



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA PARA CONSUMO URBANO E RURAL
FRENTE AO VOLUME DOS AÇUDES EPITÁCIO PESSOA, CORDEIRO E
CAMALAÚ, ESTADO DA PARAÍBA

Elson Gerson Lacerda da Cruz

Maio de 2016
Sumé – PB

ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA PARA CONSUMO URBANO E RURAL
FRENTE AO VOLUME DOS AÇUDES EPITÁCIO PESSOA, CORDEIRO E
CAMALÁU, ESTADO DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

Aluno: Elson Gerson Lacerda da Cruz

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros

Maio de 2016
Sumé - PB

C957e

Cruz, Elson Gerson Lacerda da.

Estimativa da demanda de água para consumo urbano e rural frente ao volume dos açudes Eptácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú, Estado da Paraíba. / Elson Gerson Lacerda da Cruz. - Sumé - PB: [s.n], 2016.

54 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Armazenamento de água. 2. Reservatórios. 3. Política de gestão de águas. I. Título.

CDU: 556.155 (043.1)

Elson Gerson Lacerda da Cruz

ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA PARA CONSUMO URBANO E RURAL
FRENTE AO VOLUME DOS AÇUDES EPITÁCIO PESSOA, CORDEIRO E
CAMALAUÍ, ESTADO DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Biossistemas, do Centro de Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido da Universidade
Federal de Campina Grande, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Biossistemas.

Aprovado em: 25 de maio de 2016.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG



Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro
Examinador – UAEB/CDSA/UFCG



Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara
Examinador – UATEC/CDSA/UFCG

Sumé – PB

*Dedico este trabalho aos meus pais, Egilsa
Filha & Manoel Felipe, e a minha irmã
Emmannuela Lacerda, que sempre
estiveram me apoiando no dia-a-dia, bem
como meus demais familiares e amigos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grato a Deus pelo o dom da vida, por minha família e seu amor infinito, pelos dias de dificuldades, desânimos e cansaços que me fizeram fortalecer, perseverar e ensinar o quanto somos importantes para nós mesmos. O Senhor sempre esteve ao meu lado, guiando o meu coração para as soluções dos meus problemas. Talvez sem merecer, Deus tem me presenteado todos os dias. Sem Ele nada sou!

Agradeço aos meus pais, Manoel e Egilsa, meus maiores exemplos. Obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto. Obrigado por sempre estarem ao meu lado e nunca ter deixado faltar nada que precisei. Porque vocês sempre me apoiaram para que eu não desistisse de caminhar nunca, ainda que em passos lentos, é preciso caminhar para chegar a algum lugar.

A minha linda e única irmã Emmannuela, que nos momentos de minha ausência dedicados a graduação acadêmica, sempre esteve cuidando com carinho de nossos pais e alegrando nosso lar com seu jeito contagiante. Obrigado também por aturar meus momentos de estresse, pelas palavras de conforto e apoio dado.

A minha avó Mariquinha e avós "in memoriam" (Arnaldo Garrido, Alípio Felipe e Maria das Dores) pelo carinho, ensinamentos, apoio e referências que são para mim diante suas histórias vivenciadas e contadas. Aos meus tios, primos e toda minha família, que em união contribuíram valiosamente com as melhores maneiras de caminhar pelos caminhos mais sábios.

Agradeço, infinitamente, de forma especial, ao meu orientador, Paulo Medeiros por ter aceitado o desafio de me orientar. Muito obrigado por transmitir seus conhecimentos e por fazer do meu Trabalho de Conclusão de Curso uma experiência positiva, por ter confiado em mim, sempre estando ali me orientando com muita paciência, disponibilidade, atenção e dedicação.

Aos meus antigos e bons amigos, por todo apoio e cumplicidade. Porque mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida. Os anos já ultrapassaram os limites de amizade, somos família. Essa conquista eu compartilho com vocês com muita alegria, pois vocês participaram tão de perto de cada coisa que tenho vivido, vocês são parte dessa vitória. Aos muitos colegas e amigos que fiz durante este período de graduação, muito obrigado pelos bons momentos e compartilhamento de conhecimentos.

A todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais, sem nominar, terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço aos membros da banca examinadora, que dividiram comigo este momento tão importante e esperado, pela disponibilidade de participar e pelas contribuições pessoais acerca do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Assim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para tornar este sonho em realidade.

“Algumas pessoas marcam a nossa vida para sempre, umas porque nos vão ajudando na construção, outras porque nos apresentam projetos de sonho e outras ainda porque nos desafiam a construí-los.”
(Autor Desconhecido)

RESUMO

A gestão de recursos hídricos é tema bastante recorrente na atualidade e se configura como um dos pontos mais complexos na Política Ambiental brasileira. A outorga dos direitos de uso da água, instrumento regulatório da Lei Nº 9.433/97, é essencial para o controle de gerenciamento do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica. Para tomada de decisões relacionadas a esse instrumento, a quantificação das demandas nas diversas modalidades de usuários de água é de fundamental importância, destacando-se que o abastecimento humano é prioritário. Este trabalho trata da proporção de demanda de água para abastecimento humano frente ao potencial hídrico armazenado nos três maiores reservatórios públicos de água (Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú) localizados na Região do Alto Curso do rio Paraíba, no estado da Paraíba. As demandas foram simuladas em função do consumo per capita dos municípios que usufruem dessas águas. Foram utilizados dados populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e os dados dos volumes diários foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) que monitora esses açudes. Os dados populacionais foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e os dados dos volumes diários foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) que monitora esses açudes. Os índices de demanda, apresentados nesta pesquisa contribui como suporte para estudos relacionados aos instrumentos de gestão das águas, como a outorga e a cobrança.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos, quota per capita de água, água superficial.

ABSTRACT

The water resources management is very current theme being one of the most complex issues in the Brazilian Environmental Policy. The water right concession, regulatory instrument of the Law N° 9433/97), it is essential for the management control of water balance in a watershed. For decisions related to that instrument, the quantification of demands in different types of water users is of fundamental importance, highlighting the human supply is a priority. This work deals with the ratio of human to supply water demand across the water potential stored in the three largest public water dam (Epitácio Pessoa, Cordeiro and Camalaú) located in the Region of the upper course of the Paraíba river in the state of Paraíba/Brazil. The demands were simulated on the basis of per capita consumption of municipalities that depend on these waters. Population data were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), and the data of the daily volumes were provided by the Executive Agency of Water Management in the State of Paraíba – AESA/PB which monitors these weirs. The demand indices presented in this research contributes to support for studies related to water management instruments, such as the water right concession and raw water.

Keywords: Water management, water per capita quota, surface water.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Percentagem dos consumos de água em diferentes setores em 1995 (países desenvolvidos).	18
Figura 2 - Percentagem dos consumos de água em diferentes setores em 1995 (países em desenvolvimento).	19
Figura 3a - Bacia do Rio Paraíba e subdivisões hidrográficas.	29
Figura 3b - Região do Alto Curso do Rio Paraíba e municípios abastecidos pelos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú.	29
Figura 4 - Dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa – Período: 01/01/1967 a 01/03/2015.	38
Figura 5 - Dados volumétricos do açude Cordeiro – Período: 31/08/1984 a 01/03/2015.	38
Figura 6 - Dados volumétricos do açude Camalaú – Período: 31/08/1984 a 01/03/2015.	39
Figura 7a - Relação entre a curva de demanda em três cidades fictícias (A, B e C).	40
Figura 7b - Curva do volume do manancial de captação em sistema de abastecimento.	40
Figura 8 - População urbana diária simulada dos municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014).	41
Figura 9 - Populações diárias simuladas: urbana, rural e total dos municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014).	42
Figura 10 - Populações diárias simuladas: urbana, rural e total dos municípios abastecidos pelo açude Cordeiro (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014).	42
Figura 11 - Populações diárias simuladas: urbana, rural e total de Camalaú (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014).	43

Figura 12	- IDAP diário (Epitácio Pessoa): da demanda urbana e; da demanda urbana e rural com todas as cidades sendo atendidas ao longo dos anos (Período: 01/01/1972 a 01/07/2014).	45
Figura 13	- IDAP diário (Cordeiro): da demanda urbana e; da demanda urbana e rural com todas as cidades sendo atendidas ao longo dos anos (Período: 01/01/2006 a 25/06/2014).	45
Figura 14	- IDAP diário: da demanda urbana e; da demanda urbana e rural de Camalaú sendo atendida ao longo dos anos (Período: 01/04/1997 a 01/07/2014)	46
Figura 15	- Proporção da demanda simulada para os sistemas abastecidos pelo açude Cordeiro frente à queda de volume diário do açude Cordeiro (Período: 03/01/2006 a 05/01/2014).	47
Figura 16	- Proporção da demanda simulada para os sistemas abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa frente a queda de volume diário do próprio açude (Período: 01/01/1972 a 01/07/2014)	48
Figura 17	- Proporção da demanda simulada para o sistema de abastecimento do açude Camalaú frente a queda de seu volume . (Período: 01/04/97 a 01/07/2014)	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Datas de implantação do atendimento das demandas municipais nos sistemas adutores que capitam água dos açudes Epitácio Pessoa e Cordeiro.	30
Tabela 2	- Datas de referência correspondente aos censos, contagem e estimativas populacionais (Período de 1979 a 2014).	32
Tabela 3	- População dos municípios atualmente abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa Censos e Contagem da população (Período: 1970 a 2010).	33
Tabela 4	- População dos municípios atualmente abastecidos pelo açude Cordeiro Censos e Contagem da população (Período: 1970 a 2010).	34
Tabela 5	- População de Camalaú abastecido pelo o próprio açude Camalaú Censos e Contagem da população (Período: 1970 a 2010).	35
Tabela 6	- Estimativas da população entre os anos de 1991 e 2014 (Municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa).	36
Tabela 7	- Estimativas da população entre os anos de 1991 e 2014 (Municípios abastecidos pelo açude Cordeiro).	36
Tabela 8	- Estimativas da população de Camalaú entre os anos de 1991 e 2014.	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Causas naturais e antrópicas para a escassez de água.	20
Quadro 2	- Métodos de projeção populacional.	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	- Agência Nacional de Águas
CAGEPA	- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CERH	- Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGEE	- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
DNOCS	- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ETA	- Estação de Tratamento de Água
FUNASA	- Fundação Nacional de Saúde
GEMOH	- Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDAP	- Índice de Demanda do Abastecimento Público
OMS	- Organização Mundial de Saúde
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Geral	17
1.1.2 Específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Água no Brasil e no nordeste brasileiro: necessidade de gestão.....	17
2.2 Múltiplos usos da água	18
2.3 Escassez.....	20
2.4 Conflitos por água.....	20
2.5 Crescimento das demandas de água: necessidade de gestão	21
2.6 A demanda de água - Estimativa para o abastecimento público.....	22
2.7 Estimativa de demanda per capita diária para o consumo de água	22
2.8 Estimativa da população	24
2.8.1 Métodos de estimativa da população	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Área de estudo - Região Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba	28
3.2 Dados populacionais	31
3.3 Volumes dos açudes	37
3.4 Proporção da demanda de abastecimento frente ao volume armazenado ..	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Estimativas da população urbana e rural.....	41
4.2 Índice de Demanda do Abastecimento Público – IDAP.....	43
4.2.1 Configuração para simulação das demandas	43
4.2.2 Cálculo do IDAP	44
4.2.3 Proporção entre a demanda simulada e a queda de volume do açude	46
5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

Referente aos distintos usos da água, hoje se predomina, no Brasil, o preceito de “bem coletivo”. A Constituição de 1988 determina que, praticamente, todas as águas são públicas, sendo que, em posto da localização do manancial, elas são consideradas bens de domínio da União ou dos estados. Deixam de existir, desse modo, as águas comuns, municipais e particulares, cuja existência era prevista no Código de Águas de 1934.

A atual forma de gestão dos recursos hídricos no Brasil vem refletindo as realidades políticas, sociais e econômicas incorporando a sociedade, poder público e as condições do próprio meio ambiente (AZEVEDO, 2011).

Devido às necessidades de demanda, o potencial hídrico em uma bacia hidrográfica para ser convertido em disponibilidade geralmente é ativado através da construção de açudes e poços, no entanto, as perdas devido aos efeitos evaporimétricos são inevitáveis (ALBUQUERQUE e RÉGO, 1998). As alternâncias hidroclimatológicas e os múltiplos usos tornam a gestão das águas extremamente desafiadora, a exemplo dos eventos extremos de seca que vem proporcionado níveis de alerta em períodos antes do esperado, e conseqüentemente a necessidade de racionamentos, redução e cortes de abastecimento, gerando conflitos de uso (BRITO, 2008; ARAUJO et al., 2012), haja vista que as demandas são cada vez maiores, principalmente em função do crescimento populacional.

Um relatório divulgado pela Agência Nacional de Águas (ANA) aponta que, até o ano de 2025, mais de 70% das cidades com população acima de 5.000 habitantes do semiárido enfrentarão crise no abastecimento de água para consumo humano (EMBRAPA 2016).

A presente pesquisa apresenta simulação de demandas para consumo urbano em municípios paraibanos que usufruem da água armazenada nos reservatórios públicos Epitácio Pessoa (município de Boqueirão), Cordeiro (município do Congo) e Camalaú (município de Camalaú) todos monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). Espera-se com os resultados oferecer subsídios para estudos sobre instrumentos de gestão no contexto ambiental.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Simular as demandas para consumo urbano e rural em municípios que usufruem da água armazenada nos três maiores reservatórios da Região do Alto Curso do Rio Paraíba, monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e, posteriormente, calcular índices que relacionam tais demandas ao potencial volumétrico desses açudes.

1.1.2 Específicos

- Localizar os sistemas de abastecimento e respectivos municípios que são atendidos pelas águas dos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú;
- Coletar banco de dados volumétrico e populacional;
- Estimar a população urbana e rural para os períodos com ausência de dados;
- Definir os períodos para as simulações das demandas;
- Simular as demandas urbanas e rurais nos municípios;
- Determinar os índices de demanda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água no Brasil e no nordeste brasileiro: necessidade de gestão

A relação oferta e demanda de água é tema estratégico para o desenvolvimento do Nordeste e, pela importância dessa região, para o desenvolvimento brasileiro. Por um lado, trata-se de recurso escasso, limitante para o desenvolvimento econômico. Por outro, tem dimensão social que é muito importante, especialmente numa região pobre como o semiárido nordestino (CGEE, 2016).

