



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO**

**ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS NO
SERIDÓ DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**

Andréia Dias de Medeiros

Orientador: **Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima**

Co-orientador: **Prof. Dr. Diógenes Félix da Silva Costa (UFRN)**

**João Pessoa-PB
2017**

ANDRÉIA DIAS DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS NO
SERIDÓ DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG/UFPB), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: **Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima**

Co-orientador: **Prof. Dr. Diógenes Félix da Silva Costa (UFRN)**

**João Pessoa-PB
2017**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M488a Medeiros, Andréia Dias de.

ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS NO SERIDÓ
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE / Andréia Dias de
Medeiros. - João Pessoa, 2017.

101 f. : il.

Orientação: Eduardo Rodrigues Viana de Lima.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Semiárido; Recursos hídricos; Geotecnologias. I. de
Lima, Eduardo Rodrigues Viana. II. Título.

UFPB/BC

ANDRÉIA DIAS DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS NO
SERIDÓ DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Orientador

Prof. Dr. Pedro Costa Guedes Vianna
Membro Interno

Prof. Dr. Adriano Lima Troleis
Membro Externo (UFRN)

João Pessoa, 28 de Julho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus por me conceder a dom da vida para que eu conseguisse conquistar tudo que almejei até aqui, peço a ele sabedoria para conquistar muito mais, e sou extremamente grata por nunca ter me sentido desamparada ao longo dessa caminhada.

Agradeço com o amor maior que existe dentro de mim a minha mãe, Dona Irene, por ter sido essa mulher guerreira e forte, que me educou sozinha sem medir esforços para sempre me dar tudo que tivesse ao seu alcance, me protegendo e me dando sempre o apoio necessário ao longo da minha vida para que eu conseguisse alcançar todos os meus objetivos, mãe eu devo à senhora ser essa mulher forte e determinada, e me sinto a pessoa mais privilegiada do mundo em tê-la como mãe, a senhora é tudo pra mim, minha base, meu alicerce, TE AMO.

Ao meu Orientador, Professor Eduardo Rodrigues Viana de Lima, agradeço por ter acreditado na minha pesquisa, e ter me dado total apoio nas minhas decisões, como também agradeço por toda atenção concedida, procurando sempre melhorar meu trabalho, suas contribuições foram primordiais para a construção e amadurecimento deste trabalho, saibas que tenho muita admiração pelo ser humano que o senhor é, e te dedico uma imensa gratidão.

Gostaria também de agradecer ao Professor Diógenes Félix da Silva Costa, pela orientação e parceria neste trabalho e por todas as oportunidades que me deu ao longo da minha trajetória acadêmica, ainda agradeço por todos os ensinamentos, críticas e puxões de orelha, que me ajudaram no meu amadurecimento profissional e pessoal, sou muito grata por tudo que fez por mim, muito obrigada.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa, ao Laboratório de Monitoramento Ambiental – LAMA (UFRN/CERES – Campus de Caicó), pelo apoio logístico e instrumental e a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) pela disponibilização dos dados.

Agradeço aos colegas do Grupo de pesquisa Trópikos, em especial aos meus amigos Jânio e Diêgo que me ajudaram sempre que precisei, meninos vocês são demais, quero que saibam que por vocês tenho um enorme carinho.

A minha amiga Silvana agradeço por essa amizade que construímos ao longo dessa jornada acadêmica e por ter paciência em me ouvir nas horas de aflição me dando sempre uma palavra de apoio, você é um ser de luz.

Agradeço a minha turma do mestrado em Geografia/UFPB de 2015, galera vocês são muito massa, nessa turma tive a oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas que me ensinaram a enxergar o mundo de uma maneira mais leve, vocês me ajudaram a evoluir como ser humano, esse agradecimento é dedicado especialmente para alguns amigos que levarei por resto da minha vida, como meu amigo Taynan que me aguentou desde o primeiro dia de aula como também na convivência diária ao dividirmos apartamento, obrigada por todas as risadas e momentos que vivemos juntos, espero que nossos caminhos se cruzem novamente nos próximos anos, te adoro galego enjoado, não posso deixar de falar também dos queridos Wandson e David vocês são mais que especiais, obrigada pela amizade meninos, me identifiquei com vocês desde o início, ao amigo Caio, obrigada pela parceria no estágio a docência e aos demais que não estão citados aqui saibam que cada um de vocês tem um cantinho reservado aqui no meu peito, e lhes desejo todo sucesso do mundo.

Agradeço aos amigos Djanni e Luiz Eduardo por estarem presentes em minha vida desde o início dessa jornada, sempre me apoiando, aconselhando e ajudando em tudo que precisei, muito obrigada meninos.

Aos professores do PPGG agradeço em especial a Eduardo Viana, Pedro Viana, Anieres, Bartolomeu, Antônio Carlos, Richardes, Marcelo e Magno, obrigada por todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos ao longo do curso, esses foram essenciais para a minha formação.

Agradeço as minhas amigas Janaina Rafia e Taiana por dividirem comigo os melhores e piores momentos da minha vida, meninas obrigada pelo companheirismo, sou grata em saber que posso contar com vocês para tudo que for preciso, sem dúvidas sei que tenho as melhores amigas do mundo, saibam que vocês conseguiram me ajudar a enfrentar essa jornada, e ainda quero dizer que mesmo que um dia o destino nos coloque em caminhos distintos, sempre levarei vocês dentro do meu coração.

Por fim agradeço a toda minha família, a todos os meus amigos e a todas as pessoas que passaram pela minha vida durante essa trajetória, enfim a todos que puderam contribuir de alguma maneira para a construção desse trabalho e realização desse sonho, muito obrigada.

RESUMO

A bacia hidrográfica é a unidade territorial de análise, planejamento e gerenciamento mais eficaz para caracterizar os recursos hídricos e minimizar os impactos e transtornos ambientais, a exemplo da poluição dos rios ou da diminuição da cobertura vegetal. O gerenciamento dos recursos hídricos é uma condição indispensável, embora insuficiente, para a superação da situação de subdesenvolvimento econômico e social da região semiárida do Nordeste brasileiro. Desse modo, objetivou-se neste trabalho avaliar como ocorre a gestão dos recursos hídricos dos reservatórios da sub-bacia Seridó-RN, com o auxílio das geotecnologias, como forma de identificar problemas e possíveis soluções. A partir do mapeamento feito a partir de imagens de satélite dos anos de 2009 e 2016, verificou-se a dimensão dos reservatórios, relacionando-os com os dados pluviométricos. Constatou-se uma redução acentuada na área do espelho d'água ocasionada principalmente pelas altas taxas de evaporação do semiárido, pelo longo período de estiagem e pelos múltiplos usos dos recursos hídricos. Na etapa de avaliação dos impactos das demandas pelo uso da água nesses reservatórios foi possível verificar que os mesmos têm múltiplos e conflitantes usos, inclusive irrigação; o monitoramento hidro-meteorológico e das demandas de água são imprecisos ou, muitas vezes, inexistentes; e que as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos ainda não estão adequadamente estabelecidas ou consolidadas. No mapeamento de uso e cobertura da terra se constatou que a ocupação indevida de qualquer recorte espacial gera implicações ambientais que podem, em um futuro próximo, acarretar problemas para as comunidades humanas. Foi identificado que a classe de uso com maior predominância na sub-bacia é a classe de Caatinga Aberta, ocupando 64,8% do total da área. Isto permite deduzir que a área estudada esteja passando por uma alta pressão antrópica. Em se tratando dos sistemas de abastecimento dos municípios localizados na área de estudo, evidenciou-se que praticamente todos os reservatórios que estão inseridos na sub-bacia entraram em colapso ou foram submetidos a severo racionamento, e as situações mais críticas de colapso ocorreram nos municípios de Acari e Caicó. Através dos dados analisados é possível inferir que são diversos os fatores que contribuíram para atual crise hídrica, tais como: econômicos, administrativos, políticos, sociais e ambientais. Por fim, salienta-se que apesar de contar com uma lei que implementa um sistema de gestão da água integrado, participativo e descentralizado, as ações coordenadas pelo governo do estado do Rio Grande do Norte, e pelos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, não têm sido capazes de evitar a grave ameaça de falta de água na região.

Palavras-chave: Semiárido; Recursos hídricos; Geotecnologias.

ABSTRACT

The river basin is used as the most effective territorial unit for analysis, planning and management to characterize water resources, minimize impacts and recover environmental disturbances, such as pollution of river tributaries or reduction of vegetation cover. The management of these scarce water resources is an indispensable but insufficient condition for overcoming the situation of economic and social underdevelopment in the semi-arid region of the Brazilian Northeast. The objective of this study was to evaluate the management of the water resources of the reservoirs of the Seridó-RN Sub-basin, with the help of geotechnologies, as a way of identifying problems and possible solutions. From the mapping of satellite images of the years (2009 and 2016), the size of the area of the reservoirs in hectares was verified, relating them to the rainfall data. It was observed a marked reduction in the area of the water mirror caused mainly by the high rates of evaporation of the semiarid, the long drought period and the multiple uses of the water resources. At the stage of assessing the impacts of the demands for the use of water in these reservoirs, it was possible to verify that these reservoirs in the semiarid have multiple and conflicting uses, including irrigation; Meteorological monitoring and water demands are inaccurate or often non-existent; And another aspect is that the institutions responsible for the management of water resources are not yet adequately established or consolidated. In the mapping of land use and land cover it has been found that the undue occupation of any spatial cliff creates environmental implications that may, in the near future, cause problems for human communities. It was identified that the class of use with greater predominance in the sub-basin is the class of Open Caatinga occupying 64.8% of the total area, this allows us to deduce that the studied area presents a spatial cut that is passing through stages of environmental pressure . When it comes to the supply systems of these municipalities to which the reservoirs are located, it has been shown that practically all the reservoirs that are inserted in the sub-basin have collapsed or were subjected to severe rationing, where the most critical situations of collapse occurred In the municipalities of Acari and Caicó. Through the data analyzed it is possible to infer that there are several factors that contributed to the current water crisis, such as: economic, administrative, political, social and environmental. Finally, we emphasize that despite having a law that implements an integrated, participatory and decentralized water management system, the actions coordinated by the state government of Rio Grande do Norte, and the bodies responsible for water resources management have not been able to Serious threat of water shortages in the Region.

Keywords: Semiarid; Water resources; Geotechnology.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 Situação volumétrica atual dos reservatórios.....	18
Quadro 02 Áreas em hectares dos reservatórios (2009-2016).....	58
Quadro 03 Esquema DPSIR.....	63
Quadro 04 Ranking populacional dos Municípios da Sub-bacia Seridó-RN.....	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Localização área de estudo.....	15
Figura 02: Localização dos reservatórios.....	17
Figura 03 Gráfico de Evolução Volumétrica do Boqueirão.....	18
Figura 04 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude de Cruzeta.....	19
Figura 05 Gráfico de Evolução Volumétrica do Marechal Dutra.....	19
Figura 06 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude Sabugi.....	19
Figura 07 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude Itans.....	20
Figura 08 Gráfico de Evolução Volumétrica da Passagem das Traíras.....	20
Figura 09 Gráfico de Evolução Volumétrica do Esquicho.....	20
Figura 10 Mapa de localização da Região Semiárida Brasileira.....	27
Figura 11 Mapa do índice de seca na região nordeste do Brasil.....	42
Figura 12 Esquema de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	48
Figura 13 Representação dos componentes do quadro DPSIR e suas interações.....	55
Figura 14 Gráfico de Pluviosidade (2009-2016).....	57
Figura 15 Gráfico de área em hectares dos reservatórios (2009-2016).....	58
Figura 16 Mapa Multitemporal de variação do espelho d'água dos principais reservatórios.....	59
Figura 17 Registro fotográfico dos principais reservatórios da sub-bacia Seridó.....	61
Figura 18 Registro fotográfico dos principais Drivers da sub-bacia Seridó.....	64
Figura 19 Mapa de Uso e ocupação da terra da sub-bacia Seridó.....	67
Figura 20 Gráfico com classes de uso e ocupação da terra da sub-bacia Seridó.....	67
Figura 21 Mapa Altimétrico da sub-bacia Seridó.....	69
Figura 22 Registro fotográfico das principais classes de uso da terra da sub-bacia Seridó.....	70
Figura 23 Mapa de grupos da população dos Municípios.....	75
Figura 24 Mapa de população abastecida na sub-bacia Seridó.....	77
Figura 25 Mapa da atual situação de abastecimento da sub-bacia Seridó.....	79

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Caracterização da área de estudo	13
1.2 Descrição dos reservatórios	16
1.3 Objetivos	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Estudos em bacias hidrográficas	21
2.2 Bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento	24
2.3 Semiárido Brasileiro	26
2.4 Recursos Hídricos	29
2.5 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil	32
2.6 Ordenamento territorial em Bacias Hidrográficas	38
2.7 Estiagem e seca	39
2.8 Importância da açudagem no semiárido	42
2.9 Açudagem no Nordeste do Brasil	44
2.10 Geoprocessamento e SIG	46
2.11 Sistema de Informações de Recursos Hídricos	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 Mapeamento da dinâmica multitemporal de variação do espelho d'água dos principais reservatórios de abastecimento na sub-bacia Seridó	57
4.2 Impactos das demandas pelo uso da água nos principais reservatórios da sub-bacia Seridó	62
4.3 Mapeamento do Uso e cobertura da terra na sub-bacia Seridó.....	66
4.4 A crise hídrica nos municípios abastecidos pelos principais reservatórios da sub-bacia Seridó.....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS	87

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são abordadas como unidades de gestão dos recursos hídricos, uma vez que as alterações de seus componentes (e. g. cobertura vegetal, solos, relevo, etc.) terão reflexos na drenagem e, conseqüentemente, na qualidade da água (Tundisi, 2008; Porto e Laina Porto, 2008; Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008; Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2011).

