q_{90} como vazão de referência.

O efeito da retirada de 25% da *vazão outorgada anual* é expressivamente preocupante para o abastecimento de 100% da população urbana, pois a vazão disponibilizada apresenta déficit no ano de 2010 de 25,40%, atingindo no ano de 2030, 71,80%, (Quadro 20)

Já com relação à retirada de 25% da *vazão outorgada mensal*, o efeito no abastecimento resulta na ineficiência em suprir a demanda em três meses consecutivos no ano de 2010, tendo déficit 23,9% em agosto, de 65,1% em Setembro e de 53,9% em Outubro. A partir do ano de 2011, compromete o mês de Novembro com índice de não atendimento de 4,5%, o mês de junho no ano de 2016 com 0,6% e o mês de julho com 1,7% e no ano de 2029 o mês de dezembro com 3,8%, (Quadro 20).

Quanto à demanda hídrica para o abastecimento de 66% da população urbana (ETA 006) pela *vazão outorgada anual*, da qual foi simulada a retirada de 25%, apresentou-se um excedente no ano de 2010 de 9,7% e no ano de 2012, um déficit de 0,50%, (Quadro 21).

No entanto, a *vazão outorgada mensal*, da qual foi simulada a retirada da mesma percentagem, demonstrou no ano de 2010, um déficit de 47,2% referente ao mês de setembro e de 30,2% em outubro, contrariando a informação do parágrafo anterior. O mês de agosto no ano de 2013, o mês de novembro de 2019 e o mês de julho em 2025, também apresentam déficit de 0,5%, 2,1% e 2,9%, respectivamente, (Quadro 21).

Os meses de dezembro a junho no horizonte de 20 anos, além de atenderem integralmente a demanda de 66% da população urbana (ETA 006), apresentam excessos hídricos, com resultados que variam entre 22,5% a 653,2%, (Quadro 4.11).

Quadro 20: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da Vazão Outorgada mensal e anual, calculada com base na Q₉₀ e a Demanda de 100% da População Urbana.

ANO	DEMANDA	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
	(m ³ /s)	Retirada de 25% da Vazão Outorgada (75% da Q ₉₀), calculada com base no período de 2002 a 2009												
	100% da População Urbana	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,494	3,177	3,825	3,043	2,715	1,648	1,024	0,585	0,268	0,354	0,771	1,866	0,574
2.010	0,769	224,4%	313,3%	397,6%	295,9%	253,2%	114,4%	33,2%	-23,9%	-65,1%	-53,9%	0,3%	142,8%	-25,4%
2.011	0,807	209,0%	293,7%	374,0%	277,1%	236,4%	104,2%	26,9%	-27,5%	-66,8%	-56,1%	-4,5%	131,3%	-28,9%
2.012	0,847	194,3%	274,9%	351,4%	259,2%	220,4%	94,5%	20,8%	-31,0%	-68,3%	-58,2%	-9,0%	120,3%	-32,3%
2.013	0,890	180,3%	257,1%	330,0%	242,1%	205,2%	85,3%	15,1%	-34,2%	-69,8%	-60,2%	-13,4%	109,8%	-35,5%
2.014	0,934	167,0%	240,1%	309,5%	225,8%	190,7%	76,5%	9,6%	-37,4%	-71,3%	-62,1%	-17,5%	99,8%	-38,6%
2.015	0,981	154,3%	224,0%	290,1%	210,3%	176,9%	68,1%	4,4%	-40,3%	-72,6%	-63,9%	-21,4%	90,3%	-41,5%
2.016	1,030	142,2%	208,6%	271,5%	195,6%	163,7%	60,1%	-0,6%	-43,2%	-73,9%	-65,6%	-25,1%	81,3%	-44,3%
2.017	1,081	130,7%	193,9%	253,9%	181,5%	151,2%	52,5%	-5,3%	-45,9%	-75,2%	-67,2%	-28,7%	72,7%	-46,9%
2.018	1,135	119,7%	179,9%	237,0%	168,1%	139,2%	45,2%	-9,8%	-48,5%	-76,4%	-68,8%	-32,1%	64,4%	-49,4%
2.019	1,192	109,3%	166,6%	221,0%	155,4%	127,9%	38,3%	-14,1%	-50,9%	-77,5%	-70,3%	-35,3%	56,6%	-51,8%
2.020	1,251	99,3%	153,9%	205,7%	143,2%	117,0%	31,7%	-18,2%	-53,2%	-78,6%	-71,7%	-38,4%	49,2%	-54,1%
2.021	1,314	89,9%	141,9%	191,2%	131,7%	106,7%	25,5%	-22,1%	-55,5%	-79,6%	-73,0%	-41,3%	42,1%	-56,3%
2.022	1,379	80,8%	130,3%	177,3%	120,7%	96,9%	19,5%	-25,8%	-57,6%	-80,5%	-74,3%	-44,1%	35,3%	-58,4%
2.023	1,448	72,2%	119,4%	164,2%	110,2%	87,5%	13,8%	-29,3%	-59,6%	-81,5%	-75,5%	-46,8%	28,9%	-60,4%
2.024	1,520	64,0%	109,0%	151,6%	100,2%	78,6%	8,4%	-32,7%	-61,5%	-82,4%	-76,7%	-49,3%	22,8%	-62,3%
2.025	1,596	56,2%	99,0%	139,6%	90,6%	70,1%	3,2%	-35,9%	-63,4%	-83,2%	-77,8%	-51,7%	16,9%	-64,1%
2.026	1,676	48,8%	89,5%	128,2%	81,6%	62,0%	-1,7%	-38,9%	-65,1%	-84,0%	-78,9%	-54,0%	11,4%	-65,8%
2.027	1,760	41,7%	80,5%	117,4%	72,9%	54,3%	-6,3%	-41,8%	-66,8%	-84,8%	-79,9%	-56,2%	6,1%	-67,4%
2.028	1,848	35,0%	71,9%	107,0%	64,7%	46,9%	-10,8%	-44,6%	-68,3%	-85,5%	-80,8%	-58,3%	1,0%	-68,9%
2.029	1,940	28,6%	63,8%	97,2%	56,9%	40,0%	-15,0%	-47,2%	-69,8%	-86,2%	-81,7%	-60,3%	-3,8%	-70,4%
2.030	2,037	22,4%	56,0%	87,8%	49,4%	33,3%	-19,1%	-49,7%	-71,3%	-86,8%	-82,6%	-62,2%	-8,4%	-71,8%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Quadro 21: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da Vazão Outorgada mensal e anual, calculada com base na Q₉₀ e a Demanda de 66% da População Urbana (ETA 006).

ANO	DEMANDA (m ³ /s) 66% da População Urbana (ETA 006)	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
		Retirada de 25% da Vazão Outorgada (75% da Q ₉₀), calculada com base no período de 2002 a 2009												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,494	3,177	3,825	3,043	2,715	1,648	1,024	0,585	0,268	0,354	0,771	1,866	0,574
2.010	0,508	391,0%	525,5%	653,2%	499,2%	434,6%	224,5%	101,6%	15,2%	-47,2%	-30,2%	51,7%	267,5%	13,0%
2.011	0,533	367,7%	495,8%	617,4%	470,8%	409,2%	209,1%	92,0%	9,7%	-49,7%	-33,5%	44,5%	250,0%	7,6%
2.012	0,560	345,5%	467,5%	583,3%	443,7%	385,0%	194,4%	82,9%	4,5%	-52,1%	-36,7%	37,7%	233,4%	2,5%
2.013	0,588	324,4%	440,6%	550,9%	417,8%	362,0%	180,5%	74,2%	-0,5%	-54,3%	-39,7%	31,1%	217,6%	-2,4%
2.014	0,617	304,2%	414,9%	520,0%	393,2%	340,1%	167,1%	65,9%	-5,2%	-56,5%	-42,6%	24,9%	202,5%	-7,0%
2.015	0,648	285,0%	390,5%	490,5%	369,8%	319,2%	154,4%	58,1%	-9,7%	-58,6%	-45,3%	19,0%	188,1%	-11,4%
2.016	0,680	266,7%	367,2%	462,5%	347,5%	299,3%	142,4%	50,5%	-14,0%	-60,5%	-47,9%	13,3%	174,4%	-15,6%
2.017	0,714	249,3%	345,0%	435,7%	326,2%	280,3%	130,8%	43,4%	-18,1%	-62,4%	-50,4%	7,9%	161,4%	-19,6%
2.018	0,750	232,7%	323,8%	410,3%	306,0%	262,2%	119,9%	36,6%	-22,0%	-64,2%	-52,7%	2,8%	149,0%	-23,5%
2.019	0,787	216,9%	303,7%	386,0%	286,7%	245,0%	109,4%	30,1%	-25,7%	-65,9%	-55,0%	-2,1%	137,1%	-27,1%
2.020	0,826	201,8%	284,5%	362,9%	268,3%	228,6%	99,5%	23,9%	-29,2%	-67,5%	-57,1%	-6,7%	125,9%	-30,6%
2.021	0,867	187,5%	266,2%	340,9%	250,8%	213,0%	90,0%	18,0%	-32,6%	-69,1%	-59,1%	-11,2%	115,1%	-33,9%
2.022	0,911	173,8%	248,8%	320,0%	234,1%	198,1%	81,0%	12,4%	-35,8%	-70,5%	-61,1%	-15,4%	104,9%	-37,0%
2.023	0,956	160,8%	232,2%	300,0%	218,2%	183,9%	72,4%	7,1%	-38,8%	-71,9%	-62,9%	-19,4%	95,2%	-40,0%
2.024	1,004	148,4%	216,4%	281,0%	203,1%	170,4%	64,2%	2,0%	-41,7%	-73,3%	-64,7%	-23,2%	85,9%	-42,9%
2.025	1,054	136,6%	201,4%	262,9%	188,7%	157,6%	56,4%	-2,9%	-44,5%	-74,5%	-66,4%	-26,9%	77,1%	-45,6%
2.026	1,107	125,3%	187,1%	245,6%	175,0%	145,3%	48,9%	-7,5%	-47,1%	-75,8%	-68,0%	-30,4%	68,6%	-48,2%
2.027	1,162	114,6%	173,4%	229,2%	161,9%	133,7%	41,8%	-11,9%	-49,7%	-76,9%	-69,5%	-33,7%	60,6%	-50,6%
2.028	1,220	104,4%	160,4%	213,5%	149,4%	122,6%	35,1%	-16,1%	-52,0%	-78,0%	-71,0%	-36,8%	53,0%	-53,0%
2.029	1,281	94,7%	148,0%	198,6%	137,6%	112,0%	28,7%	-20,1%	-54,3%	-79,1%	-72,3%	-39,8%	45,7%	-55,2%
2.030	1,345	85,4%	136,2%	184,4%	126,3%	101,9%	22,5%	-23,9%	-56,5%	-80,0%	-73,6%	-42,7%	38,8%	-57,3%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Caso 02 – retirada de 25% da *vazão outorgada anual e mensal*, tendo a $Q_{7,10}$ como vazão de referência.