Machado (2002) destaca que a noção de gestão integrada dos recursos hídricos envolve diferentes e complexas conotações (o aspecto hidrológico, no transporte de massa das águas; os múltiplos usos; e a participação dos usuários e gestores na inter-relação solo, flora e fauna) devendo ser orientada pela lógica da

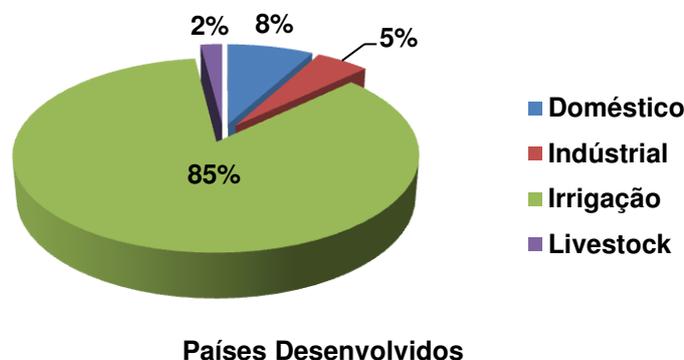
negociação sociotécnica, sendo um processo incerto e arriscado, dispendioso do ponto de vista político, financeiro e emocional.

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, caracterizada por um regime de precipitação irregular, a escassez de água sempre foi um problema não solucionado. O quadro de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas gera insegurança na tomada de decisão de políticas de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico para a região, necessitando, portanto, de medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos disponíveis visando atender a demanda da população de forma permanente (AZEVEDO, 2011), com mecanismos e incentivos que promovem a conservação da água e a eficiência do seu uso (SALATI et al., 1999).

2.2 Múltiplos usos da água

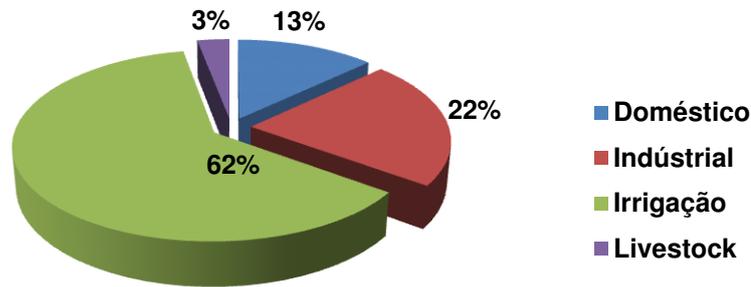
A água está presente em muitas das atividades humanas tendo vários usos possíveis, cada um com necessidades quantitativas (Figura 1 e Figura 2) e qualitativas diferentes. Diferentemente do petróleo, a água não tem substitutos possíveis (GLEICK, 2006) e, apesar de ser um recurso renovável, a sua distribuição espaço-temporal não é uniforme, logo a reposição natural pode ser comprometida. Se à isto juntarmos as interferências humanas, temos um cenário onde os usos de água comprometem a paz no mundo.

Figura 1 - Percentagem dos consumos de água em diferentes setores em 1995 (países desenvolvidos).



Fonte: adaptado de RODRIGUES, 2009a

Figura 2 - Percentagem dos consumos de água em diferentes setores em 1995 (países em desenvolvimento).



Países em Desenvolvimento

Fonte: adaptado de RODRIGUES, 2009a

Relativamente à quantidade de água, as proporções entre os setores que a consomem, tem de ser revista, o padrão mundial adotado de utilização, entre 70% a 80%, de água doce na agricultura (RODRIGUES, 2009a), é um valor insustentável em muitas zonas do Mundo (MALVEZZI, 2005). O uso de água em monoculturas, como cereais, algodão e cana do açúcar, reduz a disponibilidade de água para as populações não só em quantidade, mas também em qualidade, dado, entre outros fatores, a lixiviação de agroquímicos (CONFAGRI, 2009). Outro exemplo é o setor energético, no rio São Francisco, 80% da água é disponibilizada para geração de energia (ADAM, 2009).

A Lei 9.433/1997 cita em seu artigo 1º, que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. No entanto em muitas partes do planeta, observa-se escassez de qualidade, como na Ásia Central, enquanto em outras, águas de elevada qualidade são utilizadas para fins “menores”, como nos EUA e na Europa, com usos para lavagens de ruas, o que de certo modo revela desperdício de recursos econômicos (VERÍSSIMO, 2010).

Assim, o uso múltiplo da água exige não só critérios técnicos ou econômicos, mas também critérios éticos, tornando indispensável falar não só dos usos, mas do "valor múltiplo da água", que inclui o biológico, social, religioso, cultural, paisagístico, turístico e ambiental (MALVEZZI, 2005).

2.3 Escassez

A escassez de água pode se dever a causas naturais ou antrópicas (Quadro 1), necessitando de medidas de gestão e práticas de uso apropriadas.

Quadro 1 - Causas naturais e antrópicas para a escassez de água (adaptado de PEREIRA, 2002)

Escassez de água	Causa Natural	Causa Antrópica
Temporária	Seca	Penúria
Permanente	Aridez	Desertificação

As secas segundo os efeitos naturais agravam a tendência intrínseca para a escassez de água, por seu lado a ação humana produz escassez, pelo mau uso e abuso dos recursos naturais, notadamente por falta ou deficiência de gestão, política de apropriação, bem como pela poluição atmosférica, no solo e nos corpos hídricos que diminuem a disponibilidade (CARNEIRO, 2002; ROMCY, 2009). Atenta-se também pela procura excessiva de água por todos os setores, que aumentou cerca de dezessete vezes nas últimas décadas e que, continuará a aumentar nas próximas décadas (RODRIGUES, 2009b).

A convivência com a escassez de água exige medidas de gestão e práticas de uso apropriadas às condições existentes, diferentemente das praticadas quando a água é abundante ou, pelo menos, não é escassa (PEREIRA, 2002).

2.4 Conflitos por água

Exemplos como, a bacia do Nilo, vale do rio Indo, no Oriente Médio, na bacia do Mar de Aral e a costa oriental do continente asiático, evidenciam problemáticas quanto ao consumo da água com crescente número de disputas frente forte redução de disponibilidade (VERÍSSIMO, 2010).

Conforme o crescimento das cidades, a demanda por recursos hídricos também aumenta e conseqüentemente o potencial de conflitos são maiores entre os diversos usos, em especial nas de maior população, com agravante maior em épocas de estiagem, a baixa qualidade também restringe o uso (BORDIGNON et al., 2011) sendo imprescindível o gerenciamento das problemáticas quanto à

apropriação das águas (CAMPOS e FRACALANZA, 2010). O crescimento desordenado das cidades tem acarretado diversos problemas, especialmente referente aos sistemas de distribuição de água (ARAÚJO e RUFINO, 2011), que podem levar ao desequilíbrio ambiental e, por conseguinte, riscos à saúde humana (GOMES-SILVA et al., 2014).

Além do crescimento das demandas por recursos hídricos, em algumas regiões têm-se verificado a ocorrência de eventos hidrológicos críticos, cuja frequência e intensidade preocupa órgãos como a defesa civil e os responsáveis pelo abastecimento público (CARDOSO e BORDIGNON et al., 2009). A seca dos últimos 50 anos é considerada a mais agravante em alguns estados do Nordeste, proporcionando conflitos, gerando protestos desesperadores em várias regiões do semiárido, onde a estiagem se alastrou por uma gama imensurável de municípios (LINS e RIBEIRO, 2012).

No estado da Paraíba, conflitos pelo uso da água já são periódicos como o observado em torno do reservatório Epitácio Pessoa, o segundo maior do estado. A falta de gestão hídrica associada aos eventos extremos de estiagem proporciona situações potencialmente conflitantes no uso da água. Cidades localizadas na Bacia do rio Paraíba frequentemente sofrem racionamento ou cortes no abastecimento público, como no final da década de 1990 (especialmente nas estiagens de 1998 a 2001) (AESA, 2016) e a atualmente diante da pior crise histórica (BRITO, 2008).

2.5 Crescimento das demandas de água: necessidade de gestão

O crescente aumento da demanda de água doce no mundo condiciona restauração no equilíbrio entre demanda e oferta, caso contrário o mundo deverá enfrentar um déficit global de água cada vez mais grave (UNESCO, 2015).

Tendo em vista a carência de controle quantitativo e qualitativo das águas, o Brasil tem se esforçado nos últimos anos, no aspecto legal, com a Lei N° 9.433/97 que, através de seus cinco instrumentos de gestão, expressa caráter de valor econômico da água e a necessidade do uso racional através de uma gestão integrada e participativa da sociedade em torno daqueles que usam tais recursos numa bacia hidrográfica, no entanto, o aspecto legal ainda é incipiente em muitos estados e a carência de recursos mínimos para à gestão (MACHADO, 2007; LIRA et al., 2013).

As informações de demanda de água nas diversas modalidades são fundamentais na concepção de modelos de outorga (RIBEIRO, 2011; PEREIRA, 2012; BRAGA, 2013; DURÃES 2015). A abordagem de demanda de retiradas de um manancial para abastecimento público está relacionada à outorga de direito de uso de recursos hídricos para usos consuntivos, ou seja, que subtraem uma parcela da disponibilidade hídrica em um ponto de captação (ANA, 2013). Enfatiza-se que, em casos de escassez, a demanda para o consumo humano é prioritária.

2.6 A demanda de água - Estimativa para o abastecimento público

A previsão do consumo de água configura-se um dos fatores de grande importância no planejamento e gerenciamento de sistemas de distribuição hídrica, pois a operação dos sistemas e suas respectivas ampliações ou melhorias estão diretamente relacionadas com a demanda de água (TSUTYIA, 2006), sendo possível produzir informações acerca do futuro, permitindo que o planejamento possa ser realizado com base em tal previsão (ODAN, 2010), como planejamento de novos empreendimentos ou sistemas de expansão, dimensionamento da rede de distribuição de água como também em questões relacionadas a gestão das águas urbanas (HERRERA et al., 2010).

As medidas a serem tomadas diante dos modelos de gerenciamento e previsão são ferramentas para auxiliar gestores na tomada de decisões (LINS, 2011). Sistemas de demanda não automatizados de macromedição deficiente, longe da realidade de mudanças abruptas de consumo, como eventos em escala horária e diária dificultam qualidade nas previsões (MENESES, 2011).

2.7 Estimativa de demanda per capita diária para o consumo de água

Na perspectiva demográfica, elementos como a composição e distribuição espacial da população são fundamentais para estimativas de consumo urbano de água (CARMO et al., 2014). Além da demografia, fatores climatológicos e econômicos foram observados por Feil e Haetinger (2014) em estimativa per capita para Lajeado/RS, foi constatado que as variáveis intervenientes no consumo per capita correspondem à umidade relativa do ar, taxa média de água e população total.

A cota per capita de água é geralmente calculada pelos prestadores de serviço de saneamento, responsáveis pelo abastecimento, com base em suas características operacionais e nos padrões de consumo de cada região, como sendo o volume total distribuído, medido ou estimado, dividido pela população total servida, em um período de tempo (FUNASA, 1991; OLIVEIRA e LUCAS FILHO, 2003). De forma geral é expressa em L/(hab.dia) e será a unidade de medida utilizada neste trabalho.

Desde os anos de 1970, os prestadores de serviços de saneamento de algumas capitais brasileiras buscam cotas per capita mais específicas, que pudessem refletir a realidade local. O método era baseado no controle operacional de seus sistemas de abastecimento de água, por meio da ampliação da macro e micromedição, dando origem a uma grande variabilidade de consumo, com oscilações entre 150 e 400 L/(hab./dia). Entretanto, apenas um percentual desse volume, cerca de 40%, era efetivamente usado nas residências (AZEVEDO NETO et al., 1973, CETESB, 1976).

Segundo Bacellar (1976), considerando aspectos físicos dos projetos, estima-se que a quantidade de água necessária para o funcionamento eficiente das instalações hidráulicas domiciliares varie entre 120 e 200 L(hab./dia).

Medeiros Filho (2012) cita que o consumo de água depende de vários fatores, sendo a variação do consumo motivada pelos hábitos de higiene da população, do clima, do tipo de instalação hidráulico-sanitária dos domicílios, apresentando para zonas urbanas brasileiras quotas médias diárias ("per capita" – q) de 120 a 200 litros por pessoa. Notadamente, este per capita depende do tamanho e desenvolvimento da cidade. Medeiros Filho (2014) cita faixas de per capita médios em zonas urbanas (incluindo demandas comercial, pública, de indústrias que não consomem volume significativo de água no seu processamento e perdas) nos seguintes intervalos:

- Para localidades com até 10.000 habitantes – "q" entre de 150 a 200 l/hab.dia;
- Para localidades entre 10.000 e 50.000 habitantes – "q" entre 200 e 250 l/hab.dia;
- Para localidades com população superior a 50.000 habitantes - "q" de 250 l/hab.dia

Já Von Sperling (1996) cita valores para consumo domiciliar, não sendo incorporadas perdas do sistema de distribuição de água (produção das estações de tratamento – ETA):

- Povoado rural (abaixo de 5.000 habitantes) – “q” entre 90 e 140 l/hab.dia
- Vila (entre 5.000 e 10.000 habitantes) - “q” entre 100 e 160 l/hab.dia
- Pequena localidade (entre 10.000 e 50.000 habitantes) – “q” entre 110 e 180 l/hab.dia
- Cidade Média (entre 50.000 e 250.000 habitantes) – “q” entre 120 e 220 l/hab.dia
- Cidade grande (acima de 250.000 habitantes) – “q” entre 150 e 300 l/hab.dia

Saturnino de Brito, Engenheiro Sanitarista, sugeriu para o quantitativo diário em zonas rurais (uso doméstico) de 77 l/hab.dia (ALMEIDA, 2007; MEDEIROS FILHO, 2012)

Uma das dificuldades encontradas pelos projetistas na determinação do consumo residencial é a adoção de volumes per capita que se aproximem do consumo real (OLIVEIRA e LUCAS FILHO, 2003)

2.8 Estimativa da população

Uma das condições de um sistema de abastecimento eficiente é que a água distribuída seja capaz de atender à demanda. Sem dúvida alguma, a demanda de água cresce com a população (BENETTI, 2007).