No Brasil, a bacia hidrográfica é legalmente adotada como uma unidade de gestão dos recursos hídricos e este tratamento se dá através da Política Nacional de Recursos Hídricos – (PNRH – Lei n° 9.433/1997) (BRASIL, 2015). As bacias ainda podem ser divididas em unidades menores, denominadas de sub-bacias e microbacias. Para o termo sub-bacia uma das conceituações diz que esta pode ser considerada como área de drenagem dos tributários do curso d'água principal.

Nessa perspectiva, as bacias hidrográficas já vêm sendo alvo de planos de gerenciamento e dos mais variados estudos acerca de seus condicionantes naturais, vulnerabilidades e gerenciamento (Tundisi et al., 2008; Horn e Silveira, 2015; Pereira Neto e Fernandes, 2016), e não são escassos os estudos onde as proposições teóricas sobre gerenciamento de recursos hídricos são aplicadas em sub-bacias hidrográficas (Mendonça, 1999; Paz et al., 2008; Aguiar et al., 2015).

Nesse contexto se insere a região semiárida do Nordeste brasileiro, que está numa situação de vulnerabilidade devido à exploração desordenada dos recursos naturais, a partir de modelos de desenvolvimento impostos que desconsideram a realidade dos ecossistemas locais. A falta de equilíbrio no bioma caatinga é fruto de uma exploração que não se preocupou em conhecer e manter o ritmo natural dos ecossistemas locais.

Cabe salientar que a pressão antrópica na região semiárida tem sido intensa e desordenada desde o início da colonização. Sendo assim, deve-se ter muito claro que na perspectiva da convivência não é o ambiente natural que deve passar por modificações para haver as atividades produtivas, mas que estas atividades sejam apropriadas e adaptadas de acordo com cada ambiente.

Enfatiza-se ainda o fato que a região semiárida tem sofrido, historicamente, e de forma contínua, os efeitos de frequentes e prolongadas estiagens, com sérias conseqüências para a sua população. As causas e fatores são bastante conhecidos, mas ainda há necessidade

de políticas públicas consistentes e bem estruturadas para o enfrentamento dessa problemática. O gerenciamento desses escassos recursos hídricos é uma condição indispensável, embora insuficiente, para a superação da situação de subdesenvolvimento econômico e social da região semiárida do Nordeste brasileiro (CIRILO et al., 2008).

A sub-bacia hidrográfica do Rio Seridó-RN, alvo desta pesquisa, se localiza no semiárido brasileiro, e há anos vem passando por um uso intensivo, através de atividades antrópicas relacionadas principalmente com a agricultura, desde a década de 80, o que interfere diretamente em sua dinâmica natural. Este fato pode ocasionar desequilíbrios ambientais, desencadeando processos de degradação dos solos e águas, entre outros fatores. Esses processos acabam por interferir direta ou indiretamente nas questões econômicas e sociais das populações locais.

Diante desse cenário de degradação ambiental, surge um fator preocupante que é o risco à desertificação que ameaça o semiárido brasileiro, decorrente, sobretudo, das ações antrópicas desencadeadas pelo uso/ocupação das terras de forma inadequada. Esta ação vem sendo praticada ao longo dos anos nessa região sem o devido manejo, de modo que surge assim a necessidade de estudos direcionados a essa temática para que sejam tomadas iniciativas por parte do poder público, que venham a subsidiar o ordenamento territorial e minimizar os riscos à desertificação (MELLO et al., 2010).

Dessa forma, no contexto de uma sub-bacia do semiárido, onde as secas periódicas afetam o equilíbrio socioambiental, são insuficientes as políticas públicas de convivência com os efeitos desse fenômeno (Melo, et al., 2010), e as atividades econômicas geralmente costumam não ser acompanhadas de um planejamento de uso das terras e dos recursos hídricos, que são fundamentais para elaboração de ações mitigadoras.

Portanto, justifica-se que ocorra uma mudança de concepção sobre as potencialidades e limitações físico-climáticas e ambientais da região semiárida, em especial na Sub-bacia Seridó - RN. E para que essas mudanças não sejam centralizadas apenas em investimento de tecnologias adaptadas, é necessário que se invista em mudanças culturais profundas, por meio da educação, e que se promova o desenvolvimento socioambiental sustentável.

Desse modo, propõe-se que, juntamente com as tecnologias adaptadas, sejam implantadas estratégias e ações direcionadas para a gestão dos recursos hídricos, em especial nos reservatórios, que auxiliem na análise da eficácia das políticas públicas direcionadas ao semiárido e que possam subsidiar a construção de novas políticas geradoras da sustentabilidade socioambiental nessa área, com a participação das comunidades locais.

A hipótese levantada neste trabalho é a de que a gestão dos recursos hídricos na sub-bacia Seridó não tem sido eficiente a ponto de evitar que problemas de abastecimento de água ocorram por conta da longa estiagem que vem ocorrendo nos últimos anos.

Neste trabalho considera-se a ideia de que estudos com o uso das geotecnologias podem contribuir para gestão dos recursos hídricos na sub-bacia Seridó, pois esses estudos são amplos em todo o mundo. Sendo assim, essas ferramentas são bastante aplicadas em estudos de bacias hidrográficas em virtude de sua capacidade de armazenamento, tratamento e análise de dados (Lang e Blaschke, 2009), sendo aplicável em estudos relacionados à gestão de recursos hídricos.

A temática dessa dissertação aborda questões hídricas e propõe estudar gestão das águas de reservatórios no Seridó do Estado do Rio Grande do Norte. Levando em consideração que as bacias hidrográficas do semiárido são constituídas por rios intermitentes, com trechos que secam nos períodos de pouca chuva, optou-se por utilizar como escala de análise os principais reservatórios da sub-bacia no Estado do Rio Grande do Norte, regionalmente conhecidos como açudes: Boqueirão de Parelhas, Cruzeta, Esguicho, Itans, Marechal Dutra, Passagem das Traíras e Sabugi. Estes mananciais exercem uma função especial na economia local e estadual, sobretudo por abastecer diversos municípios, como Caicó, que se destaca por ser um dos principais núcleos urbanos da região do Seridó Potiguar.

Sendo assim, para se atingir todos os objetivos propostos neste trabalho reuniu-se um acervo cartográfico preliminar da área, e em seguida foi construído um banco de dados espaciais em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com a malha cartográfica da sub-bacia, para assim fazer a delimitação da mesma. Através desses dados foi possível produzir mapas temáticos por meio de imagens de satélite e cartas topográficas, determinando-se as áreas prioritárias para o planejamento ambiental e assim subsidiar propostas para o ordenamento territorial da área. Pretende-se que os resultados alcançados possam subsidiar ações de planejamento ambiental, gerenciamento dos reservatórios e ordenamento territorial da área, além servir de material consultivo para elaboração de trabalhos mais especializados na área analisada.

1.1 Caracterização da área de estudo

A área estudada é a sub-bacia hidrográfica do Rio Seridó, que está inserida no sistema de drenagem da bacia Piancó-Piranhas-Açu, localizada na região do semiárido

brasileiro, nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, nas regiões do Seridó potiguar e paraibano (Figura 01). Na área do Seridó potiguar, a bacia hidrográfica abrange 20 municípios e, no paraibano, outros 13 municípios, totalizando uma área de aproximadamente 10.386 Km² (BEZERRA JÚNIOR; SILVA, 2007).

Segundo a classificação de Köppen, o clima nesta região é o semiárido, muito quente, BSw'h', onde se verificam os seguintes parâmetros: B= clima seco e quente; S=sub árido; w'=estação chuvosa se atrasa para o outono; h'= temperatura do mês mais frio superior a 18°C, com duas estações distintas, sendo o período das secas e das chuvas, e temperatura pouco variável durante o ano tendo como média anual máxima 33 °C (NIMER, 1979).

A vegetação predominante na região é a Caatinga hiperxerófila arbustiva, de regime seco com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhado. É chamada também de caatinga subdesértica do Seridó, configurando-se como a vegetação mais seca dos dois Estados, com arbustos e árvores baixas, ralas e de xerofitismo mais acentuado. Nesses tipos de vegetação, as espécies mais encontradas são pereiro, facheiro, macambira, mandacaru, xique-xique e jurema-preta, com ocorrência de mofumbo e faveleira (VARELA FREIRE, 2000).

Em relação à pedologia, a área apresenta como solos principais: Luvissole Crômico e Neossolo Litólico eutrófico. O Luvissole Crômico é um solo de fertilidade natural média a alta, com textura arenosa/argilosa e média/argilosa, apresentando uma fase pedregosa, bem drenado, relativamente raso e muito susceptível à erosão. Já o Neossolo Litólico é um solo com fertilidade natural alta, pouco desenvolvido, raso e geralmente com até 50 cm de profundidade, a textura é arenosa e/ou média, com fase pedregosa e rochosa, muito erodido e acentuadamente drenado, sendo na maioria das vezes associado a afloramentos de rochas (MAIA, 2014).

O relevo é caracterizado como depressão sertaneja com terrenos baixos situados entre as partes altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi (MAIA, 2014). Os rios são de regime intermitente e/ou efêmero, que por vezes são perenizados através da construção de médios e grandes reservatórios hídricos (conhecidos regionalmente como açudes).