A retirada de 25% da *vazão outorgada anual* apresentou um efeito bem preocupante no atendimento do abastecimento de 100% da população urbana, pois no início do horizonte, em 2010, já possuía déficit de 67,8%, atingindo ao final do plano, no ano de 2030, um déficit de 87,8%, (Quadro 22).

A situação da oferta hídrica baseada na *vazão outorgada mensal*, após a retirada do mesmo percentual, compromete integralmente o abastecimento nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro do ano de 2010, com déficit respectivamente de 32,7%, 72,2%, 63,4% e 25,4%. No ano de 2014, no mês de julho houve um déficit de 0,6%, em 2026, no mês de junho, 3,7% e no mês de dezembro deste mesmo ano, 1,0%, como é evidenciado no quadro 22. Fato interessante nesta simulação é ter quatros meses sem perspectiva nenhuma de abastecimento nos primeiros quatro anos (2010-2013), sendo que a partir de 2014 aumenta para cinco meses.

A demanda é suprida entre os meses de janeiro a maio no horizonte de 20 anos, o mês de julho até 2013, os meses de junho e novembro até 2025, apresentando excessos hídricos nestes períodos, (Quadro 22).

Para o atendimento do abastecimento de 66% da população urbana (ETA 006), a oferta hídrica disponibilizada nos meses de setembro e outubro de 2010 não são suficientes para suprir a demanda, apresentando um índice de não atendimento de 57,9% e 44,6%, respectivamente, tendo a situação agravada no ano seguinte, com inclusão do mês de agosto, com déficit de 2,9%, seguido do mês de novembro em 2013, com 2,4% e o mês de julho no ano de 2023, com 2,9%, (Quadro 23).

Os meses de dezembro a junho atendem integralmente a projeção de demanda compreendida entre os anos 2010 a 2030, no entanto, o mês de novembro tem capacidade de suprir esta demanda até o ano de 2011 e o mês de julho até 2022, (Quadro 23).

No caso da utilização da *vazão outorgada anual*, após a simulação da retirada hipotética de 25%, a oferta hídrica disponível não é capaz de atender a demanda da população, tendo déficit inicial de 51,3%, (Quadro 23).

Quadro 22: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da Vazão Outorgada mensal e anual, calculada com base na Q_{7,10} e a Demanda de 100% da População Urbana (ETA 006).

ANO	DEMANDA	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
	(m ³ /s)	Retirada de 25% da Vazão Outorgada (75% da Q _{7,10}), calculada com base no período de 2002 a 2009												
	100% da População Urbana	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,233	2,514	3,459	3,167	2,543	1,614	0,928	0,518	0,214	0,281	0,574	1,659	0,248
2.010	0,769	190,5%	227,1%	350,1%	312,0%	230,8%	110,0%	20,7%	-32,7%	-72,2%	-63,4%	-25,4%	115,9%	-67,8%
2.011	0,807	176,7%	211,6%	328,7%	292,4%	215,0%	100,0%	15,0%	-35,9%	-73,5%	-65,1%	-28,9%	105,6%	-69,3%
2.012	0,847	163,6%	196,8%	308,3%	273,8%	200,1%	90,5%	9,5%	-38,9%	-74,8%	-66,8%	-32,3%	95,8%	-70,8%
2.013	0,890	151,0%	182,7%	288,9%	256,0%	185,8%	81,5%	4,3%	-41,8%	-76,0%	-68,4%	-35,5%	86,5%	-72,2%
2.014	0,934	139,1%	169,2%	270,4%	239,1%	172,2%	72,9%	-0,6%	-44,6%	-77,1%	-69,9%	-38,6%	77,7%	-73,5%
2.015	0,981	127,7%	156,4%	252,8%	223,0%	159,3%	64,6%	-5,4%	-47,2%	-78,2%	-71,3%	-41,5%	69,2%	-74,8%
2.016	1,030	116,9%	144,2%	236,0%	207,6%	147,0%	56,8%	-9,9%	-49,7%	-79,2%	-72,7%	-44,3%	61,2%	-76,0%
2.017	1,081	106,6%	132,6%	220,0%	193,0%	135,2%	49,3%	-14,1%	-52,1%	-80,2%	-74,0%	-46,9%	53,5%	-77,1%
2.018	1,135	96,8%	121,5%	204,8%	179,0%	124,0%	42,2%	-18,2%	-54,4%	-81,2%	-75,2%	-49,4%	46,2%	-78,2%
2.019	1,192	87,4%	111,0%	190,3%	165,8%	113,4%	35,5%	-22,1%	-56,6%	-82,1%	-76,4%	-51,8%	39,3%	-79,2%
2.020	1,251	78,5%	101,0%	176,5%	153,1%	103,2%	29,0%	-25,8%	-58,6%	-82,9%	-77,5%	-54,1%	32,6%	-80,2%
2.021	1,314	70,0%	91,4%	163,4%	141,1%	93,6%	22,9%	-29,3%	-60,6%	-83,7%	-78,6%	-56,3%	26,3%	-81,2%
2.022	1,379	61,9%	82,3%	150,8%	129,6%	84,4%	17,1%	-32,7%	-62,5%	-84,5%	-79,6%	-58,4%	20,3%	-82,1%
2.023	1,448	54,2%	73,6%	138,9%	118,7%	75,6%	11,5%	-35,9%	-64,3%	-85,2%	-80,6%	-60,4%	14,6%	-82,9%
2.024	1,520	46,9%	65,4%	127,5%	108,3%	67,2%	6,2%	-39,0%	-66,0%	-85,9%	-81,5%	-62,3%	9,1%	-83,7%
2.025	1,596	39,9%	57,5%	116,7%	98,4%	59,3%	1,1%	-41,9%	-67,6%	-86,6%	-82,4%	-64,1%	4,0%	-84,5%
2.026	1,676	33,2%	50,0%	106,4%	89,0%	51,7%	-3,7%	-44,6%	-69,1%	-87,2%	-83,2%	-65,8%	-1,0%	-85,2%
2.027	1,760	26,9%	42,9%	96,6%	80,0%	44,5%	-8,3%	-47,3%	-70,6%	-87,9%	-84,0%	-67,4%	-5,7%	-85,9%
2.028	1,848	20,9%	36,1%	87,2%	71,4%	37,6%	-12,6%	-49,8%	-72,0%	-88,4%	-84,8%	-68,9%	-10,2%	-86,6%
2.029	1,940	15,1%	29,6%	78,3%	63,2%	31,1%	-16,8%	-52,2%	-73,3%	-89,0%	-85,5%	-70,4%	-14,5%	-87,2%
2.030	2,037	9,6%	23,4%	69,8%	55,5%	24,8%	-20,7%	-54,4%	-74,6%	-89,5%	-86,2%	-71,8%	-18,5%	-87,8%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

Quadro 23: Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada mensal e anual*, calculada com base na $Q_{7,10}$ e a Demanda de 66% da População Urbana (ETA 006).