Um sistema de abastecimento, quando instalado, deve ter condições de fornecer água em quantidade superior ao consumo. Todavia, depois de certo número de anos, a demanda passa a corresponder à capacidade máxima de adução e, então, diz-se que o sistema atingiu o seu limite de eficiência (BENETTI, 2007).

A população futura e passada, quando na ausência de dados, tem que ser definida por previsão. Como está é sujeita a falhas, encontram-se sistemas atingindo o seu limite de eficiência antes ou depois de decorridos anos. O importante é que a previsão seja feita de modo criterioso, com base no desenvolvimento demográfico do passado próximo, a fim de que a margem de erro seja pequena (DACACH, 1985).

2.8.1 Métodos de estimativa da população

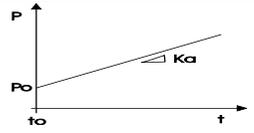
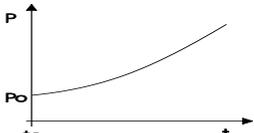
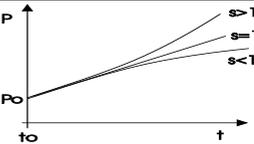
Os métodos de previsão se ajustam com o fato de que a população P é função da população inicial P_0 , acrescida do número de nascimentos e de imigrantes e diminuída do número de mortos e de emigrantes, registrados durante o período de tempo T em que a população passou de P_0 a P .

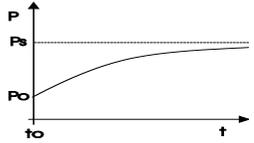
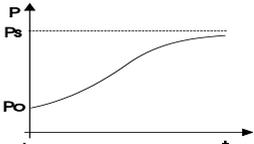
Os principais métodos utilizados para o cálculo da população P são (HELLER; PÁDUA, 2010):

- Crescimento aritmético;
- Crescimento geométrico;
- Regressão multiplicativa;
- Taxa decrescente de crescimento;
- Curva logística.

O Quadro 2 lista as principais características dos diversos métodos. Todos os métodos apresentados nele podem ser resolvidos também através da análise estatística da regressão (linear ou não linear).

Quadro 2 - Métodos de projeção populacional.

Método	Descrição	Forma da curva	Taxa de crescimento	Fórmula da projeção	Coeficientes (se não for efetuada análise da regressão)
<i>Projeção aritmética</i>	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
<i>Projeção geométrica</i>	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.		$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
<i>Regressão multiplicativa</i>	Ajuste da progressão populacional por regressão linear (transformação logarítmica da equação) ou regressão não linear.		-	$P_t = P_0 + r \cdot (t - t_0)^s$	r, s - análise da regressão ou transformação logarítmica

<p><i>Taxa decrescente de crescimento</i></p>	<p>Premissa de que, à medida em que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.</p>		$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$
<p><i>Crescimento logístico</i></p>	<p>O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$. O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_t = P_s/2$.</p>		$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0)/P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln\left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)}\right]$

Fonte: QASIM (1985) apud Heller e Pádua (2010)

- dP/dt = taxa de crescimento da população em função do tempo
- P_0, P_1, P_2 = populações nos anos t_0, t_1, t_2 (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab)
- P_t = população estimada no ano t (hab) ; P_s = população de saturação (hab)
- $K_a, K_g, K_d, K_1, i, c, r, s$ = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas P_0, P_1 e P_2)

3 MATERIAL E MÉTODOS

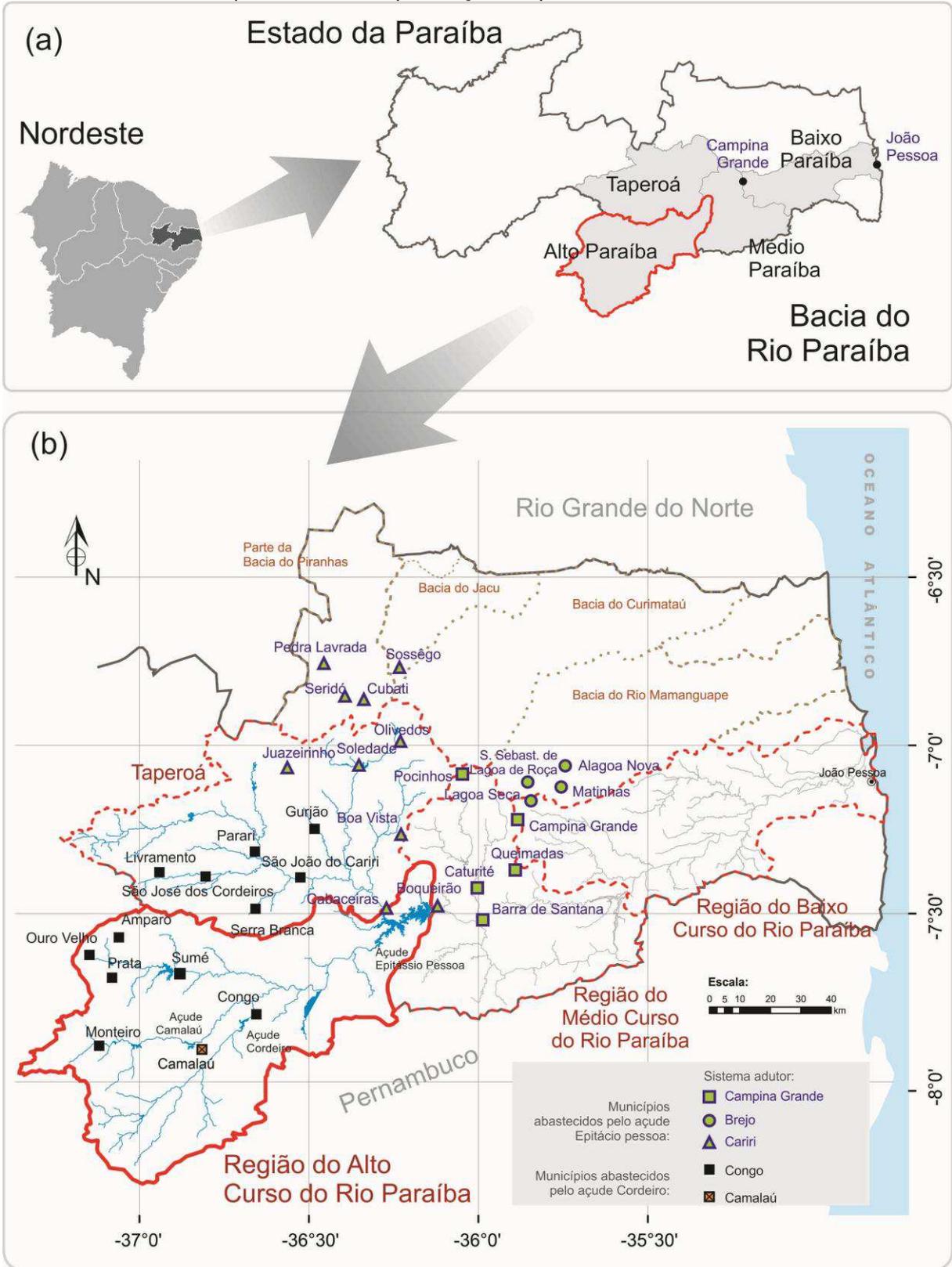
3.1 Área de estudo - Região Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba

A região do Alto Curso do rio Paraíba é uma área típica do semiárido com elevados índices evaporimétricos e curta estação chuvosa, situada na microrregião do Cariri do estado. É parte da Bacia do Rio Paraíba, a mais importante do estado da Paraíba, nela está situada as duas maiores cidades (censo de 2010), Campina Grande com 385.213 habitantes (IBGE, 2015) e a capital João Pessoa com 723.515 habitantes (IBGE, 2015) que ainda compõe as Regiões do Médio e Baixo Curso do rio Paraíba e a sub-bacia do rio Taperoá (Figura 3a).

Dentre os açudes da Região do Alto Paraíba, três foram abordados no âmbito dessa pesquisa: o Epitácio Pessoa, um dos mais importantes do estado, sendo o maior em volume de armazenamento, na região estudada, com capacidade máxima de 411.686.287 m³, apresentando um volume morto de 11,16% (SANTOS, 2011) localizado no município de Boqueirão, cujo barramento é o limite divisor de águas da Região do Alto para a Região do Médio Paraíba; o açude Cordeiro, localizado no município do Congo, com capacidade máxima atual de armazenamento de 69.965.945 m³ (AESAs, 2015) e com volume morto em torno de 5%, sendo o segundo maior em volume de armazenamento na região em estudo; e o açude Camalaú, localizado no município de Camalaú, com capacidade máxima atual de 48.107.240 m³ (AESAs, 2016) e volume morto correspondente a 6% (OLIVEIRA, 2013), sendo o terceiro maior em volume de armazenamento na região em estudo (Figura 3b).

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, é responsável pelo sistema de abastecimento que capta as águas desses reservatórios. Partindo do açude Cordeiro, o Sistema Adutor do Congo (CAGEPA, 2015) que contempla os municípios: Congo, Amparo, Gurjão, Livramento, Monteiro, Ouro Velho, Parará, Prata, São João do Cariri, São José dos Cordeiros, Serra Branca e Sumé. O açude Camalaú só beneficia o município de Camalaú e só começou a ser operado para o abastecimento pela CAGEPA no ano de 1991 (sem data exata), onde antes era operado pela própria prefeitura (CAGEPA, 2015).

Figura 3: (a) Bacia do Rio Paraíba e subdivisões hidrográficas; (b) Região do Alto Curso do Rio Paraíba e municípios abastecidos pelos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú.



Fonte: adaptado de AESA, 2015.

Já o açude Epitácio Pessoa, o atendimento da demanda compreende três sistemas adutores (Figura 3b) (CAGEPA, 2015): o Sistema Campina Grande, com municípios de Campina Grande, Queimadas, Caturité, Barra de Santana e Pocinhos; o Sistema do Cariri, compreendendo os municípios de Soledade, São Vicente do Seridó, Pedra Lavrada, Olivedos, Juazeirinho, Cubati, Cabaceiras, Boqueirão e Boa Vista; e o Sistema do Brejo, atendendo municípios de Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça, Alagoa Nova e Matinhas. As datas em que cada município entrou em seu respectivo sistema são observadas na Tabela 1. O município de Sossego também incorpora o Sistema do Cariri (CAGEPA, 2014), no entanto não foi passada a informação de data de entrada em CAGEPA (2015).

Tabela 1: Datas de implantação do atendimento das demandas municipais nos sistemas adutores que capitam água dos açudes Epitácio Pessoa e Cordeiro

Açude Epitácio Pessoa				Açude Cordeiro	
Sistema do Cariri		Sistema Campina Grande		Sistema do Congo	
Olivedos	01/01/02	Campina Grande	01/01/72	Congo	01/01/06
Cabaceiras	01/01/02	Queimadas	01/01/90	Sumé	01/01/06
Soledade	01/07/02	Caturité	01/01/90	Monteiro	01/01/06
S. Vicente do Seridó	01/07/02	Barra de Santana	01/01/90	Amparo	01/01/06
Pedra lavrada	01/07/02	Pocinhos	01/01/03	Prata	01/01/06
Juazeirinho	01/07/02			Ouro Velho	01/01/06
Cubati	01/07/02	Sistema do Brejo		Serra Branca	01/01/06
Boqueirão	01/07/02	Alagoa Nova	01/01/07	S. João do Cariri	01/01/06
Boa vista	01/07/02	Matinhas	01/01/07	S. José dos Cordeiros	01/01/06
		Lagoa Seca	01/01/07	Gurjão	01/01/06
		S. Sebast. de L. de Roça	01/01/07	Livramento	01/06/10
				Parari	01/01/12

Fonte: adaptado de CAGEPA, 2015.

O açude Epitácio Pessoa foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra Secas – DNOCS, entre 1951 e 1956 (BRITO, 2008), no aspecto institucional à gestão hídrica, Barbosa (2006) sendo o mesmo construído pelo governo federal, não pode ser doado pelo DNOCS ao Estado da Paraíba, visto que

o mesmo serve para o abastecimento de água a cidades, cuja gestão envolve o DNOCS, todavia, como o açude fica localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, o mesmo também deve ser gerenciado pelo Poder Executivo Estadual, por meio dos seus órgãos competentes.

A Agência Nacional das Águas - ANA é o órgão gestor das águas na esfera federal e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA é responsável pela gestão das águas em águas paraibanas. Em 2006, o princípio da gestão participativa e descentralizada, foi fortalecido com a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. As decisões e normas no âmbito dos recursos hídricos do estado conferem ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH.

Em função da má gestão hídrica e dos baixos índices pluviométricos periódicos, todos os açudes frequentemente tem apresentado quedas expressivas nos níveis do espelho d'água com baixa recuperação nas estações chuvosas e nos últimos anos foram agravados quanto ao volume de armazenamento, o que não foi diferente em outras épocas como no período de 1997 a 1999 (RÊGO et al., 2000; GUIMARÃES et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2008; RÊGO et al., 2012, RÊGO et al., 2013). O açude Cordeiro atualmente encontra-se com 0,1% de seu armazenamento total, o Epitácio Pessoa, com 9,6% e Camalaú com pouco mais de 16,7% (AESAs, 2016), proporcionando, para as regiões/municípios que dependem destes reservatórios, uma crise hídrica histórica.

Observa-se ainda, na Figura 3b, que o sistema de abastecimento que capta água do açude Cordeiro contempla municípios da sub-bacia do rio Taperoá. Já o sistema que retira água do açude Epitácio Pessoa abrange municípios que estão total o parcialmente inseridos em regiões além da bacia do rio Paraíba, bacias do: rio Piranhas; Jacu; Curimataú do rio Mamanguape.