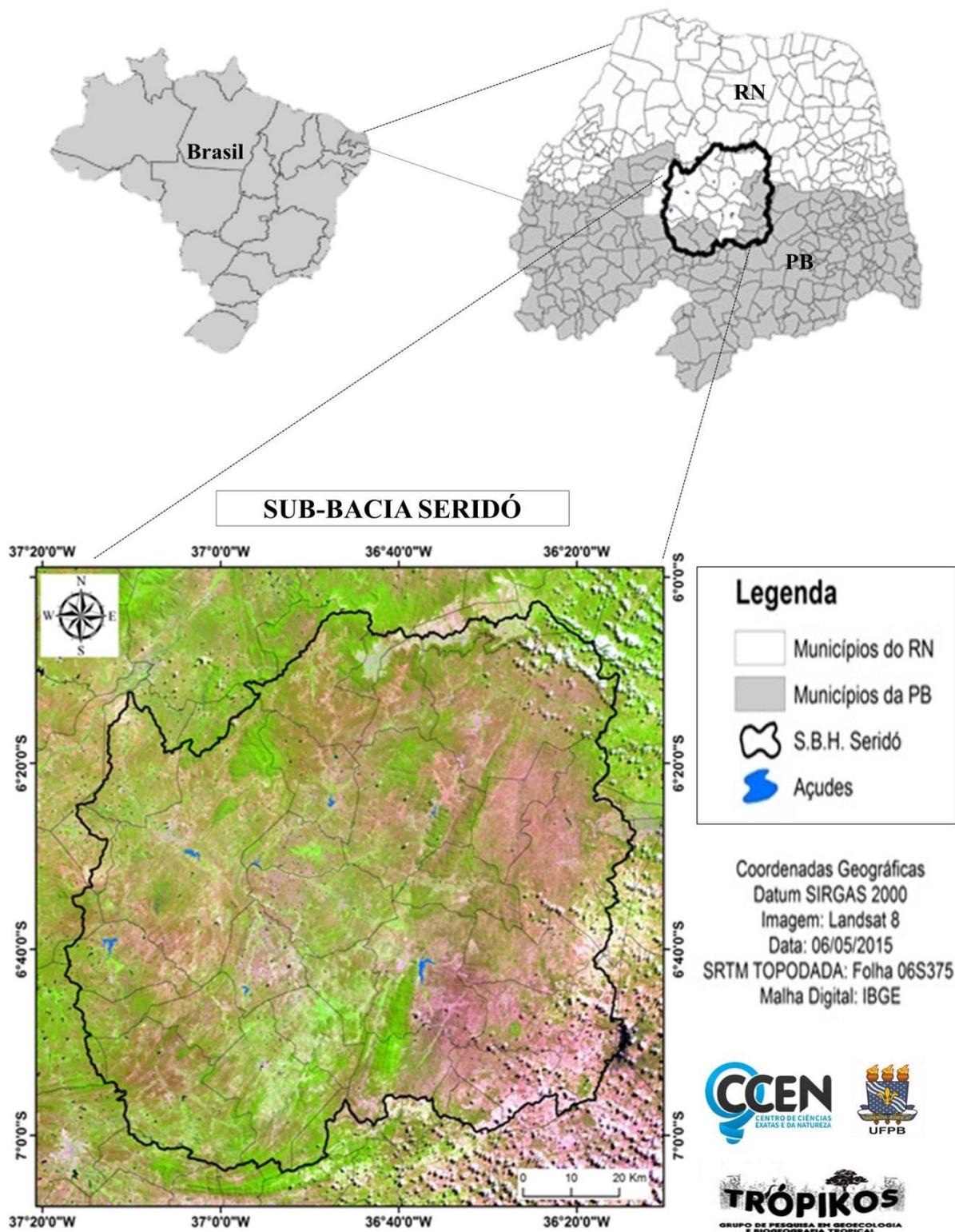


Figura-01: Localização da área de estudo
Fonte: Elaborado pela autora.

1.2 Descrição dos Reservatórios

No semiárido brasileiro, as redes de abastecimento público de água são supridas em sua maioria por mananciais superficiais (açudes), onde a oferta de água depende quase que unicamente da reposição dos acúmulos hídricos que escoam nos rios durante as curtas épocas chuvosas para suprir as demandas nos períodos de estiagem.

De acordo com Vieira (2003), a rede de drenagem do semiárido nordestino tem como principal característica o grande número de rios intermitentes, ou seja, que apresentam escoamento superficial apenas nos períodos chuvosos, passando a maior parte do ano totalmente seco, comprometendo o abastecimento de água.

Considerando o fato de essa região ter elevada escassez hídrica, torna-se necessária a acumulação das águas, de modo que uma das primeiras políticas públicas utilizadas para atender às necessidades hídricas e mitigar os problemas de estiagens prolongadas foi o sistema de armazenamento em açudes. Por esta razão, o semiárido nordestino é a região com o maior número de açudes construídos no Brasil.

Portanto, a análise adotada nesta pesquisa se deu em sete reservatórios da sub-bacia do Rio Seridó, conhecidos regionalmente como açudes: Boqueirão de Parelhas, Cruzeta, Esguicho, Itans, Marechal Dutra, Passagem das Traíras e Sabugi, que são responsáveis pelo abastecimento de diversos municípios da região do Seridó (Figura 02).

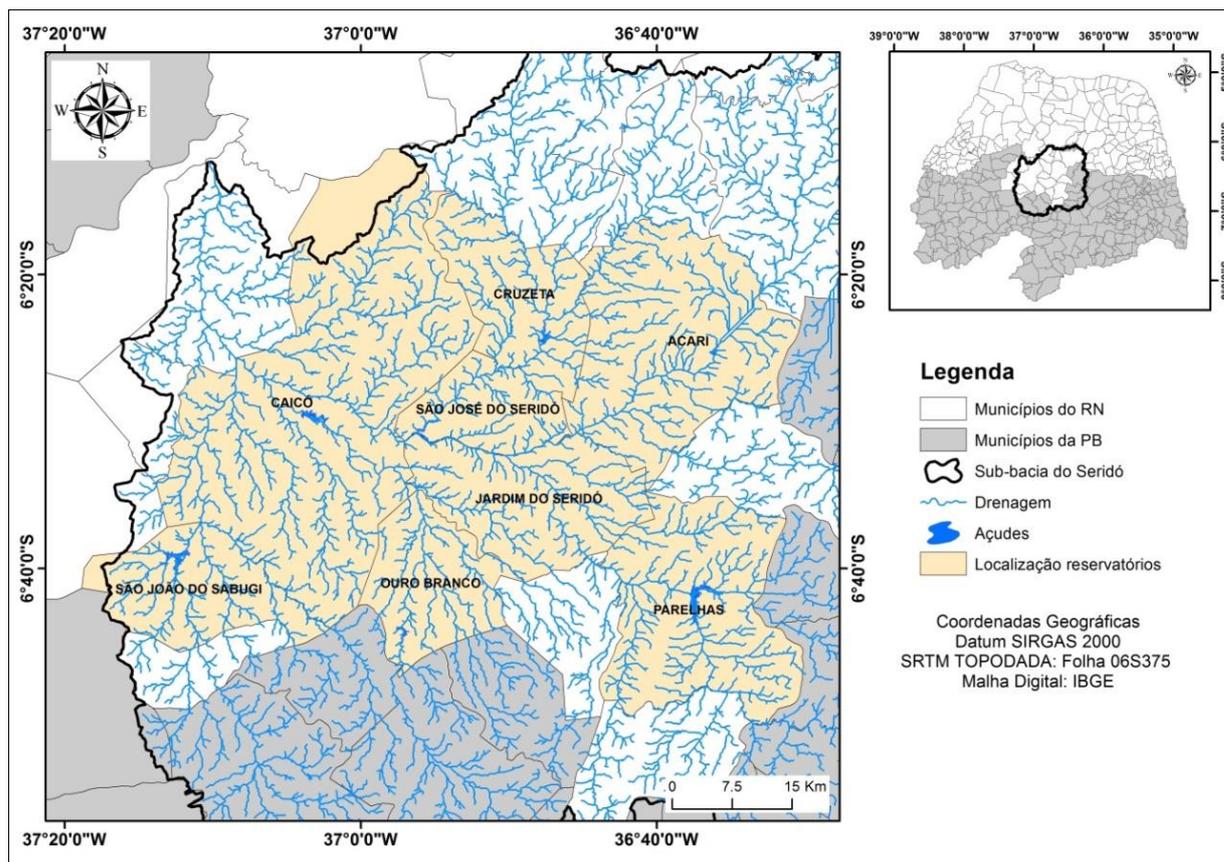


Figura-02: Localização dos reservatórios.
Fonte: Elaborado pela autora.

Atualmente esses reservatórios encontram-se com suas capacidades volumétricas abaixo dos 10%, com exceção do Boqueirão de Parelhas que está com 11,06% do seu volume. A seguir é apresentada, no Quadro 1, a situação volumétrica atual e os gráficos históricos da evolução de armazenamento dos açudes públicos mais importantes da sub-bacia do rio Seridó potiguar, com capacidade máxima de acumulação acima de 20.000.000 de m³, responsáveis pelo abastecimento das principais cidades da região nos últimos anos.

Quadro 01: Situação volumétrica atual dos reservatórios

Reservatório	Município	Área (Km ²)	Capacidade (m ³)	Volume Atual (m ³)	Data da Medição	Volume Atual (%)
Boqueirão	Parelhas	1.267	84.792	9.902	06/03/2017	11,68%
Cruzeta	Cruzeta	616,11	23.545	0,00	01/12/2016	0%
Esguicho	Ouro Branco	430,18	27.937	279.894	03/03/2017	1%
Itans	Caicó	1.340	81.750	1.388	03/03/2017	1,7%
Marechal Dutra	Acari	805,67	44.421	132.719	03/03/2017	0,3%
Passagem das Traíras	São José do Seridó	1.042	49.702	240.012	02/03/2017	0,48%
Sabugi	São João do Sabugi	1.260	65.334	7.887	22/02/2017	12,07%

Fonte: SEMARH, (2017).

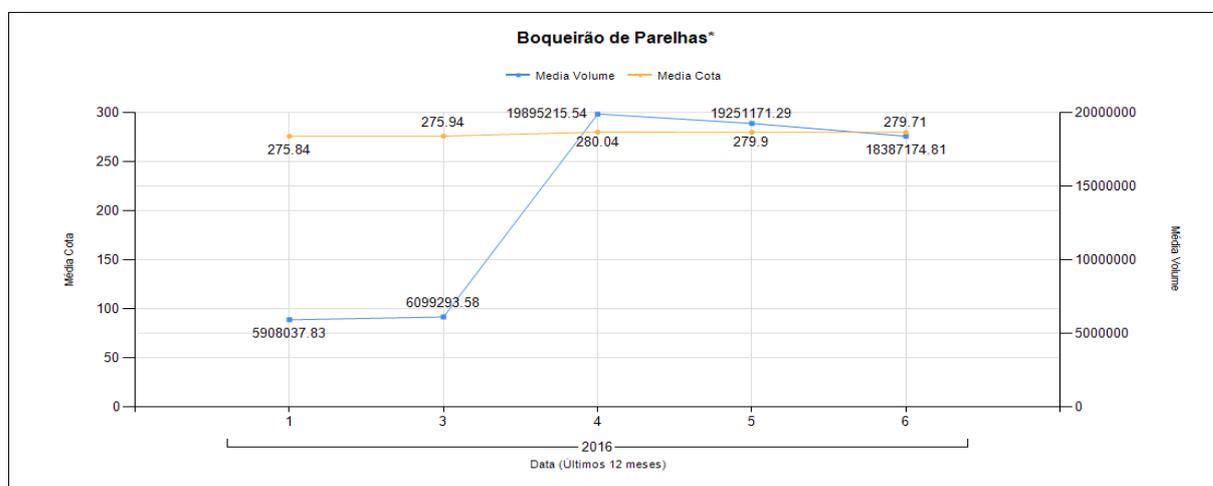


Figura-03 Gráfico de Evolução Volumétrica do Boqueirão
Fonte: SEMARH, (2016).

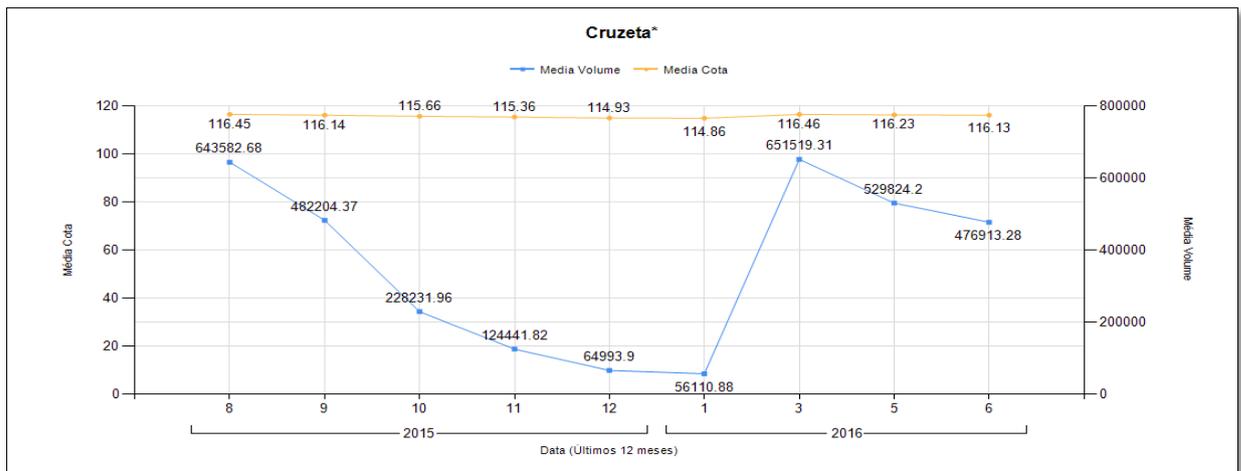


Figura-04 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude de Cruzeta
Fonte: SEMARH, (2016).