ANO	DEMANDA (m ³ /s) 66% da População Urbana (ETA 006)	OFERTA HÍDRICA (m ³ /s)												
		Retirada de 25% da <i>Vazão Outorgada</i> (75% da $Q_{7,10}$), calculada com base no período de 2002 a 2009												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
		2,233	2,514	3,459	3,167	2,543	1,614	0,928	0,518	0,214	0,281	0,574	1,659	0,248
2.010	0,508	339,7%	395,1%	581,2%	523,6%	400,6%	217,9%	82,8%	1,9%	-57,9%	-44,6%	13,0%	226,7%	-51,3%
2.011	0,533	318,8%	371,6%	548,8%	494,0%	376,9%	202,8%	74,1%	-2,9%	-59,9%	-47,2%	7,6%	211,2%	-53,6%
2.012	0,560	298,9%	349,2%	518,0%	465,8%	354,2%	188,4%	65,8%	-7,5%	-61,8%	-49,8%	2,5%	196,4%	-55,8%
2.013	0,588	280,0%	327,9%	488,7%	438,9%	332,6%	174,7%	57,9%	-11,9%	-63,6%	-52,1%	-2,4%	182,4%	-57,9%
2.014	0,617	262,0%	307,5%	460,7%	413,3%	312,1%	161,7%	50,4%	-16,1%	-65,4%	-54,4%	-7,0%	169,0%	-59,9%
2.015	0,648	244,8%	288,2%	434,1%	388,9%	292,5%	149,2%	43,3%	-20,1%	-67,0%	-56,6%	-11,4%	156,2%	-61,8%
2.016	0,680	228,4%	269,7%	408,7%	365,7%	273,9%	137,4%	36,5%	-23,9%	-68,6%	-58,6%	-15,6%	144,0%	-63,6%
2.017	0,714	212,8%	252,2%	384,5%	343,6%	256,1%	126,1%	30,0%	-27,5%	-70,1%	-60,6%	-19,6%	132,4%	-65,3%
2.018	0,750	197,9%	235,4%	361,5%	322,5%	239,2%	115,4%	23,8%	-31,0%	-71,5%	-62,5%	-23,5%	121,4%	-67,0%
2.019	0,787	183,8%	219,5%	339,6%	302,4%	223,1%	105,1%	17,9%	-34,2%	-72,8%	-64,3%	-27,1%	110,9%	-68,6%
2.020	0,826	170,3%	204,3%	318,7%	283,3%	207,7%	95,4%	12,3%	-37,4%	-74,1%	-66,0%	-30,6%	100,8%	-70,0%
2.021	0,867	157,4%	189,8%	298,8%	265,1%	193,1%	86,1%	7,0%	-40,3%	-75,4%	-67,6%	-33,9%	91,3%	-71,5%
2.022	0,911	145,2%	176,1%	279,8%	247,7%	179,2%	77,3%	1,9%	-43,2%	-76,5%	-69,1%	-37,0%	82,2%	-72,8%
2.023	0,956	133,5%	162,9%	261,8%	231,2%	165,9%	68,8%	-2,9%	-45,9%	-77,6%	-70,6%	-40,0%	73,5%	-74,1%
2.024	1,004	122,4%	150,4%	244,6%	215,4%	153,2%	60,8%	-7,6%	-48,5%	-78,7%	-72,0%	-42,9%	65,3%	-75,3%
2.025	1,054	111,9%	138,5%	228,2%	200,4%	141,2%	53,2%	-11,9%	-50,9%	-79,7%	-73,3%	-45,6%	57,4%	-76,5%
2.026	1,107	101,8%	127,2%	212,6%	186,2%	129,7%	45,9%	-16,1%	-53,2%	-80,7%	-74,6%	-48,2%	49,9%	-77,6%
2.027	1,162	92,2%	116,4%	197,7%	172,5%	118,8%	38,9%	-20,1%	-55,5%	-81,6%	-75,8%	-50,6%	42,8%	-78,7%
2.028	1,220	83,0%	106,1%	183,6%	159,6%	108,4%	32,3%	-23,9%	-57,6%	-82,5%	-76,9%	-53,0%	36,0%	-79,7%
2.029	1,281	74,3%	96,3%	170,1%	147,2%	98,5%	26,0%	-27,5%	-59,6%	-83,3%	-78,0%	-55,2%	29,5%	-80,7%
2.030	1,345	66,0%	87,0%	157,2%	135,5%	89,1%	20,0%	-31,0%	-61,5%	-84,1%	-79,1%	-57,3%	23,4%	-81,6%

PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (%)

4.3.3. Análise dos Cenários

O que se verifica da análise destes cenários é que a utilização da *vazão outorgada anual*, baseada na vazão de referência da Q_{90} e da $Q_{7,10}$ considerando ou não a simulação hipotética da retirada de 25%, torna-se mais restritiva em comparação à *vazão outorgada mensal*, e também pode-se observar que o comportamento da *vazão outorgada anual* subestima a capacidade hídrica do manancial, dessa maneira estes resultados obtidos neste estudo corroboram com os de Camara (2003), que comparando a adoção de valores de vazão por período (ano hidrológico) com vazões mensais, avaliou que a utilização de vazões mensais apresenta vantagens por permitir um maior uso das disponibilidades hídricas.

No entanto, a disponibilidade hídrica da *vazão outorgada mensal* ocorreu os meses de transição das estações climáticas (chuvoso para seco) promove os maiores índices de restrição no abastecimento da população urbana, onde esse comportamento destas vazões está diretamente associado ao término da estação seca, no mês de setembro e o início da estação chuvosa, no mês de outubro, podendo ser intensificado pelo o aumento da demanda, conforme demonstra os resultados do Cenário 01 e/ou pela alteração climática na região apresentados no Cenário 02.

Mesmo assim, a utilização da *vazão outorgada mensal* pode ser uma das alternativas para diminuir as restrições no abastecimento da população urbana, objetivando permitir mais usos durante o período de excessos hídricos e minimizar as possibilidades de excedência da capacidade do manancial.

Neste contexto, a situação mais próxima à realidade atual é apresentada no Cenário 01: Caso 01 (Quadro 17) e possivelmente futura no Cenário 02: Caso 01 (Quadro 21), pois simulam o abastecimento de 66% da população urbana (ETA 006), na qual utilizou a Q_{90} como vazão de referência, sendo esta, a mesma empregada pelo órgão gestor (NATURATINS) para o cálculo das outorgas. Estes casos demonstram a necessidade imediata de encontrar fontes alternativas para suprir a demanda da população.

Os problemas de abastecimento poderiam ficar extremamente críticos, caso venha ocorrer a alteração da vazão de referência pelo órgão gestor do Estado para a $Q_{7,10}$, permanecendo o percentual de 75% como o limite máximo a ser outorgado, pois a oferta hídrica disponibilizada por esta vazão é mais restritiva do que a Q_{90} , como mostra as vazões deficitárias identificadas no Caso 02 do Cenário 01 e do Cenário 02, sendo necessário um enorme esforço de gestão, e investimentos que garantam o abastecimento público.

Nesta perspectiva e devido à aproximação da ETA 006 com o braço do reservatório da usina hidroelétrica Luiz Eduardo Magalhães (Figura 20), uma alternativa para suprir esta demanda futura independente do cenário seria captar água neste braço.



Figura 20: Mapa de Localização da ETA 006 e Braço do Lago da UHE Lajeado

No entanto, com base no estudo de Silva (2009), onde realizou a pesquisa sobre a “Dinâmica de cianobactérias e cianotoxinas em um braço do reservatório da usina hidroelétrica Luiz Eduardo Magalhães e suas implicações para o abastecimento público de Palmas – TO”, em sua conclusão sugeriu a utilização da dupla-filtração para remoção de cerca de 73,33% dos parâmetros de turbidez e da clorofila-a como a tecnologia mais adequada.

O mesmo ainda afirmou que a elaboração de um programa de avaliação sistemática das toxinas (cianobactérias e cianotoxinas) e seus potenciais produtores nos pontos estudados e na foz do braço no reservatório, através da modelagem ecológica subsidiaria a visualização de cenários futuros, e conseqüentemente, colaboraria na garantia da qualidade da água produzida pela estação de tratamento, no uso desta água para consumo humano.