3.2 Dados populacionais

De maneira a confrontar a série de dados volumétricos desta pesquisa, os dados populacionais compreenderam os anos de 1970 a 2014, coletados no endereço eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados de população urbana e rural são referentes aos censos demográficos. Já para os anos de contagem da população e estimativas populacionais, apenas população total de cada município estão disponibilizados. Na Tabela 2 verifica-se as datas

correspondentes a cada censo, contagem populacional e estimativa da população (IBGE, 2015).

Tabela 2: Datas de referência correspondente aos censos, contagem e estimativas populacionais - Período de 1979 a 2014

Estudo estatístico do IBGE	Ano	Data de referência	Estudo estatístico do IBGE	Ano	Data de referência
	1970	01/09/70		2001	01/07/01
Censo demográfico	1980	01/09/80		2002	01/07/02
	1991	01/09/91	Estimativa da população	2003	01/07/03
	1992	01/07/92		2004	01/07/04
Estimativa da população	1993	01/07/93		2005	01/07/05
	1994	01/07/94		2006	01/07/06
	1995	01/07/95	Contagem da população	2007	01/04/07
Contagem da população	1996	01/09/96		2008	01/07/08
	1997	01/07/97	Estimativa da população	2009	01/07/09
Censo demográfico	1998	01/07/98	Censo demográfico	2010	01/08/10
	1999	01/07/99		2011	01/07/11
Censo demográfico	2000	01/08/00		2012	01/07/12
			Estimativa da população	2013	01/07/13
				2014	01/07/14

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Nas Tabelas 3, 4 e 5 observam-se os dados populacionais (urbana, rural e total) dos censos de 1970, 1980, 1991 e 2000 e 2010, e a contagem da população total em 1996 e 2007 de cada município (IBGE, 2015), abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa, pelo açude Cordeiro e pelo açude Camalaú, respectivamente. Os dados das estimativas populacionais dos municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú entre os anos de 1992 e 2014 são apresentados na Tabela 6, 7 e 8, respectivamente. Ausência de dados é observada nas Tabelas 3 a 6 em função do município ainda não existir na referida data do censo/contagem ou estimativa populacional.

Tabela 3: População dos municípios atualmente abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa
Censos e Contagem da população – Período: 1970 a 2010

Município		1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
		Data referente ao censo/contagem populacional						
		01/09/1970	01/09/1980	01/09/1991	01/09/1996	01/08/2000	01/04/2007	01/08/2010
Campina Grande	Urbana	167.335	228.182	307.468		337.484		367.209
	Rural	27.968	19.645	18.839		17.847		18.004
	Total	195.303	247.827	326.307	343.196	355.331	371.060	385.213
Boa Vista	Urbana					2.272		3.208
	Rural					2.711		3.019
	Total					4.983	5.673	6.227
Lagoa Seca	Urbana	2.058	3.865	6.378		8.112		10.570
	Rural	16.274	15.050	15.282		16.042		15.330
	Total	18.332	18.915	21.660	22.820	24.154	24.937	25.900
Boqueirão	Urbana	4.552	8.583	13.098		11.141		12.006
	Rural	21.831	21.670	20.157		4.726		4.882
	Total	26.383	30.253	33.255	33.675	15.867	15.877	16.888
Caturité	Urbana					798		1.024
	Rural					3.385		3.519
	Total					4.183	4.467	4.543
Barra de Santana	Urbana					602		731
	Rural					7.709		7.475
	Total					8.311	8.619	8.206
São Sebastião de Lagoa de Roça	Urbana	679	1.264	2.779		3.776		4.659
	Rural	5.973	6.003	6.015		6.250		6.382
	Total	6.652	7.267	8.794	9.589	10.026	10.908	11.041
Alagoa Nova	Urbana	4.071	5.282	7.634		8.301		9.794
	Rural	17.871	15.910	14.703		10.274		9.887
	Total	21.942	21.192	22.337	22.474	18.575	19.163	19.681
Matinhas	Urbana					609		682
	Rural					3.477		3.639
	Total					4.086	4.178	4.321
Pocinhos	Urbana	4.036	5.539	6.549		7.557		9.618
	Rural	10.296	9.500	7.953		7.323		7.414
	Total	14.332	15.039	14.502	14.211	14.880	15.956	17.032
Queimadas	Urbana	3.013	5.751	11.814		17.046		22.236
	Rural	18.245	19.730	20.741		18.986		18.813
	Total	21.258	25.481	32.555	33.421	36.032	38.883	41.049
Cabaceiras	Urbana	976	1.474	1.993		1.760		2.217
	Rural	5.278	4.659	4.187		2.530		2.818
	Total	6.254	6.133	6.180	6.056	4.290	4.907	5.035
São Vicente do Seridó	Urbana	821	1.212	2.373		3.461		4.597
	Rural	4.534	5.318	5.497		5.645		5.633
	Total	5.355	6.530	7.870	8.302	9.106	9.737	10.230

Soledade	Urbana	2.795	4.240	6.902		8.461		10.231
	Rural	4.817	4.888	4.273		3.600		3.508
	Total	7.612	9.128	11.175	11.088	12.061	13.128	13.739
Juazeirinho	Urbana	3.170	4.732	7.529		7.649		9.124
	Rural	9.276	10.271	9.812		7.224		7.652
	Total	12.446	15.003	17.341	17.129	14.873	15.899	16.776
Cubati	Urbana	1.982	2.822	3.562		4.030		4.769
	Rural	3.524	3.712	2.717		2.358		2.097
	Total	5.506	6.534	6.279	6.447	6.388	6.356	6.866
Pedra Lavrada	Urbana	734	1.397	1.956		2.446		3.075
	Rural	4.967	4.758	4.721		4.171		4.400
	Total	5.701	6.155	6.677	6.297	6.617	6.810	7.475
Olivedos	Urbana	342	758	1.197		1.360		1.902
	Rural	2.954	2.849	2.195		1.834		1.725
	Total	3.296	3.607	3.392	3.375	3.194	3.489	3.627

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Tabela 4: População dos municípios atualmente abastecidos pelo açude Cordeiro
Censos e Contagem da população – Período: 1970 a 2010

Município		1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
		Data referente ao censo/contagem populacional						
		01/09/1970	01/09/1980	01/09/1991	01/09/1996	01/08/2000	01/04/2007	01/08/2010
Congo	Urbana	762	1.591	1.418		2.176		2.942
	Rural	3.117	4.452	2.949		2.426		1.745
	Total	3.879	6.043	4.367	4.613	4.602	4.770	4.687
Sumé	Urbana	5.254	7.616	10.322		10.877		12.236
	Rural	10.278	9.185	6.908		4.158		3.824
	Total	15.532	16.801	17.230	16.890	15.035	16.456	16.060
Amparo	Urbana					619		1.062
	Rural					1.267		1.026
	Total					1.886	2.007	2.088
Ouro Velho	Urbana	899	1.318	1.595		1.905		2.047
	Rural	1.868	1.679	1.231		918		881
	Total	2.767	2.997	2.826	2.901	2.823	2.974	2.928
Prata	Urbana	1.007	2.017	1.934		2.218		2.444
	Rural	3.019	2.357	1.377		1.207		1.410
	Total	4.026	4.374	3.311	3.401	3.425	3.896	3.854
Serra Branca	Urbana	3.003	5.685	7.648		7.949		8.418
	Rural	7.528	9.621	5.947		4.326		4.555
	Total	10.531	15.306	13.595	13.759	12.275	12.413	12.973
S. João do Cariri	Urbana	1.558	1.847	2.217		1.996		2.347
	Rural	6.497	5.930	5.320		2.707		1.997
	Total	8.055	7.777	7.537	7.800	4.703	4.438	4.344
S. José dos Cordeiros	Urbana	692	907	1.352		1.307		1.643
	Rural	5.547	5.778	4.828		2.829		2.342
	Total	6.239	6.685	6.180	5.487	4.136	3.973	3.985

Monteiro	Urbana	8.678	11.030	14.655		16.684		20.261
	Rural	16.718	15.822	12.397		11.003		10.591
	Total	25.396	26.852	27.052	26.347	27.687	29.980	30.852
Gurjão	Urbana	847	1.431	1.975		1.684		2.128
	Rural	4.413	4.262	4.097		1.105		1.031
	Total	5.260	5.693	6.072	5.626	2.789	2.985	3.159
Livramento	Urbana	737	1.220	2.375		3.261		3.752
	Rural	4.890	4.683	4.654		4.344		3.412
	Total	5.627	5.903	7.029	7.107	7.605	7.105	7.164
Pararí	Urbana					339		699
	Rural					1.098		557
	Total					1.437	1.245	1.256

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Tabela 5: População de Camalaú abastecido pelo o próprio açude Camalaú
Censos e Contagem da população – Período: 1970 a 2010

Município		1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
		Data referente ao censo/contagem populacional						
		01/09/1970	01/09/1980	01/09/1991	01/09/1996	01/08/2000	01/04/2007	01/08/2010
Camalaú	Urbana	669	922	1.990	2.417	2.357	2.893	2.887
	Rural	4.174	4.149	3.559	3.240	3.159	2.868	2.862
	Total	4.843	5.071	5.549	5.657	5.516	5.761	5.749

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Tabela 6: Estimativas da população entre os anos de 1991 e 2014. Municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa.

Município	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Campina Grande	326.307	331.287	339.641	345.698	351.606	343.196	344.851	348.671	352.497	355.331	358.526	362.317	365.559	372.366	376.132	379.871	371.060	381.422	383.764	385.213	387.643	389.995	400.002	402.912
Lagoa Seca	21.660	21.957	22.427	22.776	23.116	22.820	23.428	23.803	24.180	24.154	24.449	24.679	24.922	25.434	25.717	25.997	24.937	25.636	25.766	25.900	26.034	26.164	26.788	26.950
Alagoa Nova	22.337	22.442	22.638	22.775	22.909	22.474	17.996	18.049	18.102	18.575	18.664	18.737	18.813	18.971	19.059	19.146	19.163	19.700	19.799	19.681	19.766	19.849	20.294	20.399
S. Seb. de L. de Roça	8.794	8.876	9.035	9.145	9.252	9.589	9.802	9.969	10.135	10.026	10.169	10.285	10.406	10.658	10.798	10.937	10.908	11.208	11.320	11.041	11.119	11.195	11.495	11.588
Matinhas							4.583	4.597	4.610	4.086	4.023	3.992	3.948	3.856	3.805	3.755	4.178	4.296	4.314	4.321	4.339	4.357	4.453	4.475
Pocinhos	14.502	14.477	14.461	14.443	14.425	14.211	14.181	14.135	14.088	14.880	14.916	14.960	14.996	15.074	15.117	15.159	15.956	16.397	16.538	17.032	17.197	17.357	17.894	18.087
Queimadas	32.555	33.099	33.708	34.232	34.743	33.421	33.578	33.676	33.775	36.032	36.454	36.764	37.103	37.816	38.210	38.602	38.883	39.956	40.323	41.049	41.297	41.538	42.586	42.884
Barra de Santana							8.239	8.263	8.287	8.311	8.341	8.354	8.374	8.417	8.440	8.463	8.619	8.861	8.909	8.206	8.198	8.191	8.305	8.300
Caturité							3.852	3.864	3.875	4.183	4.230	4.266	4.304	4.385	4.429	4.473	4.467	4.591	4.629	4.543	4.571	4.598	4.714	4.747
Boqueirão	33.255	33.416	33.704	33.908	34.106	33.675	16.127	16.173	16.221	15.867	15.876	15.867	15.868	15.868	15.868	15.868	15.877	16.327	16.360	16.888	16.966	17.043	17.434	17.530
Cabaceiras	6.180	6.186	6.191	6.196	6.201	6.056	4.266	4.253	4.240	4.290	4.291	4.279	4.275	4.264	4.259	4.253	4.907	5.039	5.112	5.035	5.092	5.148	5.319	5.386
Boa Vista							4.473	4.522	4.572	4.983	5.084	5.152	5.231	5.396	5.487	5.578	5.673	5.826	5.908	6.227	6.322	6.415	6.669	6.779
Seridó	7.870	7.959	8.086	8.184	8.280	8.302	8.534	8.694	8.854	9.106	9.241	9.366	9.487	9.740	9.880	10.020	9.737	10.007	10.091	10.230	10.316	10.400	10.701	10.803
Soledade	11.175	11.337	11.588	11.775	11.958	11.088	11.064	11.027	10.991	12.061	12.170	12.247	12.334	12.516	12.616	12.716	13.128	13.489	13.623	13.739	13.868	13.993	14.418	14.569
Sossêgo							2.323	2.316	2.308	2.598	2.622	2.642	2.662	2.704	2.728	2.751	2.965	3.045	3.089	3.169	3.213	3.256	3.376	3.427
Juazeirinho	17.341	17.595	17.982	18.273	18.556	17.129	13.539	13.493	13.447	14.873	15.016	15.116	15.229	15.466	15.597	15.727	15.899	16.339	16.476	16.776	16.922	17.064	17.565	17.737
Cubati	6.279	6.278	6.166	6.115	6.065	6.447	6.524	6.550	6.575	6.388	6.358	6.411	6.422	6.444	6.456	6.469	6.356	6.537	6.546	6.866	6.903	6.939	7.106	7.150
Pedra Lavrada	6.677	6.711	6.750	6.783	6.816	6.297	6.174	6.063	5.952	6.617	6.619	6.604	6.599	6.586	6.579	6.573	6.810	7.001	7.035	7.475	7.541	7.605	7.830	7.907
Olivedos	3.392	3.353	3.293	3.248	3.204	3.375	3.369	3.361	3.194	3.169	3.152	3.133	3.092	3.070	3.048	3.489	3.585	3.622	3.627	3.660	3.693	3.804	3.843	

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Tabela 7: Estimativas da população entre os anos de 1991 e 2014. Municípios abastecidos pelo açude Cordeiro.