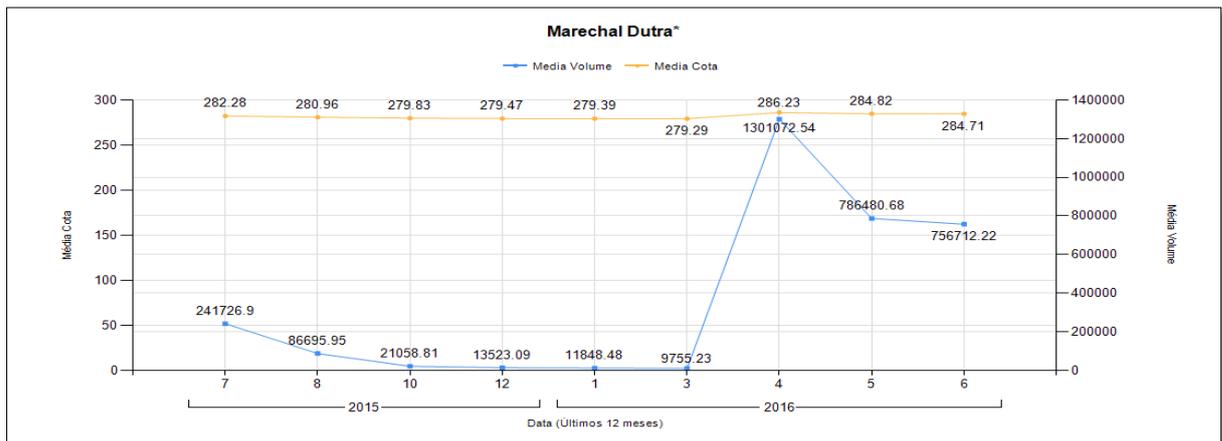


Figura-05 Gráfico de Evolução Volumétrica do Marechal Dutra
Fonte: SEMARH, (2016).

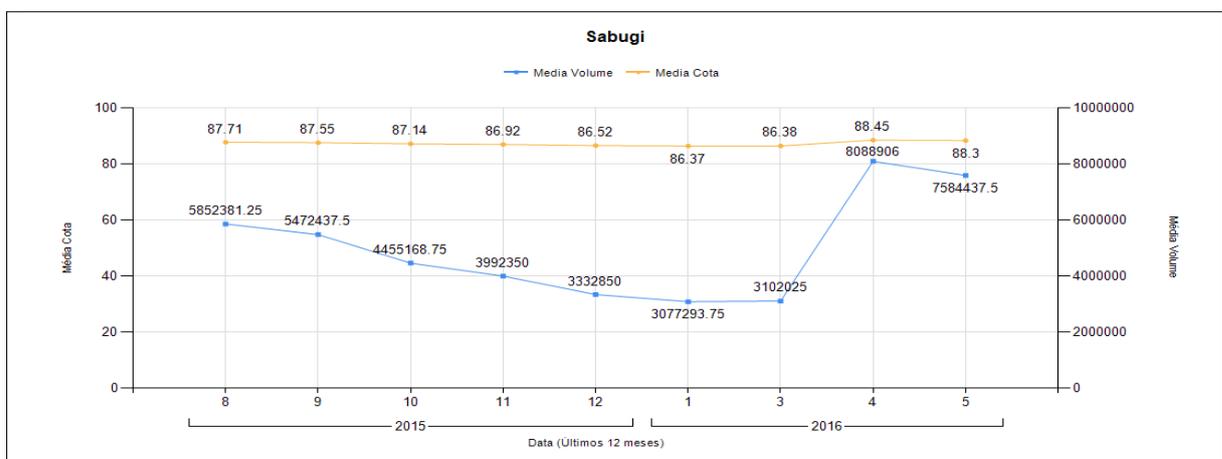


Figura-06 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude Sabugi
Fonte: SEMARH, (2016).

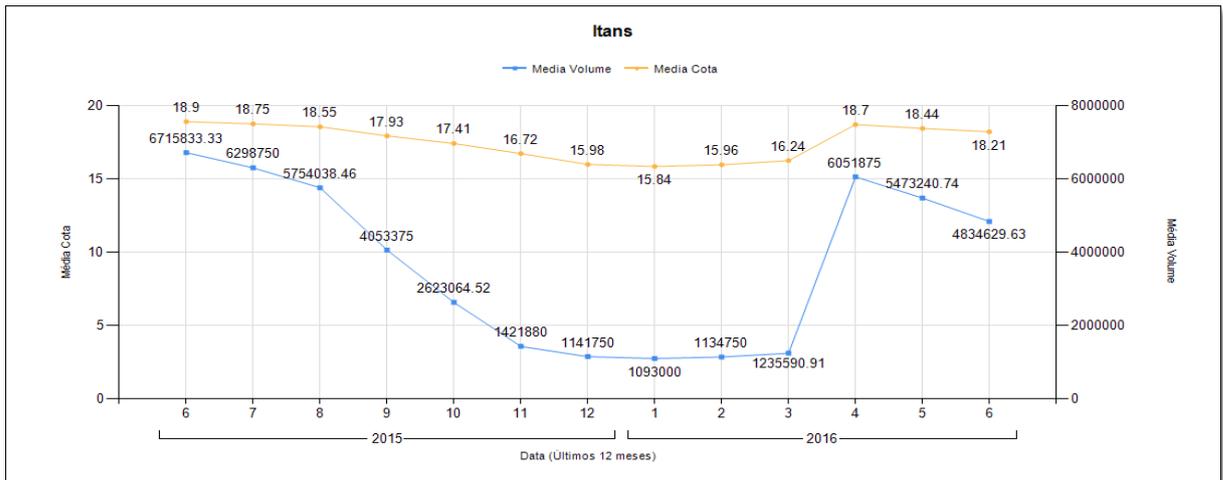


Figura-07 Gráfico de Evolução Volumétrica do Açude Itans
Fonte: SEMARH, (2016).

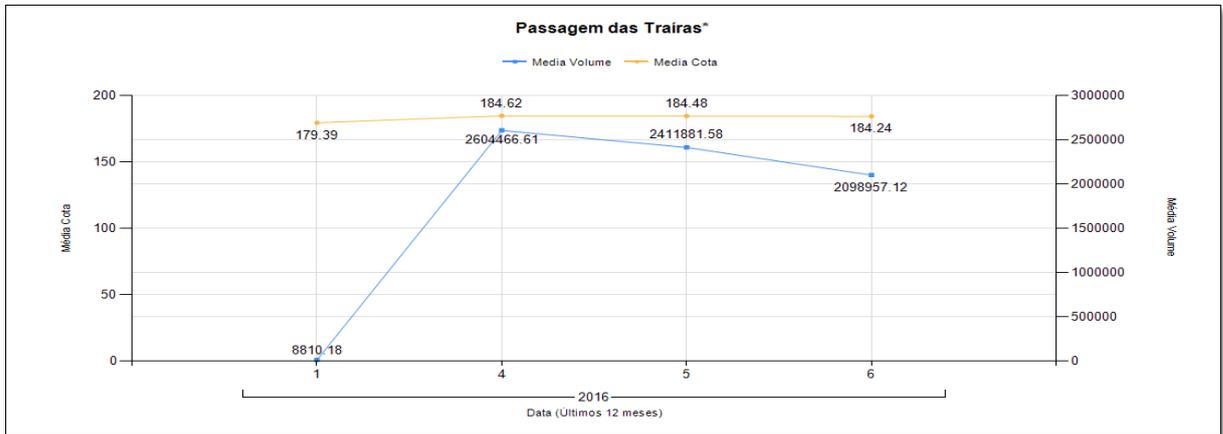


Figura-08 Gráfico de Evolução Volumétrica da Passagem das Traíras*
Fonte: SEMARH, (2016).

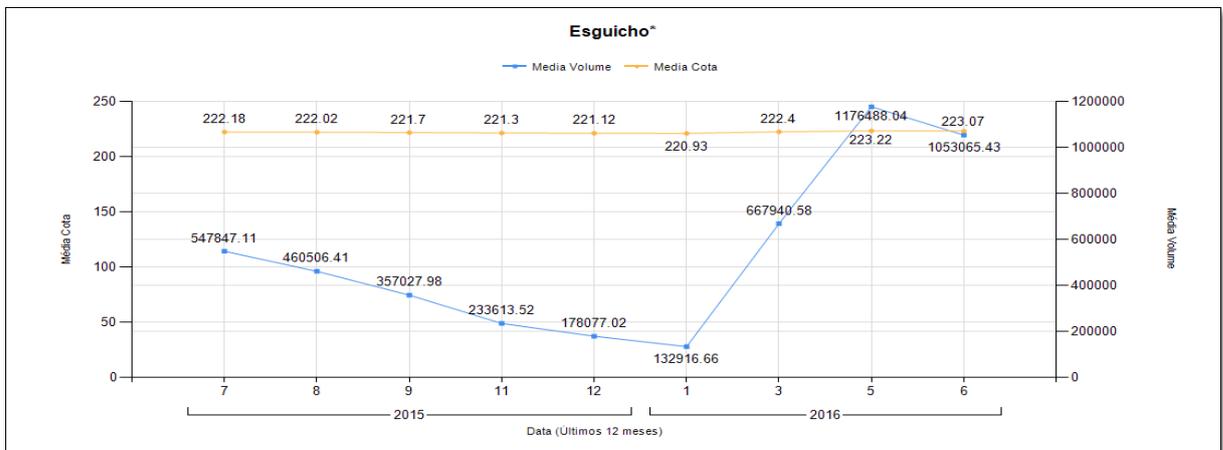


Figura-09 Gráfico de Evolução Volumétrica do Esquiço*
Fonte: SEMARH, (2016).

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

- Avaliar como ocorre a gestão das águas de reservatórios no Seridó do Estado do Rio Grande do Norte, com o auxílio das geotecnologias, como forma de identificar problemas e possíveis soluções.

Objetivos Específicos

- Analisar as políticas públicas relacionadas ao planejamento do uso dos recursos hídricos à luz da legislação federal do Brasil;
- Mapear a dinâmica multitemporal de variação do espelho d'água dos principais reservatórios de abastecimento na sub-bacia Seridó;
- Avaliar os impactos das demandas pelo uso da água nesses reservatórios;
- Espacializar os impactos, através de mapas temáticos, do uso e cobertura da terra na sub-bacia Seridó;
- Analisar a evolução do processo de abastecimento hídrico no período 2009-2016.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As referências bibliográficas comentadas a seguir têm a intenção de tornar nítidas as bases conceituais e teóricas que estruturam esta pesquisa, enfatizando a importância dos estudos ambientais em bacias hidrográficas, e os fundamentos do gerenciamento dos recursos hídricos.

A partir desta fundamentação teórica somam-se as referências bibliográficas existentes no sentido de contribuir para a elucidação das questões referentes ao estudo de bacias hidrográficas.

2.1 Estudos em bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma “unidade natural de análise da superfície terrestre, que possibilita visualizar mudanças antrópicas e naturais, sendo possível reconhecer e analisar as

inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua modelagem” (GUERRA, 2003).

Para Christofolletti (1980), a bacia hidrográfica pode ser mais bem definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus tributários, circunscritas e delimitadas por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente pelas vertentes abaixo formando os rios e riachos, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Portanto, torna-se necessário também uma breve discussão sobre os termos sub-bacia e microbacia hidrográfica, que se encontram na literatura técnico-científica, todavia apresentam especificidades não encontradas na conceituação apresentada para bacia hidrográfica, conforme comentado acima. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida.

Segundo Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Martins et al. (2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). Para Santana (2003), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor, de modo que cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Sendo assim, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos. Dentro dessas subdivisões da bacia, aparece também na literatura o termo microbacia. Uma série de conceitos vem sendo aplicados para a definição de microbacias, podendo ser adotados critérios como unidades de medida, hidrológicos e ecológicos (TEODORO et al., 2007).

O termo microbacia, embora tenha sido expandido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo o autor a sua substituição por sub-bacia hidrográfica (SANTANA, 2003). Já para Faustino (1996), a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, e várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km².

Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo varia entre 10 a 20.000 ha ou 0,1 km² a 200 km²).

Desse modo, a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em sub-bacias e microbacias permite a visualização de problemas difusos, tornando mais fácil identificar as

áreas onde ocorre a deteriorização dos recursos naturais, dos processos de degradação ambiental instalados e do grau de comprometimento da produção existente; além disso, tem sido considerada área territorial ideal para o planejamento integrado dos recursos naturais (ALVES SOBRINHO et al., 2010; PISSARRA et al., 2004).