Atualmente o tipo de sistema de tratamento de água da ETA 006 é convencional, composta das unidades de Floculação, Decantação e Filtração Ascendente, portanto, não teria capacidade tecnológica para tratar a água proveniente do lago.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou apresentar alguns dos desafios de estudos de disponibilidade hídrica que hoje se impõem aos acadêmicos na aplicação dos modelos hidrológicos, em razão da deficiência nos dados de monitoramento hidrometeorológico no país, que é um fator limitante ao pleno andamento das atividades de planejamento dos recursos hídricos. Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- A metodologia proposta de avaliação de cenários de abastecimento futuro de Palmas/TO mostrou-se adequado, como uma ferramenta de análise para tomadas de decisões no gerenciamento integrado dos usos dos recursos hídricos superficiais com base em critérios simplificados por meio de dados hidrológicos escassos. A pesquisa não exclui, entretanto, a necessidade de alternativas de fontes de abastecimento para aumentar a disponibilidade hídrica no atendimento do déficit hídrico identificado no abastecimento público e os custos estimados para execução destas alternativas;
- A população do município de Palmas/TO, calculada pelo IBGE, apresentou ser representativa para o estudo, devido a proporcionar uma estimativa real da demanda hídrica da população urbana;
- O maior usuário da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande é a população urbana, sendo esta responsável por 98,5% do total consumido;
- Observou que a Q_{90} e a $Q_{7,10}$ anual adotada como vazão de referência, restringe o uso da água na maior parte do tempo;
- A Q_{90} e a $Q_{7,10}$ mensal possui maior capacidade de representar a real disponibilidade de água, principalmente entre os meses de dezembro a maio, no entanto, apresentou a pior situação de escassez no mês de setembro;
- Nos cenários, a adoção da *vazão outorgada mensal* como oferta hídrica tornou-se mais adequada, por apresentar as características intrínsecas das vazões de cada mês;
- O Caso 01 (Vazão Q_{90} como referência) do Cenário 02, retirada de 25% da vazão outorgada anual e mensal, no atendimento da demanda de 66% da população urbana (ETA 006), demonstrou ser a tendência mais adequada para o futuro de Palmas/TO;

6. RECOMENDAÇÕES

Considerando-se as observações feitas nos cenários, apresentam-se, a seguir, algumas recomendações visando abordar aspectos complementares na pesquisa, sendo:

- Aplicação de outra função objetivo para calcular a vazão mínima para referendar estas conclusões;
- Aplicação de simulações de retiradas nas sub-bacias 01 e 02 para avaliar a disponibilidade hídrica para o abastecimento público;
- Estudo Estratégico de abastecimento de água para o Município de Palmas-TO, detalhando as alternativas necessárias para suprir a demanda futura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contidas no documento "Base de referência do plano nacional de recursos hídricos"**. Nota Técnica 010/SPR/2003. Brasília: Superintendência de Outorgas da Agência Nacional de Águas, 2003b. 30p.
- ARNOLD, J.G.; SNIRIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v.34, n.1, p.73-89, 1998.
- AZEVEDO NETTO, et. al. **Planejamento de sistemas de abastecimento de água**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 1973. 281p.
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670p
- BEVEN, K. J. **TOPMODEL User Manual Lancaster**: Universidade de Lancaster, 1997.
- BERENHAUSER, C. J. B. B. e PULLICI, C. Previsão de consumo de água por tipo de ocupação do imóvel. **Revista DAE**, 135, 118-129, dez. 1983.
- BLANCO, C. J. C. SECRETAN, Y.; FAVRE, A. A. Análise, aplicação e transposição de um modelo chuva-vazão para simulação de curvas de permanência de pequenas bacias da Amazônia. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.12, n.1, p.205-216. 2007.
- BRAVO, J. M. et al. **Win_IPH2. Modelo IPH2 para Windows: Manual de conceitos**. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2006.
- BRASIL. Departamento de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais**. Folha Tocantins (SC-22). Rio de Janeiro, 1981.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências, 1997.
- CAMARA, A. C. F. C. **Análise da Vazão Máxima Outorgável e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga da Bacia do Rio**

- Gramame (PB)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 19p. Dissertação (Mestrado).
- CHRISTENSEN, N. S.; WOOD, A. W.; VOISIN, N.; LETTENMAIER, D. P. e PALMER, R. N. **The effects of climate change on the hidrology and water resources of the Colorado river basin**. Climatic Change, n. 62, p. 337-363. 2004.
- COSTA, F. S. et al. Modelo estocástico de previsão de vazões mensais – PREVIVAZM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15. 2003. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-Rom.
- CRUZ, J. C. TUCCI, C. M. E. **Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência**. RBRH, vol 13, n1, 111-114. Jan/Mar. 2008.
- CRUZ, J. C. **Zonemaneto Agrícola do Ministério da Agricultura da Pecuária e do Abastecimento**. Rio Grande do Sul. Arroz irrigado – safra 2001 2002. Portaria n 32, de 15.8.2001, publicada no Diário Oficial de 23 de ago. 2001.
- CUNHA, M. A. C. Estudos Hidrológicos para o EIA/RIMA e impactos ambientais devido a ampliação da mina de amianto em Minaçu-GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Minaçu, 1997. **Anais...** Porto Alegre, ABRH, 1997.
- ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras SA. **Metodologia para regionalização de vazões**. Brasília: ELETROBRAS, 1985.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **PRONAOA – Programa Nacional de Pesquisa Agropecuária**. EMBRAPA – NMA. Brasília, (1975).
- EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A. E SANTOS, R. M. Regionalização Hidrológica na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Aracaju, 14. 2001. **Anais...** Minas Gerais, 2001.
- GUIMARÃES, C. S. **Apostila de Saneamento Básico**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acessado em 27 de outubro de 2010.

- CRUZ, J.C. **Disponibilidade Hídrica Para Outorga: Avaliação e Aspectos Técnicos e Conceituais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado).
- HAAS, J. **Validação do Uso da Previsão Meteorológica de chuva na Previsão de Afluências**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 80p. Dissertação (Mestrado).
- LANNA, A.E.; SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Regionalização de Vazões Mínimas na bacia do Rio Jacuí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5, Blumenau, 1983. **Anais...** Blumenau, 1983, vol.3.
- LANNA, A. E. **Elementos da hidrologia Estatística**. In: Hidrologia: Ciência Aplicação. 3ª ed., Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.
- LIMA, J. E. F. W. et al. Variabilidade Espaço-Temporal da Vazão Específica no Estado do Goiás. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS, 2, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, 2008.
- MACHADO, R. E., VETTORAZZI, C. A., CRUCIANI, D. E. Simulação do escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.8, n. 1, p. 147-155. 2003.
- MAGALHÃES, C. A. C., Moreno, J. e Galvão Júnior, A. C. Estimativa do consumo per capita em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio tietê. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro, ABES, 1CD ROOM.. 2001. 4 p.
- MAÇANEIRO, L. C. **O uso da água na rizicultura na bacia hidrográfica do rio Itajaí: estudo de caso no Médio Vale**. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003. 2003. 111p. Dissertação (Mestrado).
- MAZIEIRO, E. Histograma Tempo/Área Geoprocessado: Uso em Modelo chuva-vazão concentrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2010. 24p. Dissertação (Mestrado).
- MEDEIROS, M. J. & NAGHETTINI, M. Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério da vazão de outorga adotado no estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14, SIMPÓSIO DE

HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 5, Aracajú, 2001. **Anais...** Aracajú, 2001.

MELLER, A.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, E. M. C. D.; Paiva, J. B. D. **Parâmetros de Calibração do Modelo IPH II na bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim**. In: REUNIÃO FINAL DA REHIDRO, Vitória. Rede Cooperativa em Recursos Hídricos. São Carlos, SP: FINEP, v 1, p. 1-10. 2002.

MORAES, J. M. et al. **Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n. 1, 2003. p. 61- 70

MOREIRA, I. A. **Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão com dados de Radar e Pluviômetros**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado).

NEMETH-RH - NÚCLEO ESTADUAL DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DO TOCANTINS. 2010.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005. Dissertação (Mestrado).

OBREGON, E., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes à lagoa Mirim, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 4, n. 1, p. 57-75, 1999.

OLIVEIRA, T. M. **Diagnóstico da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçú Grande**. Palmas – TO, 1999.

RAMALHO, C.; CARVALHO, M. C. F.; FERNANDES, C. V. S.; et al. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Barigüi. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória, 1997.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Tese (Doutorado)

RIES, K. G.; FRIESZ, P. J. **Methods for Estimating Low-Flow Statistics for Massachusetts Streams**. In: United States Geological Survey (USGS). Massachusetts Department of Environmental Management, Office of Water Resources. Northborough, Massachusetts, 81 p. 2000.

- RIGGS, H. C. **Low Flow Investigations**. In: Techniques of water-resources of the US Geological Survey. Book 4. Hydrological Analysis and interpretation. Geological Survey. 1972.
- RIGGS, H. C. **Estimating flow characteristics at ungauged sites**. In: Regionalization in Hydrology (Proceedings of the Ljubljama symposium, April 1990) IAHS Publ. n° 191. 1990.
- RODRIGUES, A. C. L. **Nova proposta para o processo de outorga em Sistemas de reservatórios - Estudo de caso: bacia Hidrográfica do rio Piancó**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2000. 60p. Tese (Doutorado)
- RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu**. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa, 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado).
- RURALTINS - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO ESTADO DO TOCANTINS. 2010.
- SANEATINS - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO TOCANTINS. **Relatório Final. Diagnóstico Socioeconomico e Ambiental da Sub-bacia do Ribeirão do Taquarussu Grande: Perspectivas para Tomadas de Decisões**. Gerência de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos, 2007.
- SANEATINS - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO TOCANTINS. **Relatório Comercial. Sistema de Informações Gerenciais**. Gerência de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos, 2010.
- SANTOS, F. L. **Cartografia Geotécnica Regional do Município de Palmas / TO: área a oeste do meridiano 48° W Gr**. Universidade de Brasília, Brasília, 2000. 150p. Dissertação (Mestrado).
- SCARTAZZINI, L. S.; LIVI, F. P. Potencial Hidroenergético do alto Rio Pelotas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 4, n° 4. 1999.
- SCHULER, A. E. **Aplicação do TOPMODEL em uma bacia de mesoescala localizada na cabeceira do rio Corumbataí**. Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998. 130 p. Dissertação (Mestrado).