Município	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Congo	4.367	4.321	4.240	4.182	4.125	4.613	4.732	4.789	4.847	4.602	4.611	4.651	4.674	4.723	4.749	4.776	4.770	4.903	4.930	4.687	4.690	4.692	4.770	4.775
Sumé	17.230	17.256	17.283	17.306	17.330	16.890	15.269	15.217	15.164	15.035	14.948	14.915	14.860	14.743	14.679	14.614	16.456	16.908	17.085	16.060	16.139	16.215	16.595	16.691
Amparo							1.591	1.586	1.581	1.886	1.919	1.941	1.966	2.019	2.049	2.078	2.007	2.062	2.078	2.088	2.104	2.119	2.176	2.195
Prata	3.311	3.282	3.214	3.170	3.128	3.401	3.504	3.547	3.589	3.425	3.439	3.449	3.460	3.483	3.496	3.509	3.896	4.001	4.057	3.854	3.887	3.919	4.033	4.072
Ouro velho	2.826	2.792	2.744	2.706	2.669	2.901	2.927	2.936	2.945	2.823	2.820	2.822	2.822	2.821	2.821	2.821	2.974	3.057	3.078	2.928	2.936	2.944	3.003	3.013
Monteiro	27.052	27.067	27.129	27.164	27.198	26.347	26.364	26.273	26.183	27.687	27.763	27.821	27.883	28.013	28.085	28.156	29.980	30.807	31.100	30.852	31.095	31.330	32.211	32.498
Livramento	7.029	7.105	7.222	7.310	7.395	7.107	7.146	7.174	7.202	7.605	7.680	7.726	7.782	7.275	7.335	7.395	7.105	12.762	7.330	7.164	7.176	7.189	7.320	7.338
Serra branca	13.595	13.510	13.371	13.269	13.170	13.759	12.587	12.627	12.667	12.275	12.256	12.253	12.242	12.221	12.209	12.054	12.413	12.762	12.816	12.973	13.038	13.101	13.409	13.488
S. João do Cariri	7.537	7.519	7.514	7.504	7.494	7.800	4.736	4.825	4.913	4.703	4.724	4.754	4.777	4.827	4.689	4.715	4.438	4.565	4.563	4.344	4.329	4.309	4.352	4.337
S. J. dos Cordeiros	6.180	6.137	6.069	6.019	5.969	5.487	4.143	4.050	3.957	4.136	4.057	4.000	3.937	3.804	3.731	3.658	3.973	4.088	4.079	3.985	3.973	3.709	3.749	3.739
Parari							1.211	1.184	1.156	1.437	1.443	1.445	1.449	1.458	1.462	1.467	1.245	1.283	1.266	1.256	1.242	1.816	1.823	1.809
Gurjão	6.072	6.103	6.138	6.169	6.198	5.626	2.812	2.749	2.685	2.789	2.734	2.726	2.697	2.636	2.602	2.568	2.985	3.067	3.093	3.159	3.187	3.215	3.311	3.344

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Tabela 8: Estimativas da população de Camalaú entre os anos de 1991 e 2014 (IBGE, 2015)

Município	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Camalaú	5.549	5.567	5.614	5.643	5.672	5.657	5.724	5.742	5.760	5.516	5.510	5.509	5.506	5.499	5.495	5.492	5.761	5.922	5.959	5.749	5.771	5.793	5.917	5.945

Fonte: adaptado de IBGE, 2015.

Para a presente pesquisa os dados populacionais anuais sejam através dos censos, contagens ou estimativa populacional, obtidos em IBGE (2015) serão considerados para a computação das estimativas das demandas.

3.3 Volumes dos açudes

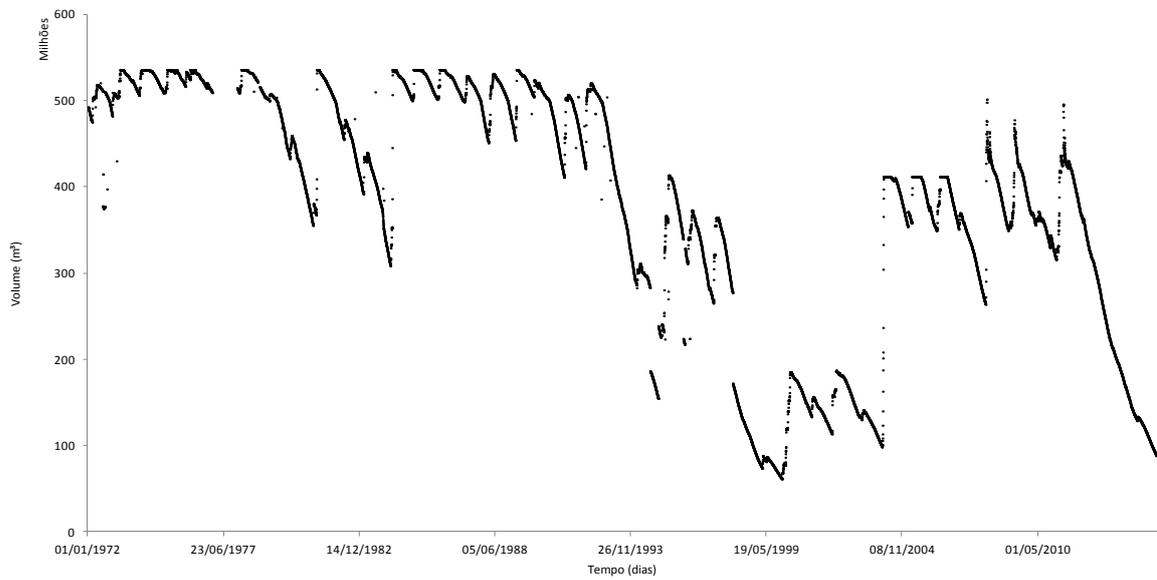
O banco dados dos volumes diários dos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú foi fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2015) na área de estudo, pode ser obtido através da Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria – GEMOH, antigo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba coordenado pela própria AESA. Na Figura 4 observa-se o gráfico volume (m^3) *versus* tempo (dias) para o período de 01/01/1967 a 01/03/2015 no açude Epitácio Pessoa. Para o açude Cordeiro, a série compreende dados de 31/08/1994 a 01/03/2015 (Figura 5). A série do açude Camalaú compreende dados entre 01/01/1994 a 05/02/2015 (Figura 6).

Em todas as séries alguns dias apresentam ausência de dados. Observa-se o período de baixo volume do açude Epitácio Pessoa na crise hídrica nos últimos anos da década de 1990.

A queda de volume desde junho de 2011 e posteriormente sem nenhuma recuperação expressiva anunciava, infelizmente, a condição em que atualmente encontra-se o açude que também é conhecido por Boqueirão.

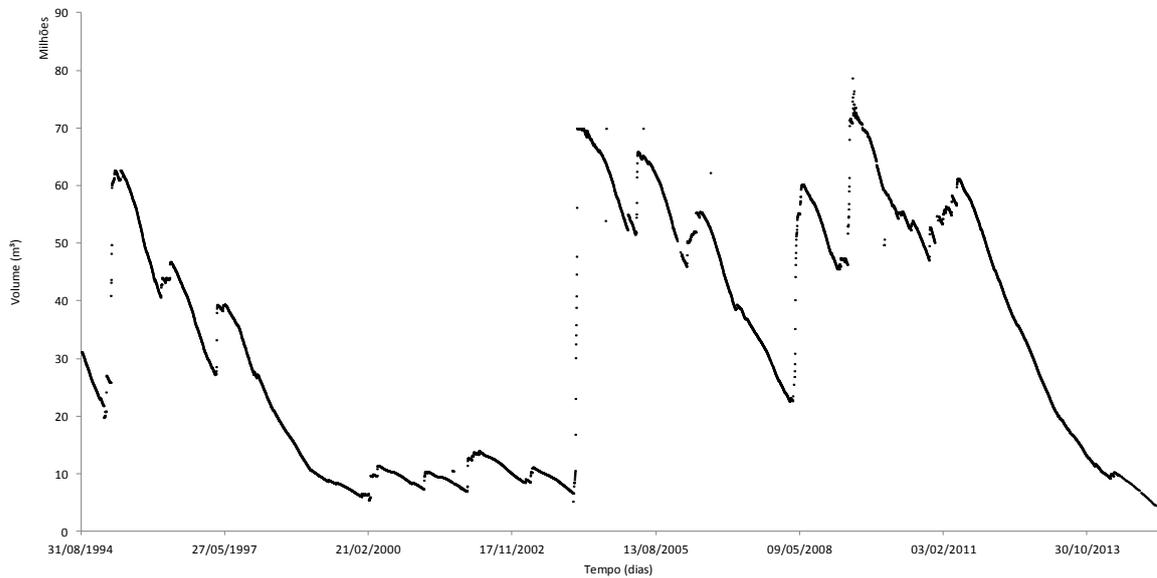
Referente ao açude Cordeiro, a partir de maio de 1997 denotou queda volumétrica e mesmo com pequena recuperação nos primeiros anos da década de 2000, o açude só voltou a ter quantidade expressiva, no início de 2004, porém, encontra-se atualmente praticamente seco.

Figura 4: Dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa – Período: 01/01/1967 a 01/03/2015

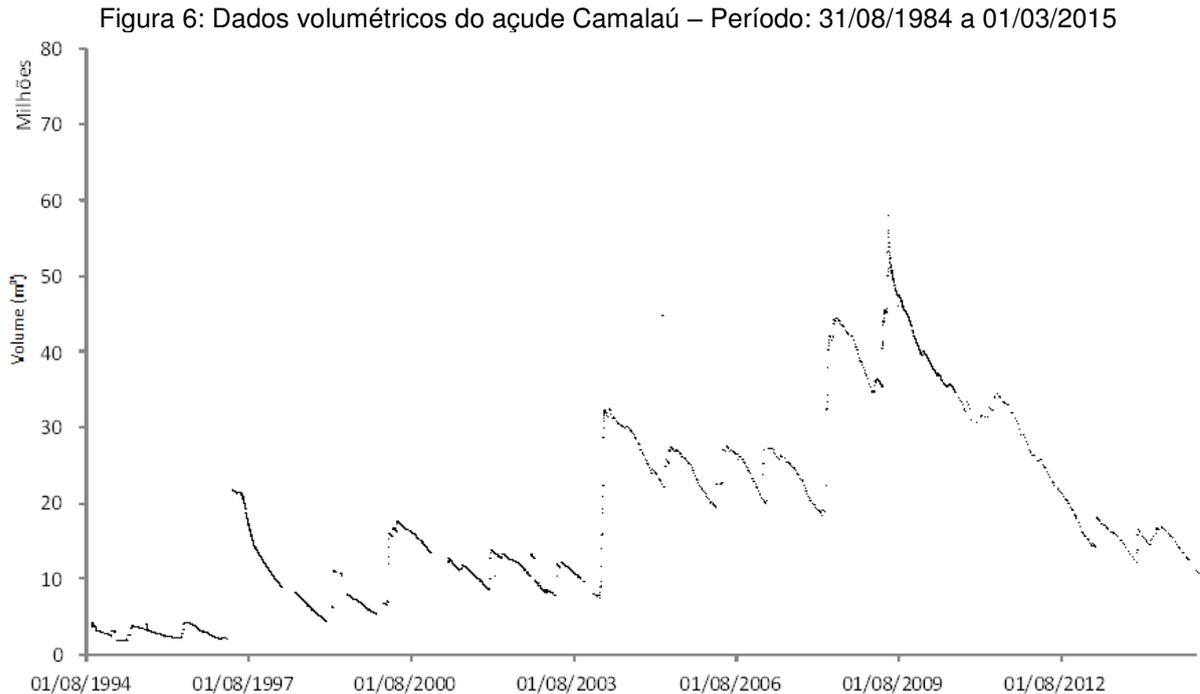


Fonte: adaptado de AESA, 2015

Figura 5: Dados volumétricos do açude Cordeiro – Período: 31/08/1984 a 01/03/2015 (AESA, 2015)



Fonte: adaptado de AESA, 2015



Fonte: adaptado de AESA, 2015

3.4 Proporção da demanda de abastecimento frente ao volume armazenado

A estimativa do volume demandado em cada município corresponderá ao somatório produto da quota per capita (q) pela população correspondente ao dia considerado. O somatório dos volumes demandados de todos os municípios que usufruem da água no açude corresponderá ao volume de demanda (V_D) no dia (t).

A informação volumétrica subtraída do volume morto corresponderá o volume efetivamente útil para o consumo humano (V_u).

Observam-se na Figura 7, dois gráficos. A Figura 7a, representa a curva de demanda de um sistema de abastecimento público que retira água de um manancial no período de t_0 a t_4 , sendo que de t_0 a t_2 apenas o município “A” usufrui do recurso hídrico do açude. Posteriormente, a partir de t_2 , foi acrescentado ao referido sistema, o atendimento de demanda aos municípios “B” e “C”.