Na percepção de Gomes (2005), as bacias hidrográficas normalmente fazem parte de outras bacias de maior porte e assim sucessivamente, até as grandes bacias como do Rio Paraná, São Francisco e Amazonas. Sendo assim, a adoção do termo sub-bacia hidrográfica pode ser mais apropriado, haja vista que os critérios de definição quanto ao tamanho, são imprecisos.

Nesse sentido o autor explica que, por exemplo, a bacia hidrográfica da qual o Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) faz parte, é integrante de uma bacia maior, que engloba o município de Lavras em Minas Gerais; esta por sua vez, integra a bacia do Alto Rio Grande. A bacia do Alto Rio Grande é uma sub-bacia da bacia do Rio Grande, a qual possui sua seção de controle junto à sua afluência junto ao Rio Paranaíba, formando assim, o Rio Paraná, sendo, portanto, uma sub-bacia da Bacia do Rio Paraná. Observa-se que todos os pequenos corpos d'água que nascem na bacia da UFLA atingirão o oceano Atlântico, na seção de controle da Bacia do Rio da Prata, na Argentina (GOMES, 2005).

As bacias hidrográficas são instrumentos de análise que desencadeiam um grande interesse por parte dos cientistas, já que as mesmas são ricas em informações. Dentro desta unidade podem ser observados diversos aspectos indicadores, como sua forma, grau de conservação e possibilidades de sua exploração pelo homem, tornando-a um excelente objeto para desenvolver projetos relacionados ao planejamento ambiental (GHEZZI, 2003).

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode mitigar ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica indiscriminada, podendo orientar para que não haja ocupação humana em áreas destinadas à preservação ambiental, e isto pode ajudar bastante no processo de conservação dos recursos naturais (GUERRA; CUNHA, 2003).

Nesse contexto, a análise e estudo das bacias hidrográficas na Geografia, têm por finalidade atender as relações das sociedades humanas de um determinado território (espaço físico) com o meio natural (recurso à sobrevivência humana) (GUERRA; CUNHA, 2003).

Torna-se evidente a importância dos sistemas fluviais, já que estes servem para subsidiar as mais diversas necessidades humanas, tais como: abastecimento, lazer, irrigação, produção de alimentos, entre outros. Porém, são crescentes os índices de degradação

próximos às nascentes d'água, de modo que este fato vem desencadeando certa preocupação proveniente da necessidade da gestão e planejamento, que venham a minimizar os possíveis impactos ambientais (PEREIRA NETO, 2013).

Nessa questão de preservação e manutenção dos recursos hídricos, a Geografia traz sua contribuição ao estudo desenvolvido sobre o meio ambiente, mediante pesquisas que se realizam sobre o prisma da análise integrada, considerando a ação antrópica sobre o ambiente natural, sendo que esta abordagem é importante no diagnóstico para formulação dos planos de bacias (SANTOS, 2005).

No semiárido brasileiro esta preocupação com a gestão dos recursos hídricos está ligada ao drama de quem ainda sofre com a falta ou escassez dos recursos hídricos. Porém, outro fator preocupante é a desorganização dos centros urbanos desta região que sofrem com problemas de poluição, risco de alagamentos e/ou deslizamentos às margens de seus principais rios, que são provenientes e/ou intensificados com a falta de gestão e planejamento urbano e ambiental (PEREIRA NETO, 2013).

2.2 Bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento

A bacia hidrográfica é utilizada como unidade territorial de análise, planejamento e gerenciamento mais eficaz para caracterizar os recursos hídricos, minimizar os impactos e recuperar os transtornos ambientais, tais como poluição de afluentes de rios ou diminuição da mata ciliar (SANTOS, 2004). As análises são geralmente efetuadas em unidades denominadas de bacias hidrográficas ou de drenagem, caracterizando uma parte da drenagem de um determinado local (GUERRA, 1999).

Nesse contexto, Santos (2004) afirma que a bacia hidrográfica se constitui um sistema bem delimitado geograficamente, onde interagem a dimensão sócio-político-econômica da sociedade e a dimensão ambiental, nas quais estão presentes os recursos naturais, bem como as trocas (*input* e *output*) entre esses sistemas.

Para Guerra; Cunha (2003), a década de 1990 foi marcada pelo aumento da produção científica na área ambiental, principalmente relacionada ao uso e qualidade da água. Desse modo, a sociedade passou a ter conscientização sobre a importância dos recursos hídricos, e com isto criou-se um maior interesse no desenvolvimento de pesquisas neste âmbito, onde foram criadas leis, em âmbito federal, estadual e municipal, para que fosse realizada a regulamentação do uso dos recursos hídricos.

Segundo Novaes et al. (2000), a concepção de bacia hidrográfica como unidade de análise, planejamento e gerenciamento se consolidou a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992. As discussões nessa Conferência resultaram na aprovação da Agenda 21, documento que consagra os mais elevados princípios de defesa da biodiversidade e dos recursos naturais da Terra.

Porém, mesmo antes dessa conferência, já haviam alguns autores que consideravam a bacia hidrográfica como unidade de análise e produziam estudos dirigidos nessa temática, dentre eles, Christofolletti (1980), que afirma que “os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante e que a análise da rede hidrográfica pode levar à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos d’água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre”.

De acordo com Botelho (2011), os estudos que utilizam a bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambiental, têm crescido nos últimos anos. Pois nela é possível se avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico, representado pela bacia de drenagem (GUERRA; CUNHA, 2003).

Para Santos (2004), no planejamento, a tomada de decisões mostra-se como fator de suma importância, e essa deve ser baseada em análise socioambiental das áreas de estudo, para assim se poder identificar e apresentar o uso mais adequado dos recursos naturais. Para o planejamento de uma bacia hidrográfica, muito além dos usos dos seus recursos hídricos, analisa-se e planeja-se seu potencial hidrológico, geológico, florístico, turístico, de conservação e de produção, ou seja, todo conjunto potencial que a bacia oferece bem como suas fragilidades normalmente advindas dos danos ocorridos pelas ações antrópicas a partir dos usos desordenados do solo (PADILHA, 2008).

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode mitigar ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica indiscriminada, podendo orientar para que não haja ocupação humana em áreas destinadas à preservação ambiental. Isto pode ajudar bastante no processo de conservação dos recursos naturais (GUERRA, 1999).

Dessa maneira, a bacia hidrográfica torna-se a unidade ideal para se efetuar trabalhos de planejamento de um modo geral, fornecendo subsídios para que sejam efetuados diversos estudos ambientais (GHEZZI, 2003).

2.3 Semiárido Brasileiro

A região semiárida do Brasil é constituída por uma área de 969.589,4 Km², significando uma décima parte do território brasileiro, coberta pelas caatingas, abrangendo, praticamente, toda a área dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte; quase todo o sudeste do estado do Piauí; a maior parte dos estados da Paraíba, de Pernambuco, de Alagoas e de Sergipe; a maior parte de todo o interior da Bahia e até mesmo uma apreciável porção do extremo norte do estado de Minas Gerais, e apresenta-se como o mais populoso do planeta (MALVEZZI, 2007).

Apresenta reduzido volume de escoamento superficial em sua rede de drenagem, apresentando coeficientes de escoamento muito baixos, variando entre 0,06 e 0,26, com média aproximada de 0,12. Segundo Vieira (2003), o déficit de evapotranspiração real em relação à evapotranspiração potencial varia de 50 mm, até valores superiores a 1.000 mm, caracterizando alto índice de aridez.

Essas áreas são caracterizadas, de modo geral, pela escassez hídrica, prevalecendo o clima BSh de Köppen, ou seja, semiárido muito quente com temperatura média anual variando de 24 a 26°C (VARELA-FREIRE, 2000), sendo marcado pela deficiência hídrica com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas numa média de 750mm/ano (MALVEZZI, 2007; SILVA; TABARELLI, 2004) e umidade relativa do ar média em torno de 50% (MOURA; SCHLINDWEIN, 2009); com subsolo constituído por 70% de rochas cristalinas; com compartimentação geomorfológica formada por solos rasos, com predomínio de rochas cristalinas.

O bioma Caatinga existente nesta região (VARELA-FREIRE, 2000), corresponde a 11% do território nacional, e é composto por formações xerófilas, lenhosas, decíduais, em geral espinhosas, com presença de plantas suculentas, variando do padrão arbóreo arbustivo e com extrato herbáceo estacional, estendendo-se de 2°54' a 17°21'S, cobrindo aproximadamente 800.000km² do Nordeste brasileiro (SILVA; SANTOS; TABARELLI, 2008), com considerável número de espécies endêmicas, não podendo ser considerado como pobre em diversidade (CASTELLETTI et al., 2008).

A área de domínio do semiárido brasileiro (Figura10), também conhecida como a grande região seca dos sertões nordestinos, é, segundo Ab'Sáber (2007), a mais homogênea delas do ponto de vista fisiográfico, ecológico e social. O semiárido brasileiro é o maior do mundo em termos de extensão e de densidade demográfica, sendo assim uma das regiões

semiáridas mais povoadas entre todas as terras secas existentes nos trópicos ou entre os trópicos.

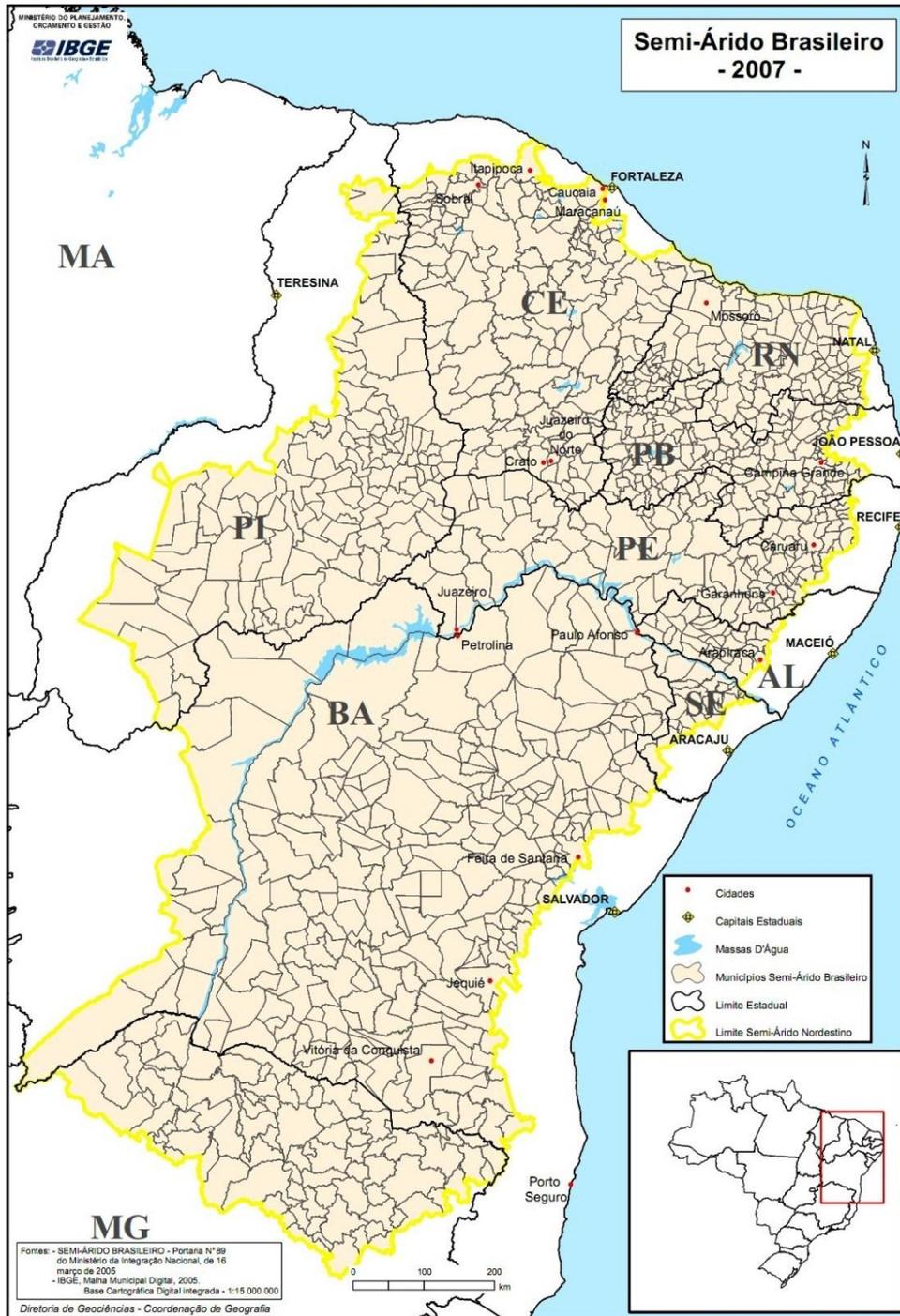


Figura 10: Mapa de localização da região semiárida brasileira
Fonte: IBGE (2012).