- SCIENTEC - ASSOCIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas**. SEPLAN. 1997.
- SEAGRO - SECRETARIA MUNICIPAL DE AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL DE PALMAS/TO. 2010.
- SEPLAN - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE DO TOCANTINS. **Atlas do Tocantins: Subsídios Ao Planejamento da Gestão Territorial/ Secretaria Do Planejamento E Meio Ambiente, Diretoria De Zoneamento Ecológico-Econômico – Dez** – Palmas: SEPLAN, 2005.
- SILVA, D. D. e BAENA, L. G. N. **Curso: Regionalização Hidrológica**. Programa de Capacitação Ambiental do SPRN – PPG7, 2002.
- SILVA, J. R. **Dinâmica de cianobactérias e cianotoxinas em um braço do reservatório da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães e suas implicações para o abastecimento público de Palmas - TO**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009. Dissertação (Mestrado).
- SILVA JUNIOR, O. B. et al. Extrapolação Espacial na regionalização da Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol 8, nº 1, p.21-37. 2003.
- SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazões em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Tese (Doutorado).
- SILVEIRA, G. L. S. et al. Regionalização da Depleção Regional com Dados Primários de Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol 10 n.3, p. 43-51, Jul/Set. 2005.
- SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acessado em 15 de setembro de 2010.
- SOARES, P. A. et al. Estimativa da Disponibilidade Hídrica em Pequenas Bacias Hidrográficas com Escassez de Dados Fluviométricos. **REA – Revista de estudos ambientais (Online)**. v.12, n. 1, p. 29-38, jan./jun. 2010
- SOKULSKY, K. et al. **Water Availability Modeling Project: Year 1: Project Management Report: Concept Plan: Overview of the New Modeling System**. 1998.

- SUGAI, M. R.V.B. Outorga de direito de uso de recursos hídricos. In: FREITAS, M. (Org.). **O estado das águas no Brasil 2001-2002**. Brasília: ANA, 2003. 524p.
- SWART, S. e SANTOS, M. J. Z. Mudanças climáticas e planejamento regional nos setores da depressão periférica e planície litorânea do estado de São Paulo: comportamento dos parâmetros térmicos e hídricos no período de 1955 – 1997. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 4, 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ. 1 CD ROM.
- THORNTHWAITE, C. W., MATTER, J. R. **The water balance**. Publications in climatology. Laboratory of Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Tecnology, 1955.
- TUCCI, C.E.M. (1998). **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH/UFRGS.
- TUCCI, C. E. M. **Vazões médias**. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, p. 125-164, 2001.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões. Rio Grande do Sul**. Ed. Universidade – UFRGS, 2002.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH/UFRGS. 678p. 2006.
- UNITINS. Fundação Universidade do Tocantins. **Plano de manejo da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – (SOS Taquaruçu)**. Palmas, 1999.
- YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. Multi-objective global optimization for hydrologic models. **Journal of hydrology**. v. 204. p. 83-97. 1998.
- WAGENER, T. & FRANKS, S. **Regional hydrological impacts of climate change - impact assessment and decisionmaking**. In: WAGENER, T.; FRANKS, S.; GUPTA, H.V.; BGH, E.; BASTIDAS, L.; NOBRE, C. & GALVÃO, C.O., eds. Regional hydrological impacts of climate change - impact assessment and decision-making. Wallingford, IAHS, 2005. p.1-8.

ANEXO A**PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

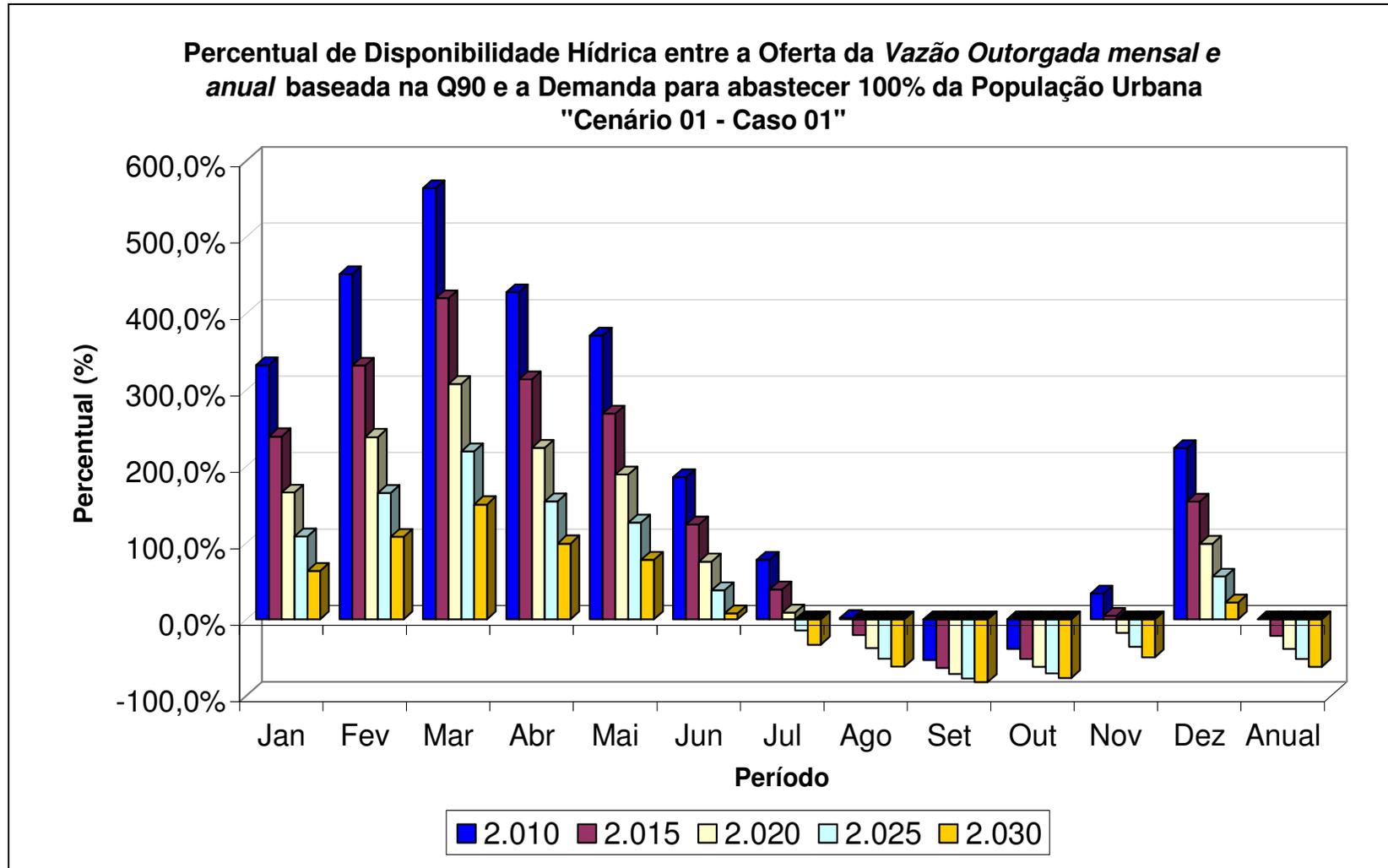


Figura 21: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q₉₀ e a Demanda para Abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”.