Na Figura 7b, observa-se em mesma escala temporal da Figura 7a: a curva horizontal tracejada representando o aporte do volume morto do reservatório; a curva dos dados volumétricos monitorados do referido manancial (à direita em uma escala menor); e imediatamente acima desta, a área hachurada que representa os aportes no período (t_2-t_0) (referentes à demanda no município “A”) e no período (t_4-t_2)

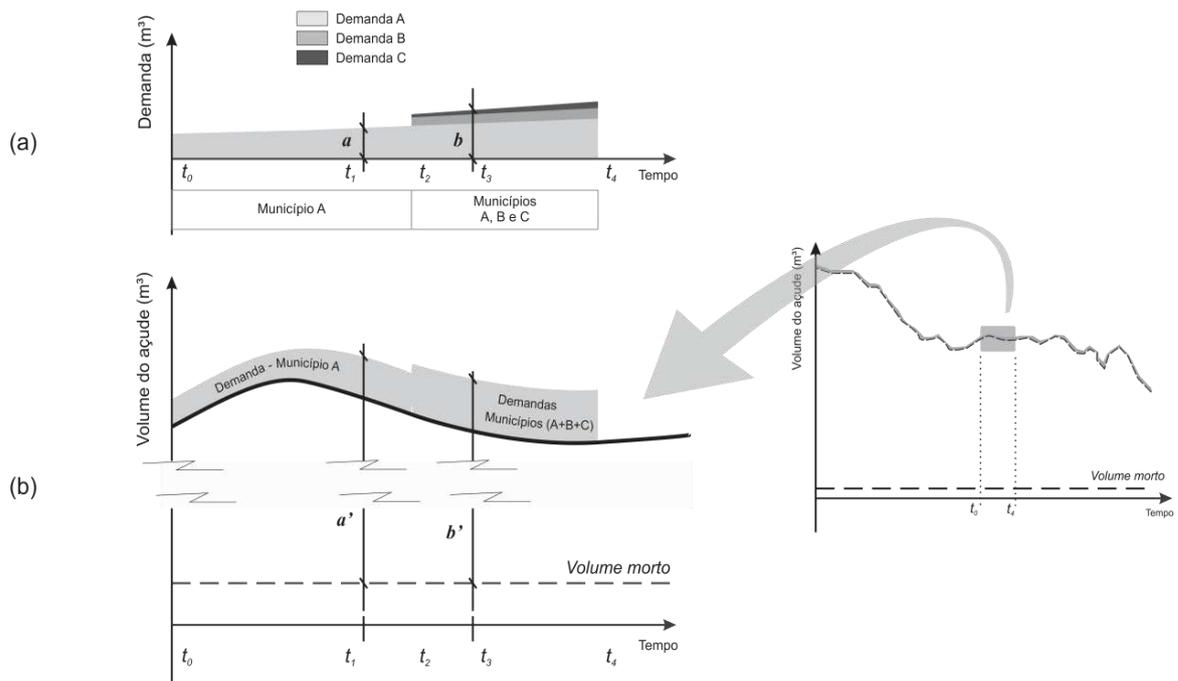
referente à demanda integrada dos municípios “A”, “B” e “C”. Em outras palavras, caso não ocorressem tais retiradas, o reservatório teria um volume acima da curva de dados monitorados. Incorpora-se aqui a ideia do impacto da retirada de tal parcela do volume armazenado. Uma abordagem mais aprofundada poderá considerar as demandas em outros usos.

A razão entre o aporte de demandas do abastecimento público de todos os municípios, $V_D(t)$, pelo volume do reservatório caso não ocorressem tais retiradas (o volume efetivamente útil, $V_U(t)$ somado ao $V_D(t)$) em um dado período (t), é expressa através da Equação 1, denominado índice de demanda do abastecimento público IDAP.

$$IDAP = \frac{V_D(t)}{V_U(t) + V_D(t)} \quad (1)$$

O Índice de Demanda IDAP, representa a proporção do somatório das demandas de uso prioritário (abastecimento humano), em relação à disponibilidade hídrica do reservatório, podendo destacar (ou discretizar) numericamente, o comportamento da demanda em períodos críticos ao longo do histórico de volumes, bem como os períodos do forte domínio volumétrico do açude.

Figura 7: Relação entre: (a) curva de demanda em três cidades fictícias (A, B e C) e; (b) curva do volume do manancial de captação em sistema de abastecimento (autoria própria)



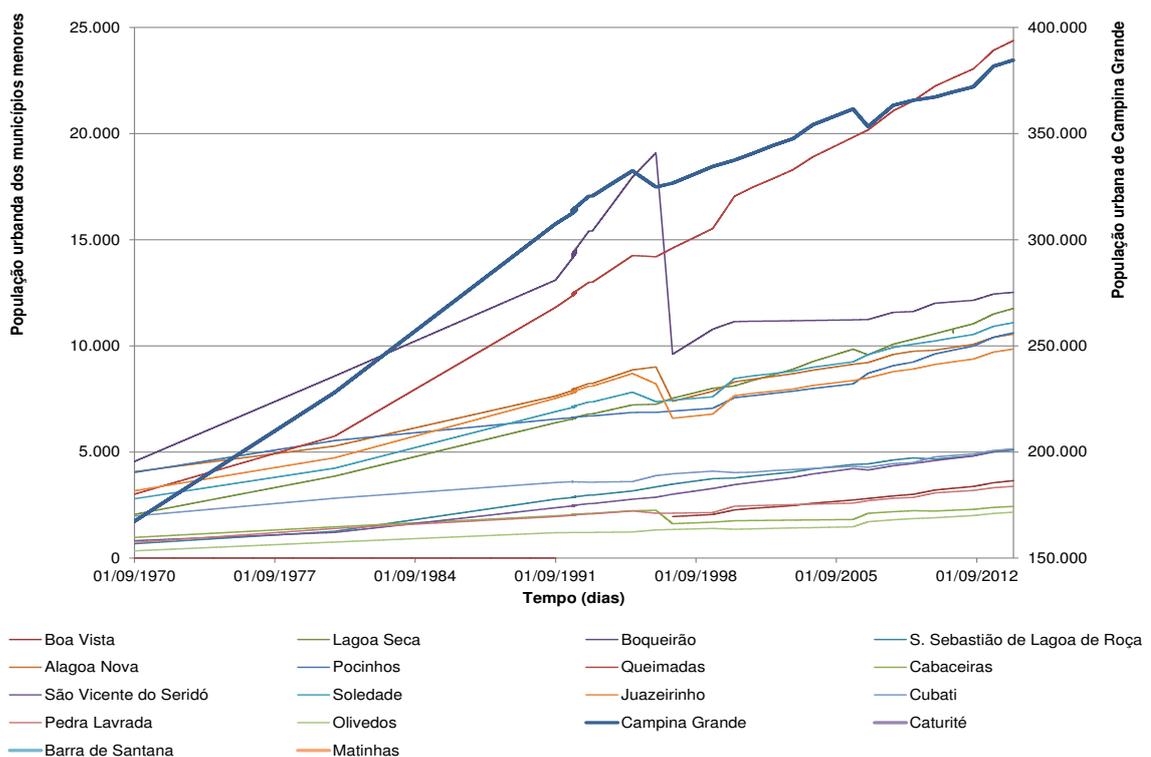
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estimativas da população urbana e rural

Foi considerada relação linear entre as populações urbana, entre os censos de 1970 a 1991, da mesma forma em relação à população rural. A partir de 1991, como nos anos das contagens da população e estimativas populacionais fornecidos pelo IBGE (2015) não constam dados nas categorias urbana e rural, as simulações dessas populações foi obtida com base na relação linear da proporção da população urbana e rural ente dois censos consecutivos. A função linear também foi empregada para a estimativa diária da população com crescimento aritmético ao longo dos dias de cada ano.

Na Figura 8, observam-se as curvas com populações urbanas diárias, simuladas, dos municípios (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014) abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa. Destaque para o município de Boqueirão, com queda significativa da população a partir de 1997 em função da perda de dois distritos (Caturité e Barra de Santana) que emanciparam nesse ano.

Figura 8: População urbana diária simulada dos municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014)



Já na Figura 9, observa-se a população total, urbana e rural desses municípios para o mesmo período. Comparando-se a Figura 9 com a Figura 8 percebe-se o forte domínio populacional de Campina Grande frente aos demais municípios que são abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa, notadamente pela população urbana.

Os gráficos com os dados simulados das populações urbana, rural e total dos municípios abastecidos pelo sistema adutor do Congo (açude Cordeiro) e Camalaú pode ser observado nas Figura 10 e 11, respectivamente.

Figura 9: Populações diárias simuladas: urbana, rural e total dos municípios abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014)

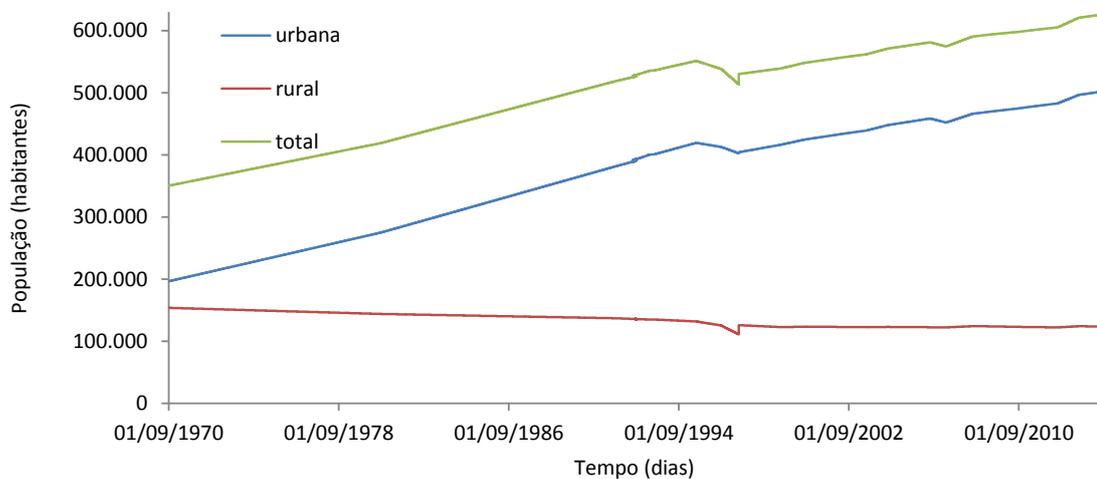


Figura 10: Populações diárias simuladas: urbana, rural e total dos municípios abastecidos pelo açude Cordeiro (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014)

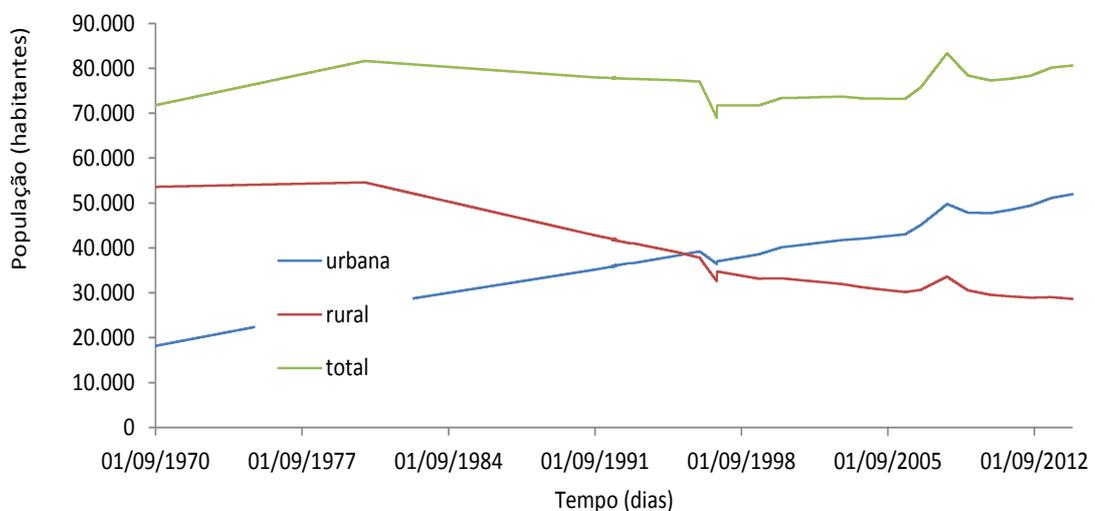
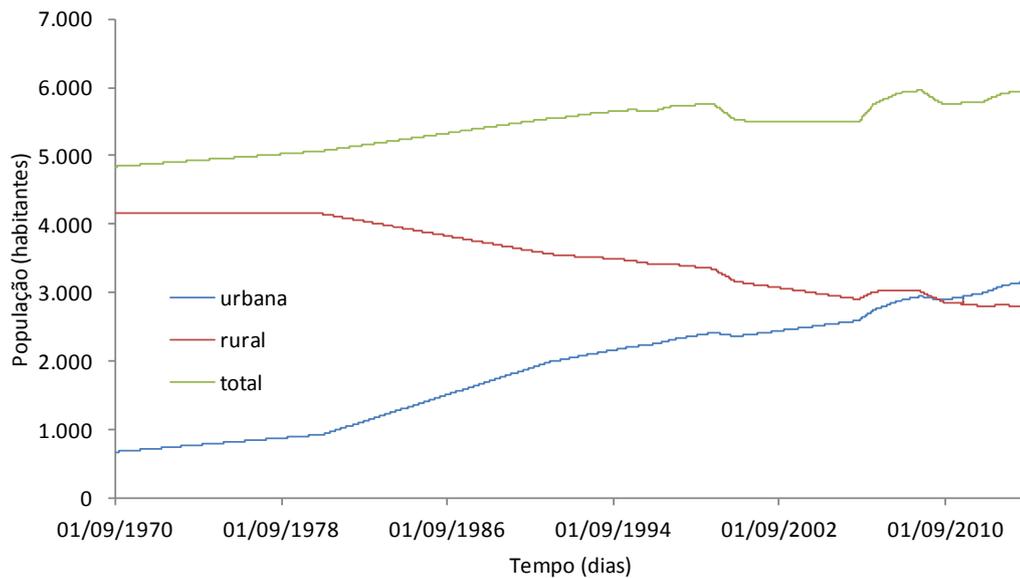


Figura 11: Populações diárias simuladas: urbana, rural e total de Camalaú (Período: 01/09/1970 a 01/07/2014)



Nota-se, nas Figuras 9, 10 e 11, aumento da população urbana e redução da população rural ao longo dos anos. Dentre os vários fatores comumente ocorridos no êxodo rural, enfatiza-se aqui os impactos negativos na socioeconomia em escala local e regional, pelas adversidades naturais, antrópicas e especialmente pela carência de gestão da água e de projetos de incentivos voltados ao homem do campo.

4.2 Índice de Demanda do Abastecimento Público – IDAP

4.2.1 Configuração para simulação das demandas

As demandas de água nas mais diversas modalidades de uso devem ser bastante pautadas sob a primazia do abastecimento humano. Atenta-se aos órgãos de gestão em recursos hídricos a necessidade permanente do controle das demandas de água doce.

No cálculo da demanda do sistema do cariri, não foi considerado o município de Sossego pela ausência de informação de data de entrada do abastecimento. Para a simulação das demandas dos municípios abastecidos pelos dois reservatórios foi considerada a quota per capita com base na proposta por Medeiros Filho (2014), sendo:

- Para localidades com até 10.000 habitantes – “q” de 150 l/hab.dia;

- Para localidades entre 10.000 e 50.000 habitantes – “q” de 200 l/hab.dia;
- Para localidades com população superior a 50.000 habitantes - “q” de 250 l/hab.dia

Para população rural foi considerado o consumo de 77 l/hab.dia (proposta do Eng. Saturnino de Brito, como supracitado).