São diversos os fatos que respondem pela originalidade fisiográfica, ecológica e social dos sertões secos, região paradoxal em relação aos demais tipos de espaços geográficos do mundo subdesenvolvido. O grau de diferenciação de seus espaços econômicos e sociais é inegavelmente baixo. Por outro lado, é uma região sob intervenção, onde o planejamento estatal define projetos e incentivos econômicos de alcance desigual, mediante programas incompletos e desintegrados de desenvolvimento regional intra e interregionais, e uma rede de açudes, com diferentes possibilidades de fornecimento de água para áreas irrigáveis de planícies de inundação (AB'SABER, 2007).

Souza (2000) destaca que o semiárido brasileiro apresenta características peculiares em relação a outras regiões do país, tais como: variabilidade interanual da precipitação, devido à influência de fenômenos de grande escala resultantes da interação entre a atmosfera e os oceanos tropicais; concentração de precipitação em períodos de 2 a 5 meses, com alto grau de variabilidade espacial e temporal em suas meso-regiões; peculiaridades geológicas, com áreas extensas com recobrimento do cristalino, às vezes aflorando à superfície; onde os solos possuem baixa capacidade de armazenamento de água, entre outros aspectos.

Devido esses e outros fatores, essa região vem sofrendo o processo de desertificação que, segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), consiste na “degradação de terras nas regiões semiáridas e sub-úmidas secas, resultantes de atividades humanas e variações climáticas”. O processo de desertificação do semiárido brasileiro, além de estar relacionado com as condições climáticas desfavoráveis e a sua localização sob o clima tropical com baixos valores pluviométricos, estão associadas ao uso inadequado dos recursos naturais (desmatamento) e as práticas inapropriadas do uso do solo (sobrepastoreio e cultivo excessivo), que causam perda da cobertura vegetal nativa (PINTO, et al., 2009).

Desse modo, Brasileiro (2009) diz que o bioma caatinga vem despertando cada vez mais o interesse, principalmente, de pesquisadores e cientistas que trabalham com áreas em processo de desertificação, pois observa-se uma tendência à expansão de áreas desertificadas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2003), as áreas mais críticas estão localizadas no sertão nordestino, e são identificadas como os núcleos de desertificação de Irauçuba (CE), Cabrobó (PE), Seridó (RN) e Gilbués (PI), totalizando aproximadamente 19 mil km².

Para Montenegro; Montenegro (2012), a elevada predominância de cursos d'água temporários dificulta bastante a gestão dos recursos hídricos na região, como também a implementação de políticas públicas associadas, limitando as alocações e suprimentos.

Este cenário de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas, gera insegurança na tomada de decisão de políticas de recursos hídricos e de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico para a região necessitando, portanto, de medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, visando atender à demanda da população de forma permanente.

2.4 Recursos Hídricos

A água é um elemento essencial para existência da vida e suas múltiplas finalidades são essenciais para o desenvolvimento das populações e da economia. As primeiras grandes civilizações se desenvolveram às margens de rios, garantindo tanto o abastecimento de água como o seu desenvolvimento econômico e social (KOBAYAMA et al., 2008).

Para Rebouças (2006), a água é a substância mais abundante na terra, cobrindo cerca de 77% da sua superfície, distribuída entre oceanos e mares (381, 3 milhões de km²), calhas de rios e pântanos (17,5 milhões de km²), calotas polares e geleiras (16,3 milhões de km²) e lagos (2,1 milhões de Km²). O autor ainda ressalta que 97,5% do volume total de água da terra formam os oceanos e mares e somente 2,5% são de água doce.

Desse modo, sabendo-se que a água doce do planeta terra representa o menor percentual quando comparada com a água salobra e/ou salgada, e sendo esta essencial à vida das espécies, é de extrema importância que haja o gerenciamento dos recursos hídricos. Esta importância se dá em função da necessidade em se conhecer o estado desses recursos para avaliar os possíveis problemas de contaminação e poluição que possam afetar a qualidade e quantidade da água (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2003), a água é um insumo indispensável à produção, e também um recurso estratégico para o desenvolvimento econômico, ou seja, várias atividades dependem da água: a navegação, o turismo, a indústria, a agricultura e a geração de energia elétrica.

De acordo com Rebouças (2006) e Vianna (2002), a água é a substância mais abundante existente no planeta terra, sendo esse termo “água” referente ao elemento natural, desvinculado de qualquer uso ou utilização, diferentemente do termo “recurso hídrico”, que seria a consideração da água como bem econômico passível de utilização com tal fim. Assim, o autor ressalta que as águas para o abastecimento do consumo humano e de suas atividades socioeconômicas são captadas nos rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos.

Segundo Gondim-Filho et al. (2004), a demanda pelos recursos naturais vem aumentando cotidianamente, principalmente pelos recursos hídricos. Os fatores que tem contribuído para isso é aumento populacional e o desenvolvimento econômico. A água é considerada insumo básico da sobrevivência de todas as espécies e indicador do desenvolvimento de uma região, sendo necessária uma atenção especial no seu manejo, visando sua conservação em qualidade e quantidade. A gestão dos recursos hídricos refere-se então aos procedimentos relativos à tentativa de equacionar e otimizar os seus usos (SETTI et al., 2000).

Entre os diversos teóricos que elaboraram seus conceitos de gestão dos recursos hídricos, pode-se destacar o exposto por Lanna (2000), que considera a gestão como uma “atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes, para a preparação de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos”.

A água doce da terra que é renovável chega a ter um volume de cerca de 40.000 km³ anuais, correspondendo à diferença entre as precipitações atmosféricas e a evaporação de água sobre a superfície dos continentes. Entretanto, nem todo esse volume pode ser aproveitado, pois dois terços retornam rapidamente aos cursos de água e aos oceanos, após as grandes chuvas. O restante é absorvido pelo solo, armazenando-se nos aquíferos subterrâneos e, conseqüentemente, serão as principais fontes de alimentação dos cursos de água durante as estiagens (PEREIRA JÚNIOR, 2004).

Se for feita uma relação dos usos com a quantidade de água e a necessidade humana, verifica-se que até existe água suficiente, porém as variações temporais e espaciais existentes em algumas regiões a tornam vulneráveis, de modo que aproximadamente 460 milhões de pessoas (8% da população mundial) estão sujeitas à falta de água frequente e cerca de 25% vão para o mesmo caminho (TUCCI, 2005).

Dessa maneira, nota-se que ocorre a escassez desse recurso em algumas regiões do mundo, e de acordo com Pereira Júnior (op. cit), isso acontece devido a fatores como variações climáticas, excessiva concentração populacional e de atividades econômicas (com igual concentração de demanda por água), poluição de mananciais, alteração do regime de escoamento superficial e de realimentação de aquíferos subterrâneos, entre outros.

Para Christofidis (2002) todas as relações que se dão entre os vários usos da água com os demais recursos naturais, incidem no âmbito da bacia hidrográfica, e a partir dela são

compatibilizadas as demandas de água com as diversas atividades econômicas, o consumo humano e a proteção dos ecossistemas.

Entre os seres vivos que utilizam o recurso natural água, o homem é o único ser que com suas ações é capaz de modificar, em quantidade e qualidade, os recursos hídricos, desse modo o uso antrópico configura-se como um importante fator de impacto nos ecossistemas aquáticos (SILVA, 2006).

Em diversas regiões do Brasil os recursos hídricos encontram-se disponíveis em quantidades inferiores para atenderem a demanda de uso, e os corpos hídricos estão acima da capacidade de assimilação dos resíduos a eles lançados, o que vem dificultando o processo natural de depuração da água (op.cit).

Porém, observa-se que vem acontecendo no decorrer dos séculos uma crescente exploração e ampliação no desperdício da água, sem haver contrapartida no planejamento e gerenciamento de seu uso.

Para Tundisi (2014), esse fato se dá por diversos fatores, tais como o aumento da população mundial, a poluição provocada pelas atividades humanas, o consumo excessivo e o alto grau de desperdício de água que contribuiriam para reduzir ainda mais a disponibilidade desse recurso ambiental para o consumo humano, tornando a água um recurso estratégico, de uso e interesse coletivo.

Assim, com o aumento populacional há um aumento na demanda por água, mas o uso doméstico e urbano quando comparado aos demais usos se torna muito pequeno. É importante salientar que existem múltiplos usos para a água, como para beber; abastecimento doméstico; abastecimento industrial; agricultura; recreação e lazer; geração de energia; navegação; diluição de despejos; harmonia paisagística; preservação da fauna; preservação da flora; irrigação, entre outros (MARENGO, 2008).

Portanto, esta disponibilidade por água deve atender às necessidades básicas dos seres humanos preferencialmente, ocorrendo em conjunto com o atendimento às necessidades ambientais, ou seja, a disponibilidade deve atender a todos os seres, não somente humanos, mas também aos diversos ecossistemas (CHRISTOFIDIS, 2002).

Porém, em termos globais, a irrigação é a maior responsável pelas retiradas de água, o que equivale a 63% do consumo. Os usos industriais representam 21% e o uso doméstico e de serviços urbanos, cerca de 7,5%. Outros usos correspondem ao restante, com cerca de 9,5%. Sendo assim, os usos domésticos e urbanos se tornam modestos quando comparados ao

volume de água utilizada pela agricultura irrigada e pela indústria (PEREIRA JÚNIOR, op. cit).

Para Tucci (op. cit), um dos fatores que mais afeta a qualidade das águas é a expansão urbana, já que o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral faz com que a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura retorne aos rios contaminada.

Portanto, com isso surge um problema muito comum encontrado em lagos, rios, e reservatórios, a eutrofização cultural. Conforme a descrição feita por Tundisi (2003), esse processo é desencadeado pelo *input* de nutrientes (majoritariamente nitrogênio e fósforo) nos corpos d'água, “provenientes dos despejos de esgotos domésticos e industriais e da descarga de fertilizantes aplicados na agricultura” diretamente nos mananciais.

Esteves (2011) descreve a eutrofização artificial, cultural ou antrópica como um processo dinâmico, o qual resulta em profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio e no nível de produção do sistema, podendo ser considerado uma forma de poluição. O aumento da concentração de fosfatos desencadeia o crescimento da produção do fitoplâncton, ocasionando, muitas vezes, o *bloom* fitoplanctônico.

Já Rebouças (op. cit.) afirma que os problemas de escassez começam a ameaçar a sobrevivência das populações e do ambiente favorável à vida na terra a partir da década de 1950. Para o autor este fato se deu decorrente da expansão desordenada dos processos de urbanização e industrialização, além do crescimento desordenado das demandas e, sobretudo, processos de degradação da qualidade da água (ex. eutrofização natural).

Ao se verificar que a disponibilidade de água não é infinita, variando no tempo e no espaço, e que é afetada voluntária e involuntariamente por ações humanas, eis que surge a necessidade de gerenciar os recursos hídricos, na atual e para as futuras gerações (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

2.5 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

Devido o aumento das demandas por água, principalmente a partir do final do século 20, como também os inúmeros impactos quantitativos e qualitativos do uso desse recurso natural, devem ser repensadas algumas soluções que promovam e estimule o gerenciamento dos recursos hídricos tanto a nível local, regional, nacional, como internacional (TUNDISI, 2001).

Nesse sentido, o gerenciamento dos recursos hídricos de maneira correta constitui-se num dos maiores desafios deste século. São diversos os organismos mundiais e nacionais que cuidam das questões ambientais, especialmente da água. Esse recurso tem revelado uma crescente preocupação quanto ao seu uso racional face ao aumento excessivo do consumo global registrado nas últimas décadas (SILVA, 2006).

A gestão de recursos hídricos é definida como o conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a proteção, em conformidade com a legislação e normas pertinentes. Integra projetos e atividades com o objetivo de promover a recuperação e a preservação da qualidade e quantidade dos recursos das bacias hidrográficas brasileiras e atua na recuperação e preservação de nascentes, mananciais e cursos d'água em áreas urbanas (AESAs, 2011).