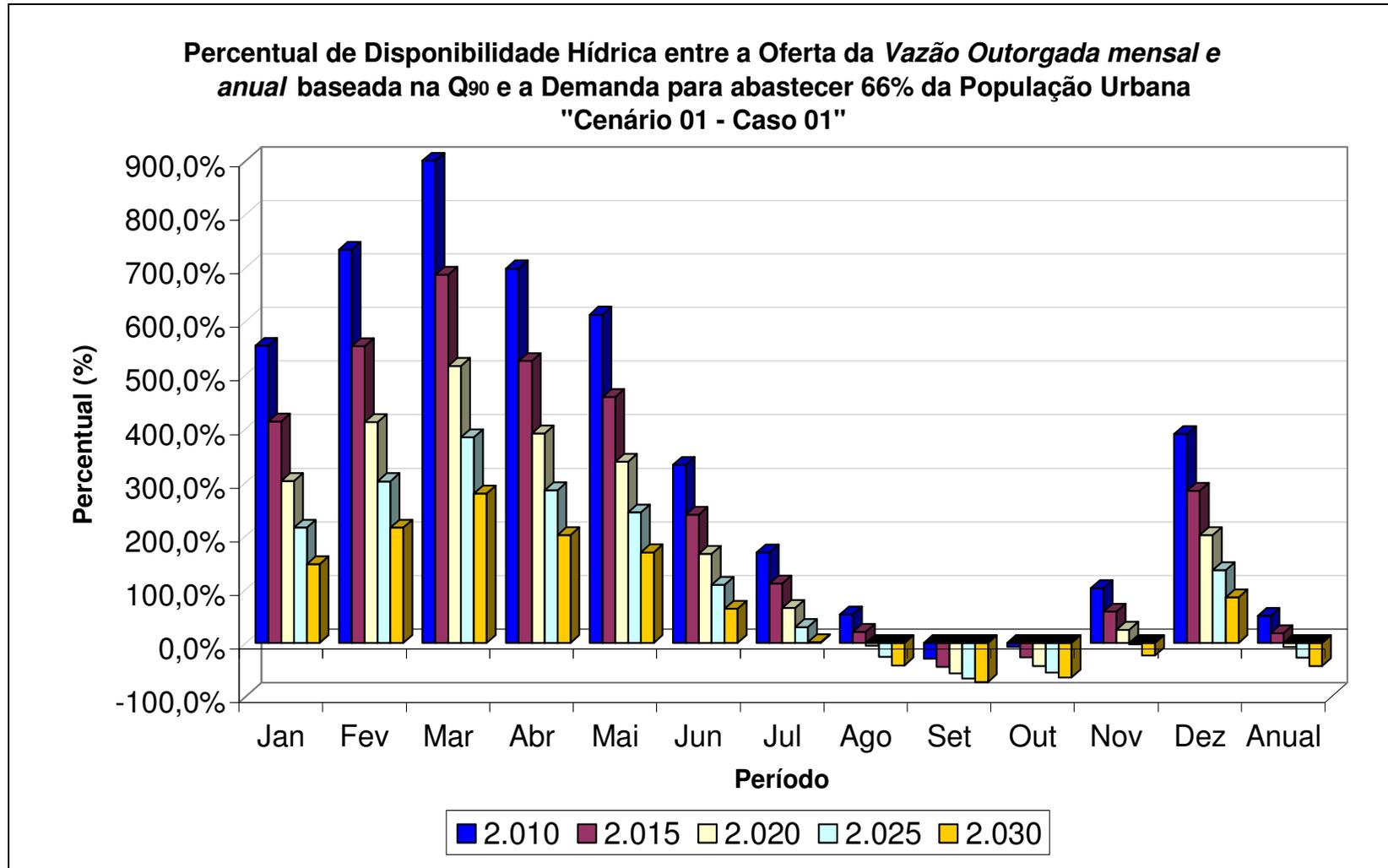


Figura 22: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q₉₀ e a Demanda para Abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”.

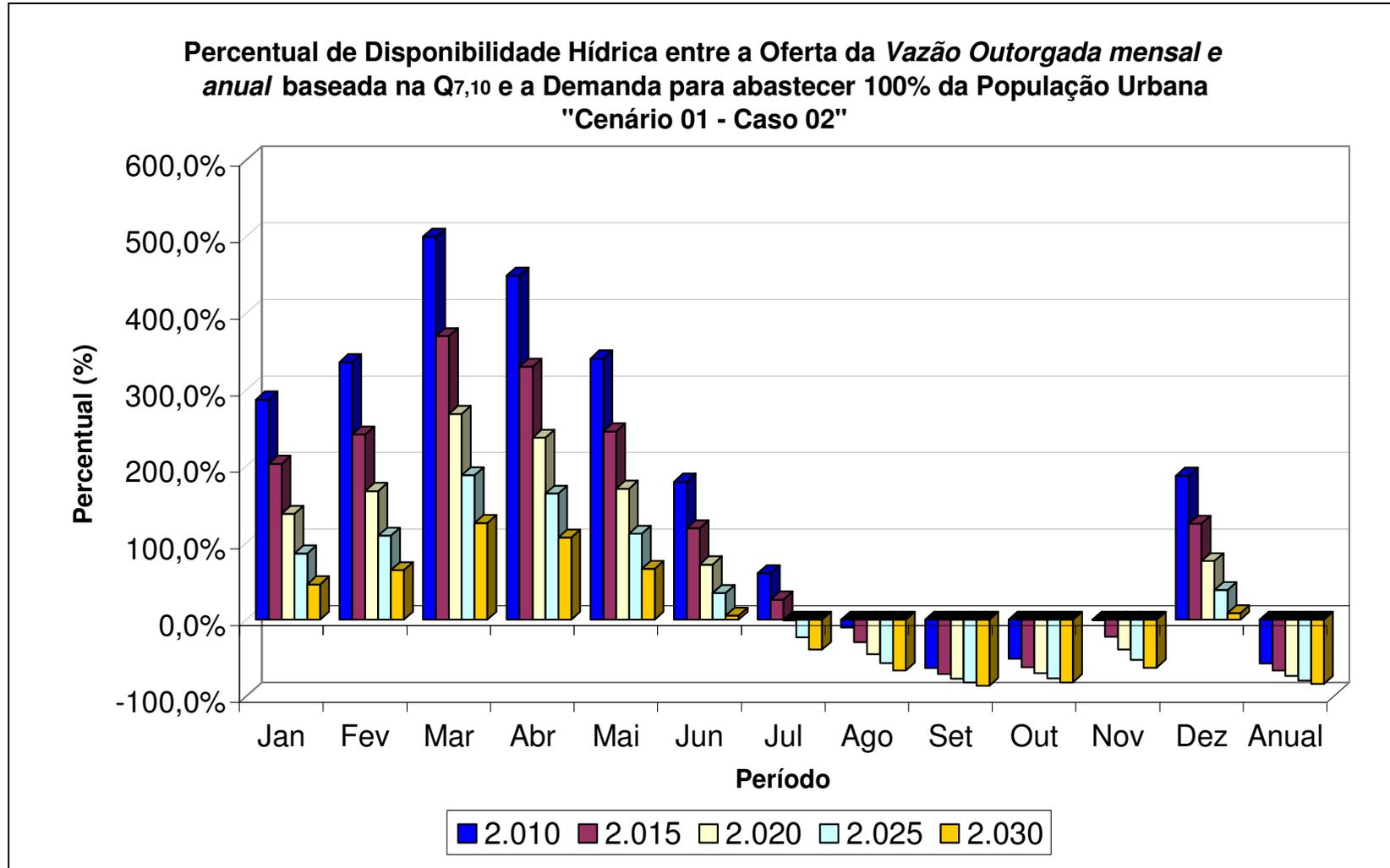


Figura 23: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para Abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 01”.