A Tabela 1 apresenta a cronologia de entrada de cada município no respectivo sistema adutor. Na demanda do açude Cordeiro (Sistema do Congo) o número de municípios é praticamente o mesmo desde o início de sua implementação (01/01/2006), apenas o acréscimo dos municípios de Livramento e Pararí nos anos de 2010 e 2012, respectivamente.

Por outro lado, referente aos sistemas que captam água do açude Epitácio Pessoa, que teve início por Campina Grande, em 1972, a partir da década de 1990, gradativamente outros municípios foram incorporados.

4.2.2 Cálculo do IDAP

De posse dos dados diários de volume de cada reservatório e das respectivas demandas simuladas (urbana e rural) dos três sistemas em m³ foi calculado o IDAP considerando os dois reservatórios. Atenta-se que o uso do racionamento, corte e interrupções no sistema de abastecimento não estão sendo considerados nesta pesquisa.

Para o volume morto do açude Epitácio Pessoa foi considerado 11,16% da capacidade máxima atual (SANTOS, 2011). Para o açude Cordeiro tal proporção foi considerada de 5%. Já para o açude de Camalaú, o percentual foi de 6% (OLIVEIRA, 2013).

Os resultados apresentam o referido índice considerando em duas vertentes:

- I. O abastecimento público urbano com a entrada cronológica dos municípios
- II. O abastecimento público de consumo urbano e rural com atendimento de todos os municípios ao longo de toda série histórica

Nas Figuras 12, 13 e 14 observa-se o IDAP que representa a proporção de demanda do abastecimento público dos sistemas que captam, respectivamente, as águas do açude Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú.

Tal proporção identifica que, diante do balanço hídrico, as retiradas não são expressivas ou condicionantes para o histórico do decaimento volumétrico do açude, possivelmente pelos efeitos evaporimétricos e demandas para outros usos.

O período que o IDAP apresentou maiores valores para o açude Epitácio Pessoa foi na época da crise de 1997 a 1999. Para o açude Cordeiro (Período 01/01/2006 a 25/06/2014) o IDAP foi mais expressivo no final da série, ano de 2014. Já para o açude Camalaú, o IDAP foi mais expressivo de junho de 1998 a janeiro de 2004.

Figura 12: IDAP diário (Epitácio Pessoa): da demanda urbana e; da demanda urbana e rural com todas as cidades sendo atendidas ao longo dos anos (Período: 01/01/1972 a 01/07/2014)

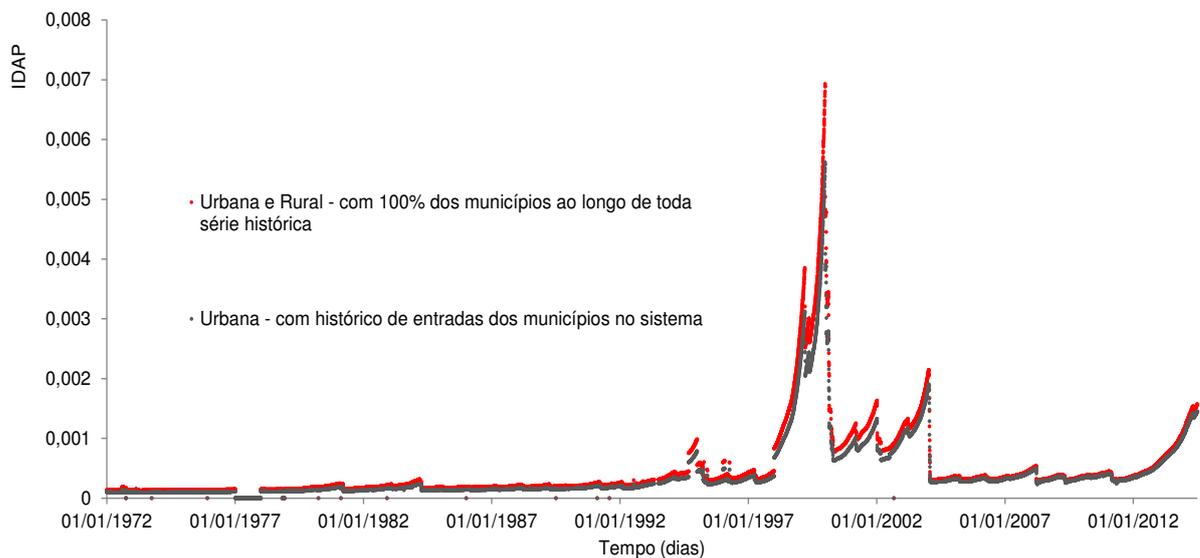


Figura 13: IDAP diário (Cordeiro): da demanda urbana e; da demanda urbana e rural com todas as cidades sendo atendidas ao longo dos anos (Período: 01/01/2006 a 25/06/2014)

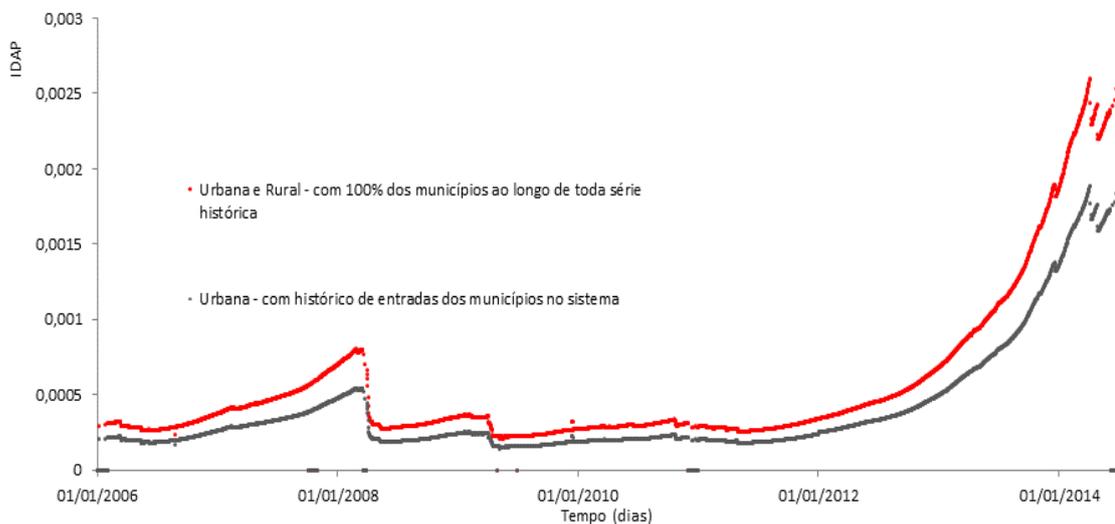
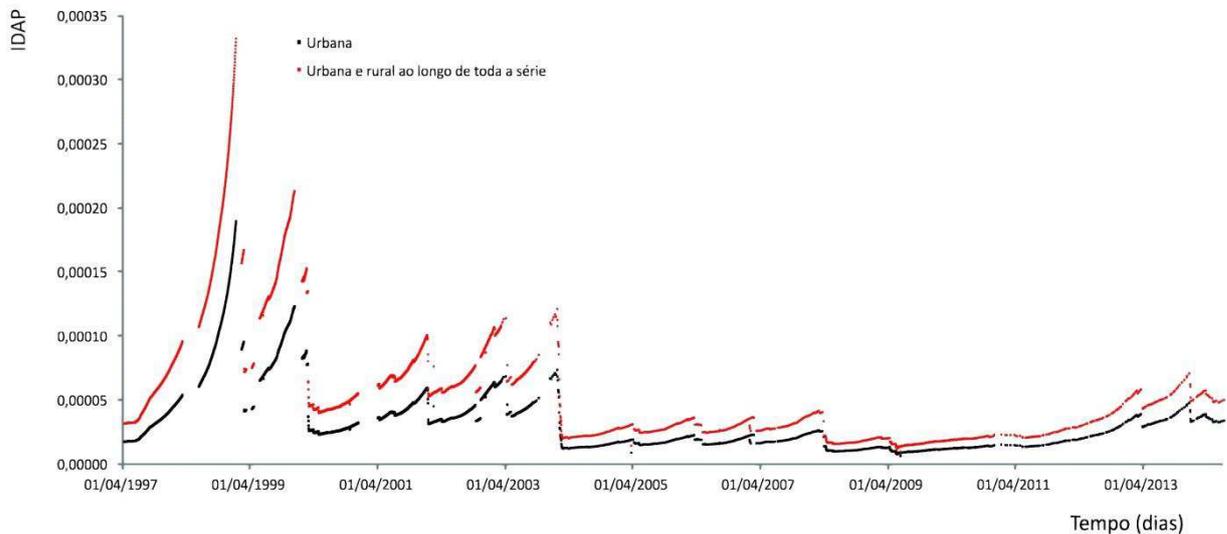


Figura 14: IDAP diário: da demanda urbana e; da demanda urbana e rural de Camalaú sendo atendida ao longo dos anos (Período: 01/04/1997 a 01/07/2014)



4.2.3 Proporção entre a demanda simulada e a queda de volume do açude

No semiárido, especialmente nos meses de seca, normalmente a sequência de dias de queda de volume do açude é mais prolongada que a recuperação ou estabilidade volumétrica. Diante da diferença de volume entre os dias, o aporte de retirada de água por parte do sistema de abastecimento, quantifica uma parte dessa queda.

Assim sendo, nas curvas das Figuras 15, 16 e 17 observa-se quanto a demanda diária simulada proporcionaria, em termos percentuais, no decaimento do volume nos açudes Cordeiro, Epitácio Pessoa e Camalaú respectivamente.

No açude Cordeiro, as demandas simuladas (urbana e total com atendimento a todos os municípios desde o início da implementação do sistema adutor) nos últimos anos compreendeu mais de 20% da queda diária do volume do reservatório, especialmente, próximo aos últimos meses (mais de 50%), o que acarreta maiores níveis de alertas no sistema de gestão do reservatório.

Para o caso do açude Epitácio Pessoa, os números mostram que, na crise do final da década de 1990, se o sistema atendesse a demanda urbana e rural com todos os municípios que atualmente são abastecidos, haveria déficit de demanda (salvo o uso do volume morto). Para os últimos meses tal proporção esteve acima de 50%.

As proporções de demanda frente à queda de volume do açude Camalaú compreenderam valores de até 3%. No entanto, os resultados são dispersos, tendo em vista a carência de dados contínuos de volumes diários.

As simulações mostram que, o impacto na demanda calculada apresenta-se mais expressivo nos períodos de estiagem. Normalmente, em períodos de extrema escassez hídrica, políticas de racionamento do sistema proporcionam valores menores de queda diária do volume.

A incorporação de mais variáveis no modelo proposto nesta pesquisa, como as datas dessas ações de gestão, bem como valores efetivos de demanda (incluindo estimativas de outras demandas, como irrigação em períodos permitidos, e retiradas clandestinas) e da evaporação, proporcionará análise bem mais precisa e indicará quanto em termos percentuais cada um dos componentes estaria por trás do balanço hídrico do reservatório.

Figura 15: Proporção da demanda simulada para os sistemas abastecidos pelo açude Cordeiro frente a queda de volume diário do açude Cordeiro (Período: 03/01/2006 a 05/01/2014)

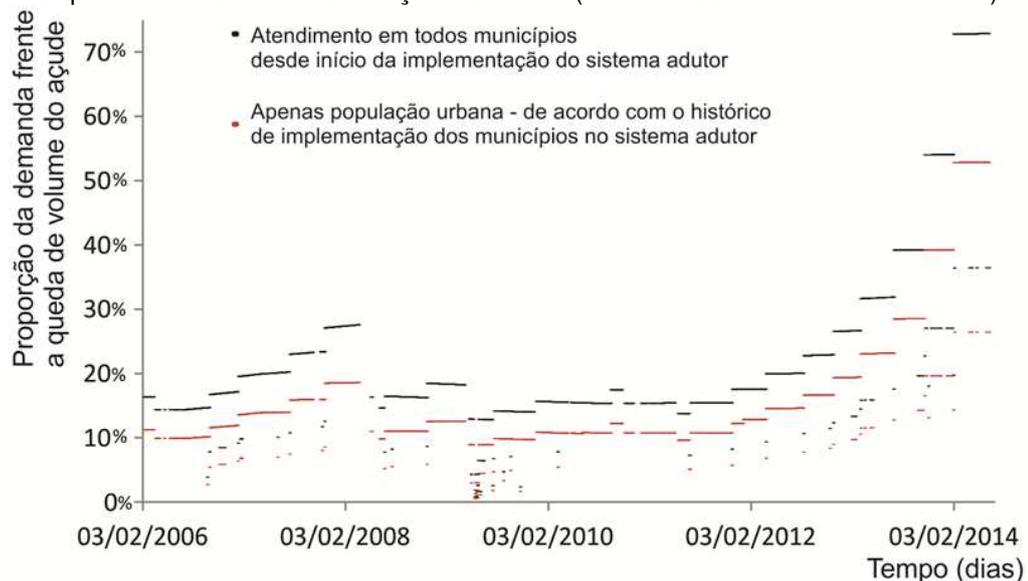
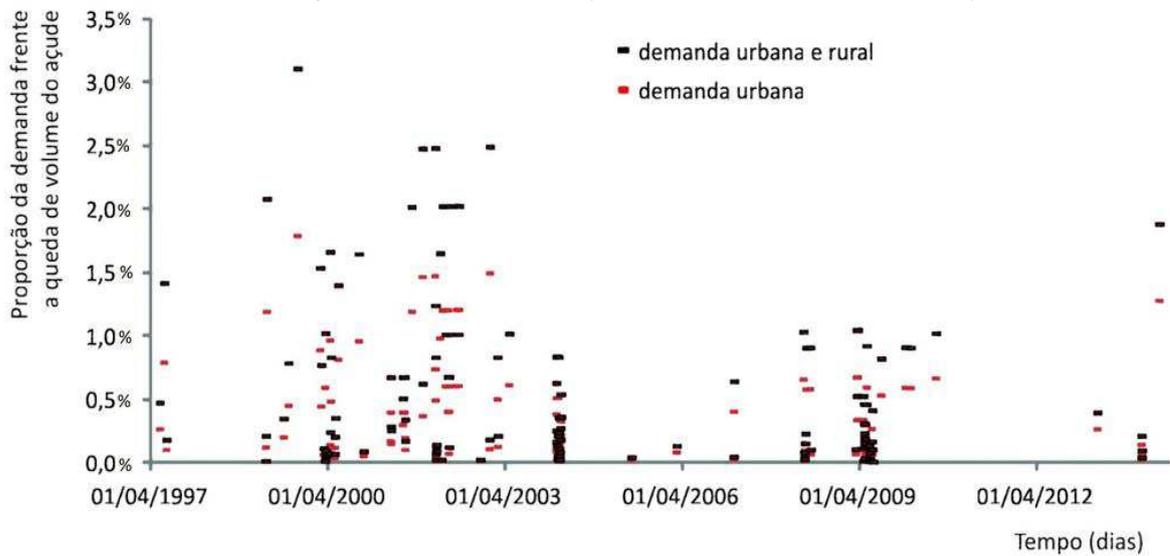


Figura 16: Proporção da demanda simulada para os sistemas abastecidos pelo açude Epitácio Pessoa frente a queda de volume diário do próprio açude (Período: 01/01/1972 a 01/07/2014)



Figura 17: Proporção da demanda simulada para o sistema de abastecimento do açude Camalaú frente a queda de seu volume. (Período: 01/04/97 a 01/07/2014)



5 CONCLUSÃO

Diante do histórico de eventos agravantes de risco de colapso do sistema de abastecimento, e até de escassez quase total, o uso dessas informações das proporções de demanda de cada tipo de uso em períodos que anunciam riscos futuros podem, em tempo estratégico contribuir para o uso mais racional da água, de maneira a evitar ou tardar necessidades de racionamentos.