Para Leal (2001), o gerenciamento ou gestão dos recursos hídricos pode ser entendido como “sinônimo de uma ação humana de administrar, de controlar ou de utilizar alguma coisa para obter o máximo de benefício social por um período indefinido, para além da nossa história pessoal e única”. Segundo o autor, benefício social refere-se nesse contexto à qualidade de vida da população, representada pela satisfação de três conjuntos de necessidades: padrão de consumo, condição sócio-cultural e qualidade ambiental.

Ao se tratar da realidade brasileira verifica-se que a preocupação com gestão e/ou planejamento voltado para os recursos hídricos no Brasil teve seu surgimento a partir da década de 1930, no governo de Vargas, com o decreto do Código das Águas (ALMEIDA; PEREIRA, 2009; NASCIMENTO, 2006; ROSS; DEL PRETTE, 1998).

O Código das Águas assegurava o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida e permitia a todos o uso de quaisquer águas públicas, em conformidade com os regulamentos administrativos.

A derivação das águas públicas para os usos agrícola, industrial e higiene estava vinculada à celebração dos instrumentos jurídicos da concessão, no caso de utilidade pública, e da autorização nos demais casos. Em qualquer hipótese, a preferência de derivação era concedida para o abastecimento das populações (OLIVEIRA et al., 2013).

Mas segundo acrescenta Almeida e Pereira (2009), o Código das Águas se apresentou como sendo um documento bastante avançado para aquela época, porém que “não conseguiu ter seus dispositivos completamente implementados”.

Para esses autores essa afirmação se dava pelo fato de que o documento não atendia apenas à utilização das águas, mas também à ocupação das margens, à formação ou

desaparecimento de ilhas e aos efeitos das enchentes. Considera assim as águas pluviais e a navegação e prevê a necessidade administrativa para a agricultura e a indústria com o descarte de efluentes.

No Brasil o conjunto de órgãos e entidades que atuam na gestão dos recursos hídricos é chamado de Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Esta denominação teve origem através na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 21, inciso XIX, em que delegou à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e definir os critérios de outorga de direito dos recursos hídricos (FREITAS et al., 2012).

Com tal competência definida o texto constitucional teve por objetivo impulsionar a União, os estados, Distrito Federal e municípios articularem-se na gestão das águas. A efetivação desse preceito constitucional deu-se somente com a edição da Lei das Águas, Lei 9.433, em 08 de janeiro de 1997, quase uma década depois (HENKES, 2003).

A Lei das Águas instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SNGRH. Segundo Freitas (2000), a Lei 9.433 configura um marco que reflete uma profunda mudança valorativa no que se refere aos usos múltiplos da água, às prioridades desses usos, ao seu valor econômico, à sua finitude e à participação popular na sua gestão (FREITAS et al., 2012).

Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos: o Conselho Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais, cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; as Agências de Água e os Comitês de Bacia Hidrográfica.

Seus objetivos, de acordo com a referida lei, são: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; programar a PNRH; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; promover a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

A Lei Federal no. 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabeleceu os princípios para a gestão dos recursos hídricos no Brasil e definiu cinco instrumentos para sua materialização:

- ✓ Planos de recursos hídricos;
- ✓ O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos

preponderantes da água;

- ✓ A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- ✓ A cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e o sistema de informações sobre os recursos hídricos.

Dentre os princípios da Lei 9.433 de 1997, destacam-se dois que são determinantes para a gestão territorial: o primeiro está ligado à descentralização administrativa dos recursos hídricos e a participação conjunta dos usuários da água, comunidades e poder público na gestão e uso da água, o que confere à PNRH uma estrutura dinâmica e democrática; e o segundo refere-se à adoção da bacia hidrográfica como a unidade básica de planejamento físico-territorial sobre a qual materializam-se os conteúdos da PNRH em articulação com outros mecanismos de gestão do território.

Sendo assim, a PNRH procura efetivar a gestão do território em torno da água, integrando os representantes do Estado, os usuários dos recursos hídricos e a sociedade civil através de colegiados (conselhos, comitês etc.), secretarias e institutos especializados nas diversas problemáticas que envolvem a gestão hídrica.

No Rio Grande do Norte, a exemplo do que ocorreu em outros 16 Estados-Membros da Federação, a publicação da Lei nº 6.908/96, que trata do gerenciamento de recursos hídricos, ocorreu antes da promulgação da Lei nº 9.433/97, que instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, devido à demora na tramitação do Projeto de Lei nº 2.249, de 03 de dezembro de 1991, no âmbito do Congresso Nacional.

De acordo com Lanna (2000), a gestão dos recursos hídricos é uma decisão política, motivada pela escassez relativa de tais recursos, o que impõe limitações ao desenvolvimento econômico e social, estando condicionada às pressões decorrentes do desenvolvimento econômico, aumento populacional, expansão da agricultura, pressões regionais, mudanças tecnológicas, transformações sociais, urbanização, demandas sociais, ambientais e incerteza do futuro.

Nesse sentido o gerenciamento dos recursos hídricos está inserido no contexto mais amplo das discussões sobre gestão ambiental, onde o surgimento se deu através de um processo histórico de conscientização ambiental por parte da sociedade em suas diversas esferas (IBAMA, 1994).

Essa relação pode ser constatada na lei Federal 9.433 (Política Nacional de Recursos Hídricos), Capítulo 3, artigo 3º, inciso III, por que estabelece em suas diretrizes gerais de ação a integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental (LEI FEDERAL, 1997).

Sendo assim, Theodoro et al. (2004) dizem que a gestão dos recursos hídricos configura-se como uma das modalidades da gestão ambiental, podendo ser definida como um conjunto de ações que envolvem políticas públicas, o setor produtivo e a sociedade, de forma a incentivar o uso racional e sustentável dos recursos ambientais. Segundo o autor, a gestão ambiental é um processo que liga as questões de conservação e desenvolvimento em seus diversos níveis.

Dessa maneira, torna-se necessário levar em consideração os principais instrumentos da política brasileira de gestão ambiental pública, tais como o comando e controle através do licenciamento, que visam manter os efeitos das atividades antrópicas sob controle. E também a conservação, através das unidades de conservação da natureza e corredores para a biota, que procuram conservar as partes mais significativas do ambiente natural e da cultura humana no território nacional.

Conforme o disposto na Lei nº. 6.938/81, em seu Artigo 2º, e modificações posteriores, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) são:

-
- I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
-
- II - o zoneamento ambiental (Regulamento);
-
- III - a avaliação de impactos ambientais;
-
- IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras;
-
- V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;
-
- VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas (Redação dada pela Lei nº. 7.804, de 18.07.89);
-
- VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;
-
- VIII - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental;
-
- IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias do não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;
-
- X - a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA; Inciso incluído pela Lei nº. 7.804, de 18.07.89;
-
- XI - a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o

Poder Público a produzi-las, quando inexistentes; Inciso incluído pela Lei nº. 7.804, de 18.07.89

XII - o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais. Inciso incluído pela Lei nº. 7.804, de 18.07.89.

Fonte: Lei Federal 6.938/81, art. 2º.

Segundo Tundisi (2001), o gerenciamento dos recursos hídricos vem assumindo nas últimas três décadas grande importância no cenário nacional, especialmente em virtude dos problemas gerados pela degradação das águas por múltiplos usos em diversas áreas de forte concentração urbana e industrial, já que esse se insere numa abordagem muito mais ampla concernente à gestão ambiental.

Assim, Freitas (2012) afirma que “o processo de gestão, seja ele ambiental ou de recursos hídricos, deve ser constituído por uma política que estabeleça as diretrizes gerais, por um modelo de gerenciamento, sendo assim tem que estabelecer uma organização administrativa e funcional necessária para tal e por um sistema de gerenciamento, constituído pelo conjunto de organismos, agências e instalações governamentais e privadas, para execução da política, por meio do modelo adotado e tendo por instrumento o planejamento ambiental”.

Grande parte desses instrumentos está previsto nominalmente na legislação brasileira, particularmente nas leis que dispõem sobre as Políticas de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos. Porém, outros, embora em geral também sejam entendidos como instrumentos de políticas públicas, algumas vezes só são reconhecidos na lei apenas de forma implícita, como na legislação florestal, de educação ambiental e urbanística (BRAGA, 2005). Dessa maneira, vale salientar e reconhecer que a base dos instrumentos aqui trabalhados encontra-se nas leis federais de meio ambiente e de recursos hídricos.

Em seguida a essa surgiu a Lei Federal 9.433 (BRASIL, 1997), que dispôs sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, cujos objetivos são: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e a preservação e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Em síntese Braga (2005) diz que os instrumentos identificados nas duas políticas nacionais são a base para uma gestão ambiental sólida. Na própria Constituição Federal já se

prevê essas duas políticas atuando de maneira articulada. Complementando isso, a lei das águas salienta, textualmente, a necessidade de integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental e estabelece que a Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos é exercida por órgão integrante do Ministério do Meio Ambiente.

Desse modo, torna-se necessário o entendimento do exercício dessas duas leis para que se construa uma integração entre as duas a partir das suas complementaridades. Portanto, aplicar esses instrumentos a alguns eixos temáticos torna-se necessário para análise dessas duas políticas. Para Braga (2005), entre esses temas destacam-se três onde é possível se fazer uma correlação entre os instrumentos dessas políticas ambientais, que são: Planejamento e gestão do espaço, Controle de uso dos recursos naturais e Direito à informação.

Porém, todos esses se constituem em importantes subsídios para a tomada de decisões na gestão ambiental e de recursos hídricos, desde que efetivamente implementados.

2.6 Ordenamento Territorial em bacias hidrográficas

De acordo com Melo e Lima (2012), o ordenamento territorial é uma visão macro do espaço, com foco nos grandes conjuntos espaciais (biomas, macrorregiões, redes de cidades, etc) e espaços de interesse estratégico ou usos especiais (zona de fronteira, unidades de conservação, reservas indígenas, instalações militares, etc).

Diz respeito a uma escala de planejamento que analisa o território nacional em sua totalidade, atentando para a densidade da ocupação, as redes instaladas e os sistemas de engenharia existentes. Interessam a ele as grandes aglomerações populacionais (com suas demandas e impactos) e os fundos territoriais (com suas potencialidades e vulnerabilidades), numa visão de contiguidade que se sobrepõe a qualquer manifestação pontual no território (MELO; LIMA, 2012).

Portanto, o ordenamento territorial tem como objetivos captar os grandes padrões de ocupação, as formas predominantes de valorização do espaço, os eixos de penetração do povoamento e das inovações técnicas e econômicas e a direção prioritária dos fluxos (demográficos e de produtos).

Dessa maneira ele busca o estabelecimento de um diagnóstico geográfico do território, indicando tendências e aferindo demandas e potencialidades, de modo a compor o quadro no qual devem operar de forma articulada as políticas públicas setoriais, com vistas a realizar os objetivos estratégicos do governo (MELO; LIMA, 2012).

2.7 Estiagem e seca

O termo “secas” tem diversas conceituações segundo alguns autores, mas num contexto geral suas denominações são similares. De acordo com Chaves e Costa (2012), a insuficiência da precipitação pluviométrica, numa determinada região, em um dado período de tempo, é um fenômeno climático considerado como seca ou estiagem. Já do ponto de vista meteorológico, os mesmos autores consideram a seca como estiagem prolongada, caracterizada por provocar uma redução sustentada das reservas hídricas existentes.

Já Campos; Studart (2001) apontam como causa primária das secas a insuficiência ou a irregularidade das precipitações pluviais, no entanto enfatizam que existe uma sequência de causas e efeitos. Dentre as mais comuns, pode-se definir a seca climatológica, a seca edáfica, a seca social e a seca hidrológica.

Como consequência dessa seca, são afetadas atividades econômicas da agricultura de sequeiro, as quais resultam no flagelo dos camponeses. O resultado do flagelo é a migração para os centros urbanos ou para as frentes de serviço. Nessa sequência, a seca climatológica tem como efeito a seca edáfica; e a seca edáfica tem como causa a seca climatológica e como efeito a seca social.

Dessa forma, os mesmos autores acima citados distinguem a “seca climatológica” como sendo uma deficiência nos totais de chuvas, em um dado espaço e tempo, abaixo dos padrões normais. Sua causa natural seria a circulação global da atmosfera e teria como resultado a redução na produção agrícola e no fornecimento de água, seja para abastecimento, seja para outros usos.