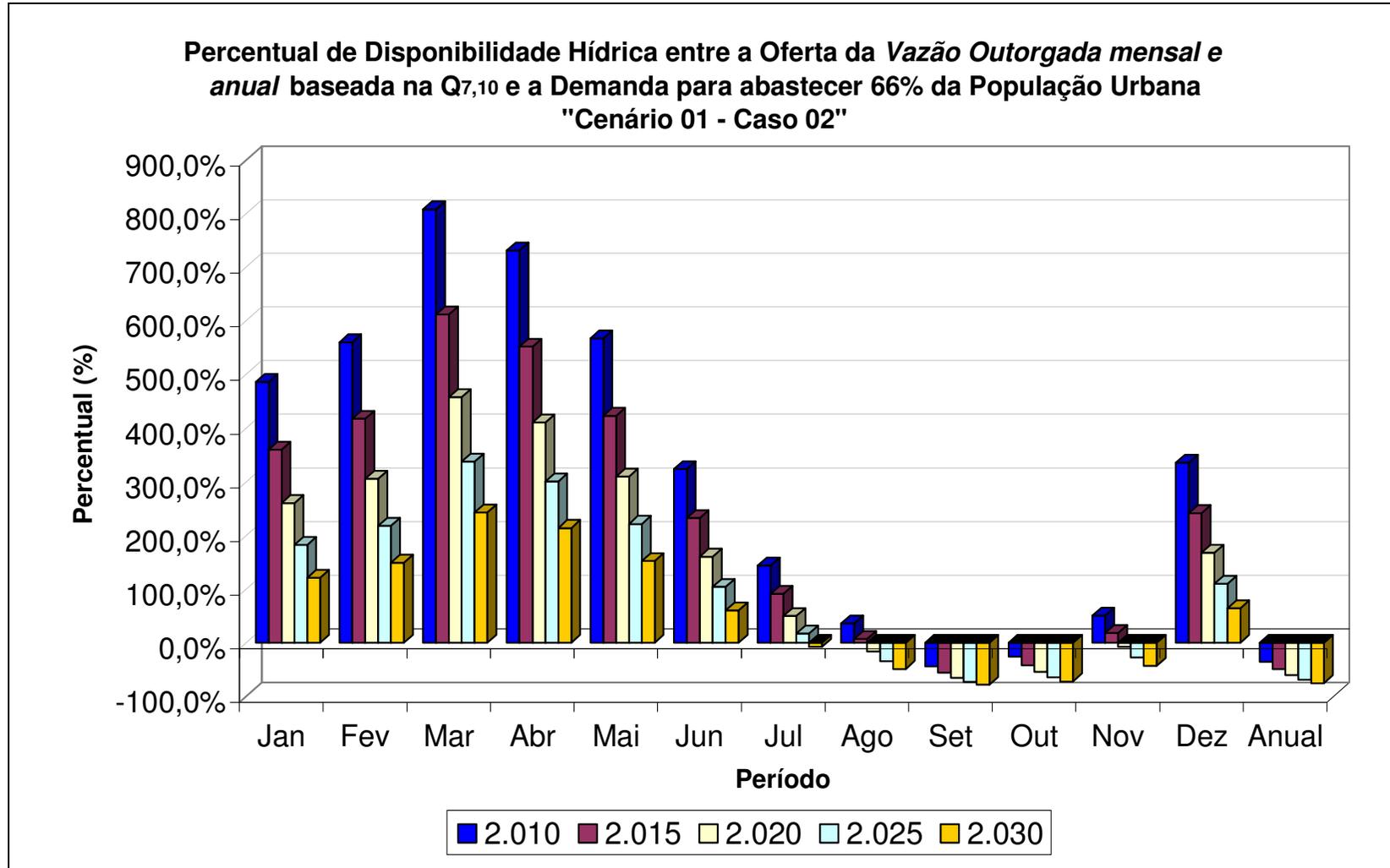


Figura 24: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na $Q_{7,10}$ e a Demanda para Abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 01 - Caso 02”.

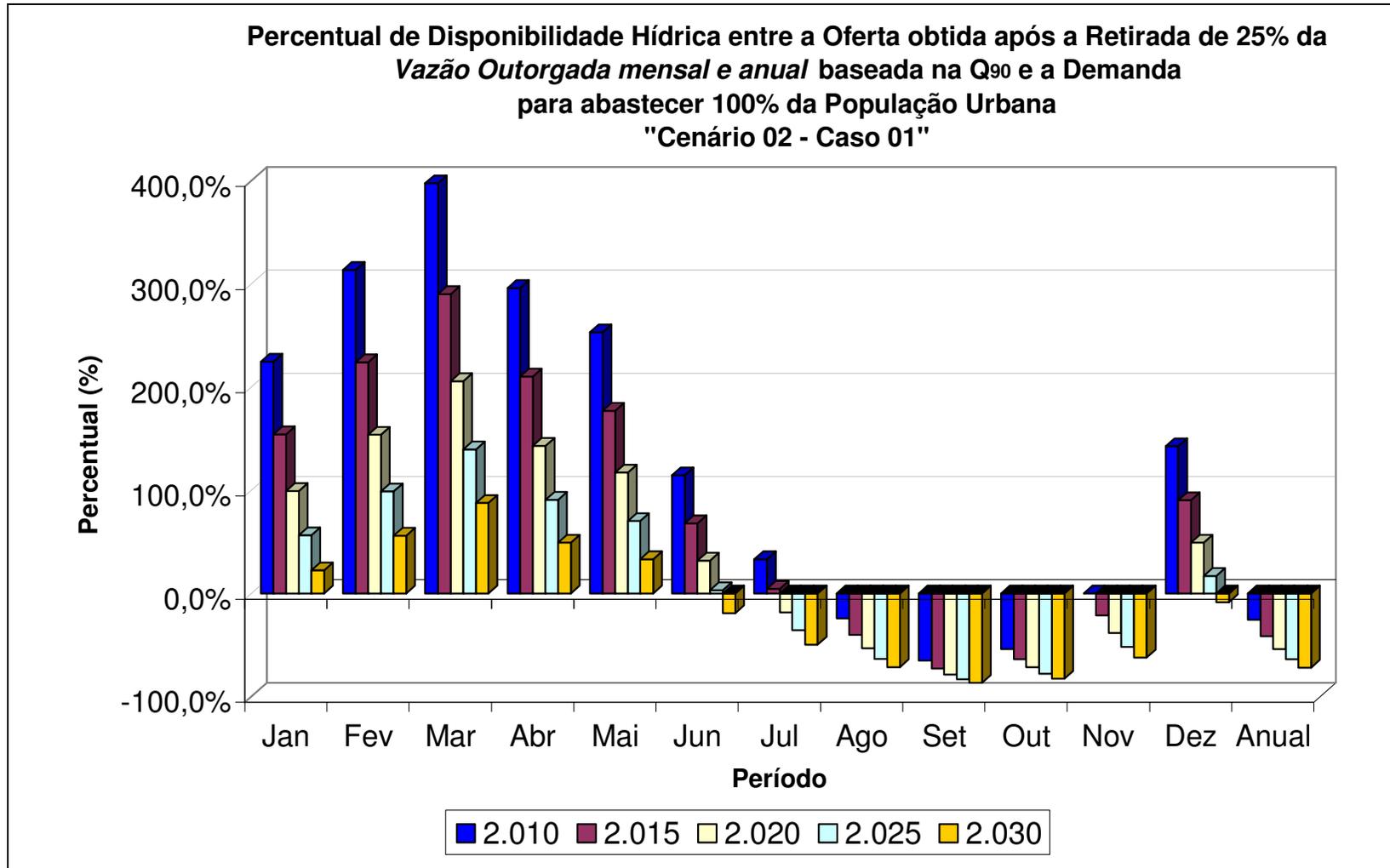


Figura 25: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica entre a Oferta obtida após a Retirada de 25% da Vazão Outorgada Mensal e Anual baseada na Q₉₀ e a Demanda para abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO "Cenário 02 - Caso 01".

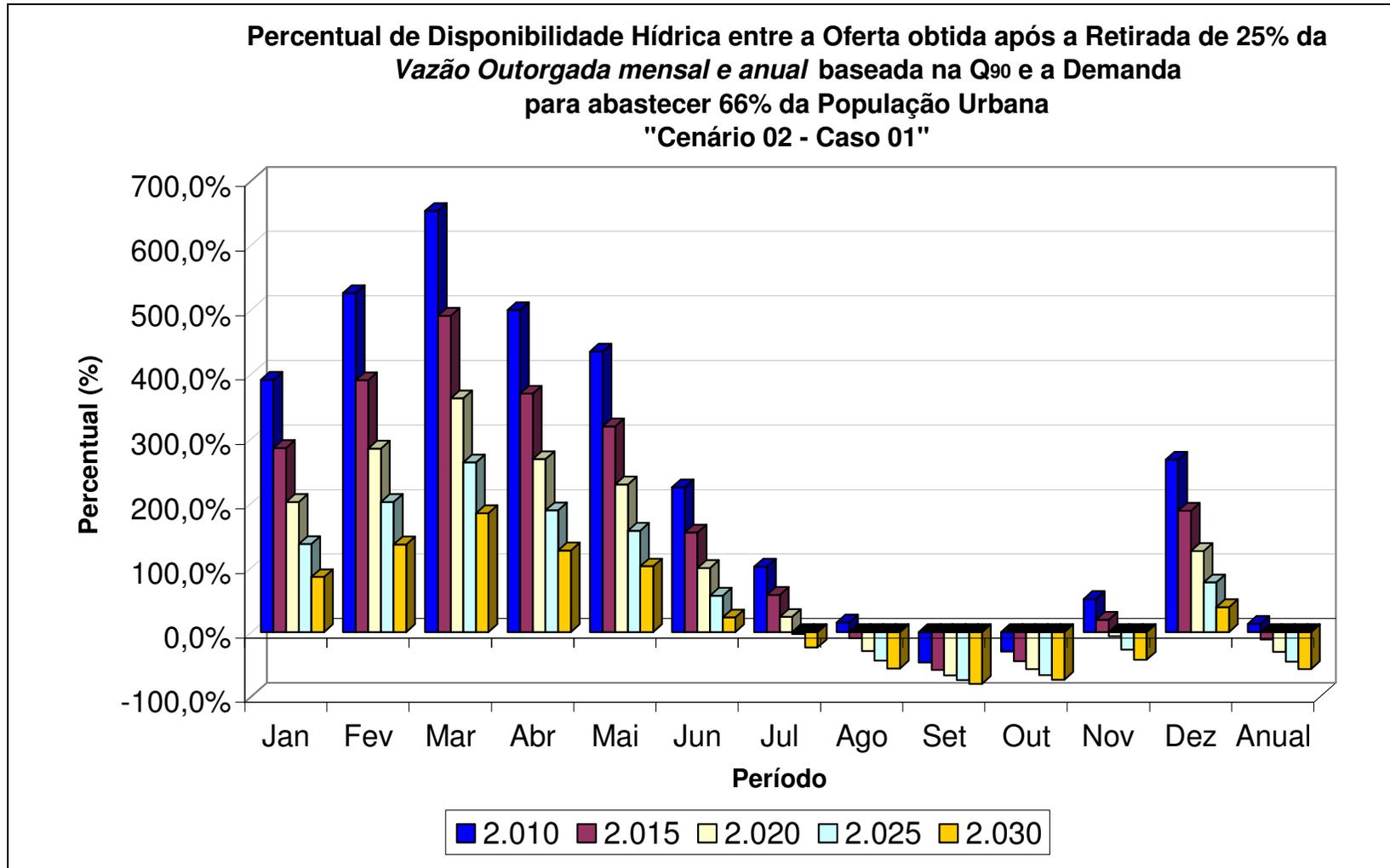


Figura 26: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q₉₀ e a Demanda para abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 - Caso 01”.