As abordagens comparativas entre o histórico de demandas simuladas frente ao potencial volumétrico dos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú, destacam como as estimativas de demanda são informações relevantes na tomada de decisões do gerenciamento de recursos hídricos, de maneira a auxiliar a quantificação das disponibilidades frente ao potencial de recursos de água na bacia. Os índices de demanda, apresentados nesta pesquisa contribui como suporte para estudos relacionados aos instrumentos de gestão das águas, como a outorga e a cobrança.

REFERÊNCIAS

- ADAM, A. **Un millón de cisternas el Brasil: construint ciudadanía al semiárid brasilero**. 2009. Disponível em: <http://www.aguariosypueblos.org/>. Acesso em: Maio de 2016.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Volume dos açudes**. Disponível em: https://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/volumes_acudes/indexVolumeAcudes.jsp. Acesso em: ago. 2015.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Volume dos açudes monitorados na Paraíba**. Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria – GEMOH. Paraíba, 2016.
- AZEVEDO, D. C. F. **Água: importância e gestão no semiárido nordestino**. 2011. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/2992/2165>. Acesso em: março de 2016.
- AZEVEDO NETO J. M.; Martins, J. A.; Puppi, I. C.; Borsari Neto, F. et al. **Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água**. OPAS/UFPR. Curitiba, 1973.
- ALBUQUERQUE, J. P. T.; RÊGO, J. C. 1998. Conceitos e definições para avaliação e gerenciamento conjunto de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Campina Grande: 1998.
- ALBUQUERQUE, T. M. A. ; RIBEIRO, M. M. R. ; VIEIRA, Z. M. C. L. . Análise multicriterial de alternativas tecnológicas para redução do consumo de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 99- 110, 2008.
- ALMEIDA, S. A. B. Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda do nordeste do Brasil – Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2007. 70f.
- ANA. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília, 2013.
- ARAÚJO, E. L. ; RUFINO, I. A. A. . Estimativa do crescimento da demanda de água baseada em dados de uso e ocupação do solo urbano. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2012.
- Bacellar, R. H. (1976). **Instalações Hidráulicas e Sanitárias: Domiciliares e Industriais**. São Paulo, McGraw do Brasil, 258 p.

BARBOSA, E. M. Gestão de recursos hídricos da Paraíba: uma análise jurídico-institucional. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. Disponível em: <www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/downloads/erivaldomoreirabarbosa.pdf>. Acesso em: ag. 2015.

BENETTI, J. K. A utilização da projeção populacional na elaboração de projetos de saneamento básico: estudo de caso, Ijuí, RS. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. IJUÍ, RS. 2007.

BORDIGNON, N. J. ; FACHINETTO A. P. ; BITENCOURT, C. M. ; PIES G. ; DEBUS C. F. O. A universidade pública cumprindo seu papel na sensibilização da população da Região Oeste de Santa Catarina para a importância do recurso ambiental água, do seu uso racional e da gestão de riscos.. VI Encontro de extensão, Joinville, 2011.

BRASIL. Lei 9.433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRAGA, C. F. C. . ALOCAÇÃO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO: CENÁRIOS CLIMÁTICOS PRESENTE E FUTURO NO CONTEXTO DA DEMANDA DO PRESENTE. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

BRITO, F. B.. O Conflito pelo uso da água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal da Paraíba, Joao Pessoa, 2008.

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Comunicação interna, Cidades que são abastecidas pelo açude Epitácio Pessoa - Resumo das posições das ligações de água, Setembro, 2014.

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Comunicação interna. Resumo dos Sistemas de Abastecimento. Sub gerencia comercial da Borborema, Agosto, 2015.

CAMPOS, V. N. O., FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. Campinas, 2010.

CARDOSO, E. ; BORDIGNON, N. . O desafio para a garantia do abastecimento público em situações de estiagem em municípios abastecidos por mananciais localizados em pequenas bacias hidrográficas: o caso de São Bento do Sul-SC, XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, novembro, 2009.

CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; JOHANSEN, I. C.. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. Revista Brasileira de Estudos de População. Rio de Janeiro, v. 31, n.1, p. 169-190, jan./jun. 2014.

CARNEIRO, P. R., 2002. "Dos Pântanos à Escassez: Uso da água e conflito na

Baixada de Goytacazes”. 20 pp. Disponível em http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT03/paulo_carneiro.pdf. Acesso em: abril de 2016.

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (1976). Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. 2. ed. rev., São Paulo, BNH/ABES/CETESB.

CGEE (2016), Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Disponível em: www.cgee.org.br. Acesso em abril de 2016.

CONFAGRI, 2009. Antecedentes. In: Ambiente. Disponível em: <http://www.confagri.pt/Ambiente/AreasTematicas/Agua/TextoSintese/Antecedentes/>. Acesso em: Maio de 2016.

DACACH, N. G. Previsão e distribuição das populações nos centros urbanos. Revista D.A.E. 1985.

DURÃES, M. F. ; MELLO, C. R. de ; BESKOW, S. . Estresse hidrológico: aplicação às bacias dos rios Paraopeba e Sapucaí, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricas**, v. 20, p. 352-359, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Convivência com a Seca**. Disponível: < <https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/sobre-o-tema>>. Acesso em fev. 2016.

FEIL, A. A.; HAETINGER, C. Previsão de consumo de água via modelagem matemática de sistema de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 195, p. 32-46, 2014

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde (1991). Manual de Saneamento. 2. ed. rev., Brasília, Fundação Nacional de Saúde, 408 p.

GLEICK, P.H., 2006. “Water and Terrorism”. In: Water Policy. Vol. 8, pp. 481-503. Disponível em: http://www.pacinst.org/reports/water_terrorism.pdf. Acesso em: Abril de 2016.

GOMES-SILVA. P. A. J. ; GOLIN, R. ; LIMA, Suzy. ; FIGUEIREDO, D.M. ; LIMA, Z. M. ; MORAIS, E. B. ; DORES, E. F. G. C. . Qualidade da água de uma microbacia com fins de abastecimento público, Chapada dos Guimarães, MT.. Holos (Natal. Online), v. 4, p. 22-33, 2014. Disponível em: < <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1977>>. Acesso em: ag. 2015.

GUIMARÃES, A. O. ; MELO, A. D. DE ; CEBALLOS, B. S. O. ; GALVÃO, C. O. ; RIBEIRO, M. M. R. . Aspectos da gestão do Açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade da água. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. 2005.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª Ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2010. 872 p.

HERRERA, M.; TORGO, L.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GÁRCIA, R. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. **Journal of Hydrology**. v. 387. p. 141 – 150. 2010.

IBGE (2015) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em setembro de 2015.

ISA (2016), Instituto Socioambiental. Disponível em: <www.socioambiental.org/pt-br>. Acesso em fevereiro de 2016.

LINS, G. M de L. Análise de variáveis determinantes no consumo urbano de água de uso doméstico na cidade de Campina Grande –PB. . Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011. 92p. Disponível em: <<http://www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/downloads/gledsnelimariadelimalins.pdf>>. Acesso em: ago. 2015.

LINS, L.; RIBEIRO, EFRÉM. Seca histórica gera guerra por água no sertão do Nordeste. O GLOBO. 2012. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/brasil/seca-historica-gera-guerra-por-agua-no-sertao-do-nordeste-4883966>. Acesso em Março de 2016.

LIRA, W. S. ; Cândido, G. A. ; Carvalho, J.R.M. ; CURI, W. F.. Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas. Waleska Silveira Lira e Gesinaldo Ataíde Cândido. (Org.). Gestão sustentável dos recursos naturais - Uma abordagem participativa. 1ed. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2013, v. , p. 31-80.

LORA, E.E.S. (2000). Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Brasília, ANEEL.

MACHADO, C. J. S. Por uma negociação sociotécnica na gestão integrada dos recursos hídricos. **ABRH-Notícias**, Porto Alegre, v. 7, p. 20-21, 2002.

MACHADO, J. 10 Anos da Lei 9433: avanços e dificuldades. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

MALVEZZI, R., 2005. “A questão da água na América Latina”. Disponível em: http://www.resistir.info/agua/questao_agua.html. Acesso em: Maio de 2016.

MEDEIROS FILHO, C. A. F. Abastecimento de Água. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Abastece.pdf>>. Acesso em: mai. 2014.

MEDEIROS FILHO, C. A. F. Consumo médio de água por pessoa/dia, Julho, 2012. Disponível em: <<http://professorcarlosfernandes.blogspot.com.br/2012/07/consumo-medio-de-agua-por-pessoadia.html>>. Acesso em: nov. 2014.

MENESES, R. A. Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

ODAN, F. K. Previsão de demanda para sistemas de abastecimento de água. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

OLIVEIRA, D. S. L. Análise de alternativas para o uso das águas do projeto de integração do rio São Francisco do eixo leste no estado da Paraíba através de um modelo de otimização multiobjetivo. Campina Grande, 2013.

Oliveira, J. I. e Lucas Filho, M. (2003) “Caracterização do consumo per capita de água na cidade de Natal: uma análise socioeconômica”. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, ABES, 1CD ROOM. 10p.

PEREIRA, E. M. Análise de conflitos pelo uso da água relacionados à oferta e à demanda: Bacia do Rio Piracicaba – MG. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. 56f.

PEREIRA, L. S., 2002. “Conservação e Poupança de Água para Conviver com a Escassez e a Seca”. In *El Agua en Iberoamérica. De la Escassez a la Desertificación*; 15 pp, Buenos Aires.

RÊGO, J. C. ; ALBUQUERQUE, J. P. T. ; RIBEIRO, M. M. R . Uma análise da crise de 1998-2000 no abastecimento d’água de Campina Grande-PB. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000. Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. v. V.2. 459-468p.

RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; ALBUQUERQUE, J.P.T. (2012). Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa – Boqueirão na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba em cenário de vindouros anos secos. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, João Pessoa, Novembro, 2012.

RÊGO, J.C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; GALVÃO, C.O; SOUZA, J.A. (2013). Atribuições e responsabilidades na gestão de recursos hídricos - o caso do açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no Cariri Paraibano. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Novembro, 2013.

RÊGO, J.C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; GALVÃO, C.O. (2001). Participação da Sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento d’água de Campina Grande-PB. *Proceedings of the Fourth Inter- American Dialogue on Water Management*. Foz do Iguaçu, 2001.

RÊGO, Janiro Costa ; GALVÃO, C. O. ; ALBUQUERQUE, J. P. T.. Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa Boqueirão na bacia hidrográfica do rio Paraíba em cenário de vindouros anos secos. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, João Pessoa, 2012.

RIBEIRO, W. C. Oferta e estresse hídrico na região Metropolitana de São Paulo. *Estudos Avançados*. USP. Impresso., v. 25, 119-133, 2011p.

RODRIGUES; A. C., 2009a. Apontamentos da disciplina de Gestão de Recursos

Hídricos. DCEA, FCT-UNL.

RODRIGUES; A. C., 2009b. Apontamentos e elementos de estudo da disciplina de Sustentabilidade no Uso das Águas. DCEA, FCT-UNL.

ROMCY, V., 2009. “Recursos Hídricos”. In: Shvoong: A fonte global de Resumos e Revisões. Disponível em: <http://pt.shvoong.com/exact-sciences/earth-sciences/1940847-recursos-h%C3%ADricos/>. Acesso em: abril de 2016.

SALATI, E.; LEMOS, H. M. de; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: USP/ABC, Escrituras Editoras, 1999. cap. 2, p. 39-62.

SANTOS, V. S. Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento dos recursos hídricos superficiais com aplicação à bacia hidrográfica do rio Paraíba, Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011. Disponível em: www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/downloads/valterlindasilvasantos.pdf. Acesso em: ago. 2015.

TSUTYA, M. T. (2006). “Consumo de água”, Abastecimento de água. São Paulo – SP, 35-65p.

UNESCO. Água para um Mundo Sustentável. Sumário Executivo. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2015. Disponível em: www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf. Acesso em: ago. 2015.

VERÍSSIMO, C. F. S. Conflitos emergentes na gestão da água. Lisboa: 2010.

VIEIRA, V. P. P. B. Sustentabilidade do semiárido brasileiro: desafios e perspectivas. RBRH, v.7, n.4, p.105-112, out/dez. 2010.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 1996.