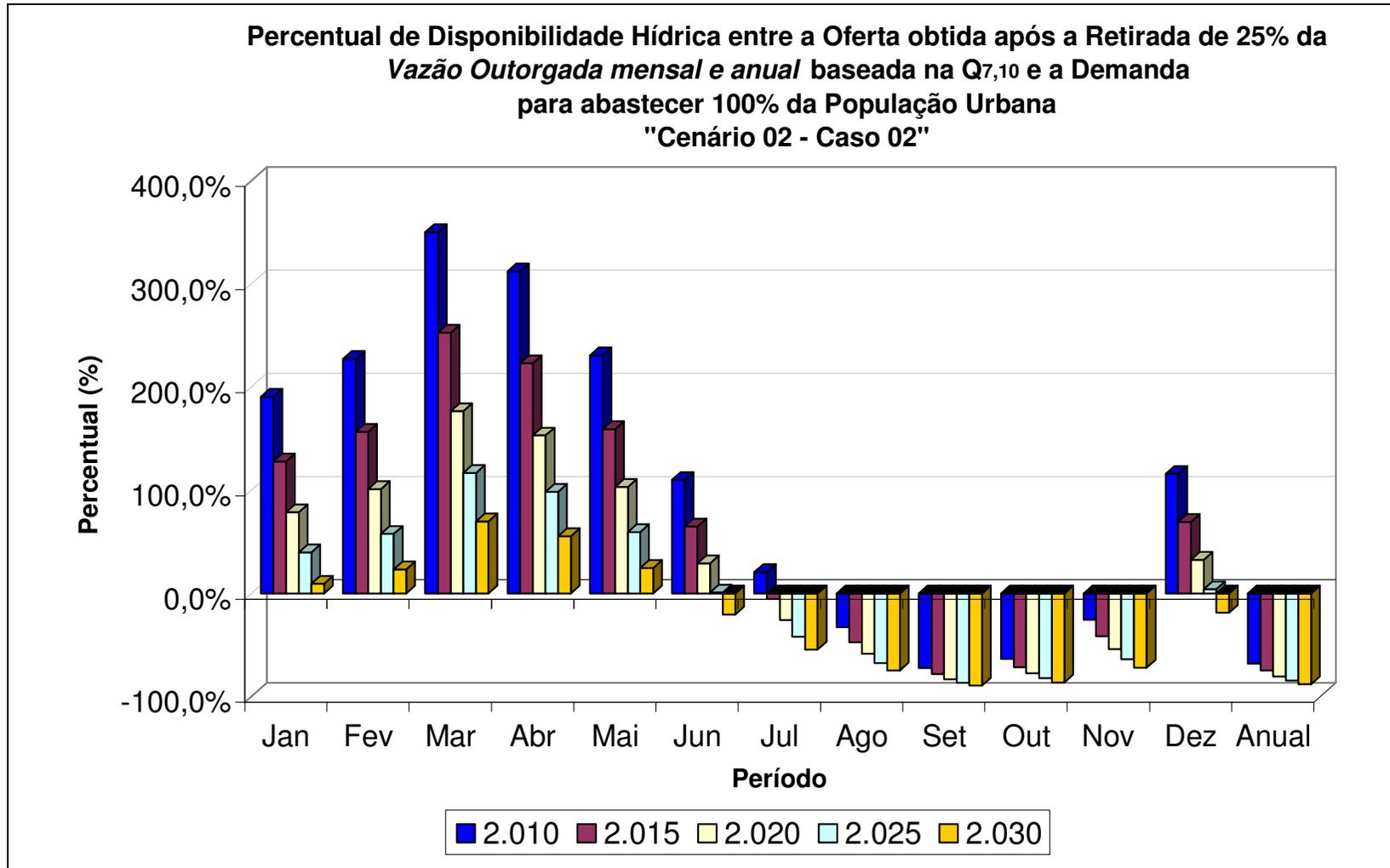


Figura 27: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q_{7,10} e a Demanda para abastecer 100% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 – Caso 02”.

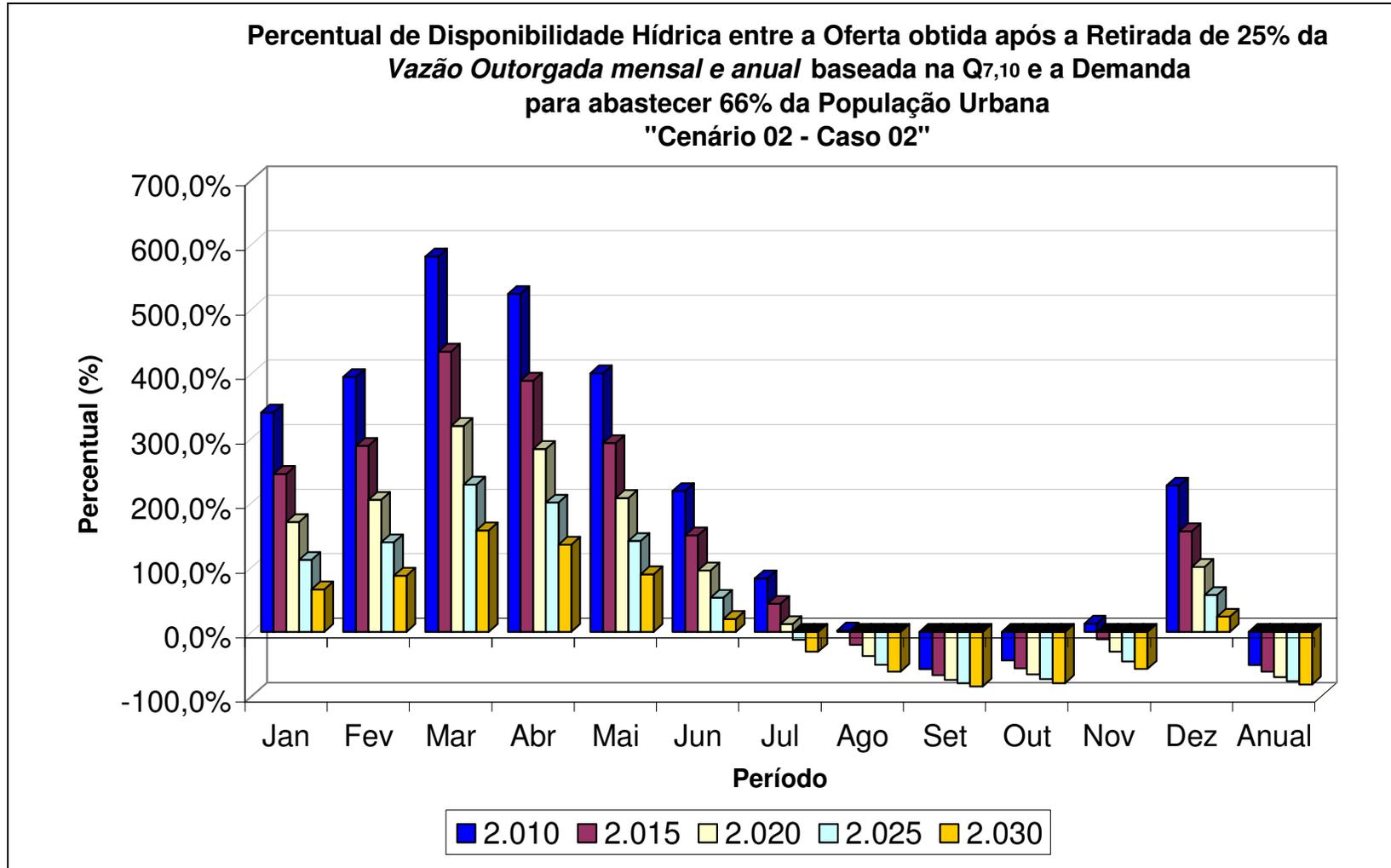


Figura 28: Gráfico do Percentual de Disponibilidade Hídrica a Oferta obtida após a Retirada de 25% da *Vazão Outorgada Mensal e Anual* baseada na Q_{7,10} e a Demanda para abastecer 66% da População Urbana do Município de Palmas/TO “Cenário 02 – Caso 02”.