Já a “seca edáfica” tem como causas básicas a insuficiência ou distribuição irregular das chuvas, sendo identificada como uma deficiência da umidade. Este tipo de seca é a que causa maiores impactos na zona de clima semiárido da região Nordeste do Brasil, pois está associada à agricultura de sequeiro, levando a severas perdas econômicas e grandes transtornos sociais como fome migração e desagregação familiar. É a “seca social”. (CAMPOS; STUDART, op. cit.).

As secas hidrológicas se dão quando há a insuficiência de águas nos rios ou reservatórios. Tendo como causa uma sequência de anos com carência no escoamento superficial ou, também, por um gerenciamento inadequado dos recursos hídricos acumulados nos açudes. O resultado desse tipo de seca é o racionamento, ou até mesmo o colapso em

sistemas de abastecimento d'água das cidades ou das áreas de irrigação (CAMPOS; STUDART, op. cit.).

Dai (2010) apud BRASIL (2021) classificam secas, num contexto de aquecimento global, nos seguintes tipos: “*seca meteorológica, seca agrícola e seca hidrológica*”.

- O primeiro tipo (seca meteorológica) ocorreria em um período de meses a anos, com precipitação abaixo da normal climatológica. Muitas vezes é acompanhada de temperaturas acima do normal.
- A seca agrícola corresponde a um período em que os solos ficam secos, resultando em precipitação pluviométrica abaixo da média de eventos de chuva intensa, mas menos frequentes, com evaporação acima do normal.
- O terceiro tipo de seca (seca hidrológica) incide quando a vazão dos rios e o armazenamento de água em aquíferos, lagos ou reservatórios caem abaixo dos níveis médios a longo prazo. Esta se desenvolve mais lentamente, pois envolve água armazenada que se esgota, mas não é repostada.

A ocorrência das secas, até às duas primeiras décadas do século XX, se constituíram como sendo um problema do Norte. Nessa época o Nordeste e parte do Norte eram a área sujeita às estiagens. Contudo, o primeiro espaço definidor das secas foi o Polígono das Secas, criado em 1936 (BRASIL, op. cit.).

Esse evento climático é característico de áreas com déficit na precipitação. Medeiros et al. (2011) citam que na maioria das zonas áridas e semiáridas do mundo, a precipitação média anual é da ordem de 80 a 250 milímetros. No Brasil, segundo Cirilo (2010), o semiárido apresenta um total pluviométrico em torno de 900 mm anuais.

Esta região sempre sofreu com a estiagem, cujos registros são encontrados desde a época da colonização portuguesa. A estiagem do ano de 1979 a 1983 foi marcante na história das secas no Nordeste, aliado a isso veio o El Niño de 1982/1983. Esse fenômeno provocou intensas modificações no regime pluviométrico, causando uma estiagem considerada como uma das mais longas e severas da história do Nordeste (SANTOS et al., 2012).

Desde os fins dos anos 1980 até o presente momento, as secas vêm sendo reconhecidas como parte integrante do fenômeno das mudanças climáticas (BRASIL, op. cit.), atingindo várias partes do mundo em diversos continentes e países. Sua ocorrência está diretamente relacionada à circulação das massas de ar no planeta e de fenômenos como o El

Niño e a La Niña, que alteram o regime pluviométrico dessas regiões (SANTOS et al., op. cit.).

No semiárido brasileiro as precipitações concentram-se em poucos meses do ano. Isso faz com que o quadrimestre mais chuvoso concentre de 60 a 70 % das precipitações anuais. A cada ano, longos períodos de estiagem ocorrem e duram vários meses consecutivos, onde a variabilidade dos totais precipitados mensalmente é também muito elevada (SILANS, 2003).

Um dos indicadores que é bastante utilizado pelos órgãos de pesquisa para monitorar o impacto das secas é a vegetação do semiárido brasileiro, uma vez que ela é uma resposta ao déficit de chuvas na região. Diariamente, o Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis/Ufal) e o Instituto Nacional do Semiárido (Insa/MCTIC) monitoram o comportamento da seca por meio da análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) ou Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtido do satélite Meteosat-10.

Como um evento recente, a seca acumulada no período de 2011 a 2016 é considerada como de grande extensão. Como observado no mapa referente ao período de 1 a 8 de agosto de 2016 (Figura 11), seu impacto é visível na saúde da vegetação. Observa-se que grandes áreas do semiárido apresentam baixo índice de vegetação, indicando também baixa umidade. As cores laranja e vermelho indicam o predomínio de condições secas e muito secas, respectivamente. Os Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará são os mais afetados (INSA, 2016).

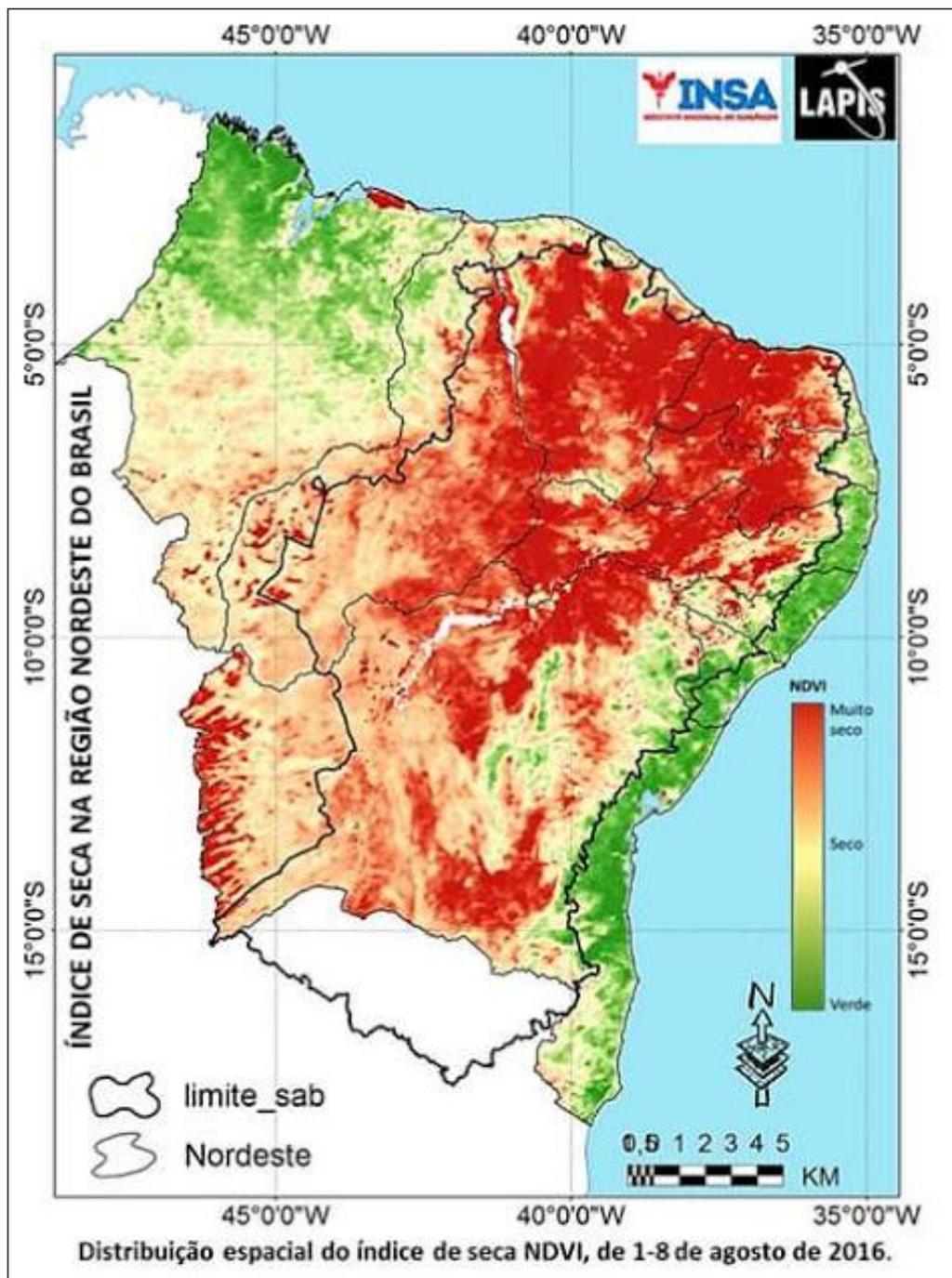


Figura 11: Mapa do índice de seca na região nordeste do Brasil
Fonte: INSA (2016).

2.8 Importância da açudagem no semiárido

Baseadas nos eventos meteorológicos e climáticos do semiárido brasileiro, algumas políticas públicas são implementadas a fim de amenizar os problemas com a estiagem que assola a região. Dentre essas, destaca-se a construção de açudes e a perfuração de poços

especialmente em zonas rurais, onde a população tem maior dificuldade de acesso à água (MOLLE; CADIÉ, 1992).

Essas políticas públicas estão direcionadas para a açudagem e a perenização total ou parcial de rios e visam criar alternativas de convivência do homem do sertão com o fenômeno natural das secas, tentando minimizar o déficit hídrico existente nessa região (CIRILO, 2008).

Os reservatórios são alternativas encontradas para suprir as necessidades hidrológicas de uma determinada região. Tundisi; Tundisi (2008) destacam que são diversas as construções de reservatórios e datam de milhares de anos e que, de início, eram construídos para reservar alguns metros cúbicos de água para abastecimento ou irrigação, mas que com o passar do tempo tornaram-se grandes empreendedores de alta tecnologia e alto custo, sendo utilizados simultaneamente para inúmeros e múltiplos fins.

Molle (1994) destaca que grandes barragens de terra foram construídas na Mesopotâmia a cerca de 3000 anos a.C., e que em países como o Egito, a Índia, a China e o Iêmen existem barragens desde muito tempo. Entretanto, a engenharia de barragem só se tornou evidente em meados do século passado na França e, limitou-se ao estudo de represas construídas em pedra e/ou alvenaria.

As finalidades dos reservatórios variam no tempo conforme as necessidades de cada época. Primeiro foram construídos para irrigação; depois se destinaram à prevenção de cheias e, posteriormente para o abastecimento hídrico industrial e, mais recentemente, para geração de energia elétrica e recreação (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

No entanto, o crescimento populacional aliado ao desenvolvimento tecnológico faz com que haja, segundo Tundisi; Tundisi (op. cit.), o aumento da degradação ambiental comprometendo os usos dos reservatórios, tornando os assuntos relativos à qualidade da água desses sistemas algo de grande preocupação. Muitos desses reservatórios localizam-se nas áreas urbanas e são comprometidos por impactos de ordem pontual e não pontual de fósforo e nitrogênio, degradação das margens e da zona litoral desmatamento, descarga de resíduos sólidos, sedimentação, descarga de substâncias tóxicas, poluição atmosférica e ocupações urbanas extensas.

No Brasil, as represas e açudes, como na maioria dos casos, são formados pelo represamento de rios e atendem a objetivos como abastecimento de águas, regularização de cursos, obtenção de energia elétrica irrigação, navegação e recreação entre outros. Esses lagos artificiais recebem diferentes denominações, tais como: represas, reservatórios, açudes, etc.,

que nada mais são que sinônimos, uma vez que estes ecossistemas têm a mesma origem e finalidade (ESTEVES, 2011).

Esteves (op. cit.) menciona ainda, que com o desenvolvimento industrial e socioeconômico do Brasil, a construção de inúmeras barragens tinha o objetivo principal de geração de energia elétrica e que isso resultou na formação de um grande número de ecossistemas lacustres artificiais.

Tendo em vista as características climáticas e meteorológicas de regiões semiáridas, como a do Nordeste brasileiro, a criação de açudes se torna de extrema importância para a região. Segundo Brasil (2005), os benefícios trazidos pela execução de reservatórios são muitos e se constituem em uma das melhores medidas para combater as consequências negativas das adversas condições ambientais existentes. Molle; Cadier (op. cit.) ressaltam que numa região que é submetida regularmente a secas prolongadas, o açude constitui-se como uma reserva de água visível para a subsistência local.

A evaporação das superfícies líquidas expostas em áreas semiáridas gera um aproveitamento deficiente da água dos açudes. Essas perdas são mais acentuadas entre os meses de novembro e fevereiro, quando a incidência de radiação solar é mais intensa. Portanto, reduzir as perdas de água por evaporação é uma estratégia importante para incrementar, por mais tempo, o suprimento de água nos pequenos reservatórios (MEDEIROS et al., 2011). Os diversos usos dos reservatórios, como abastecimento humano, entre outros, contribuem não apenas para o desenvolvimento de sua área de influência, como também para a fixação do homem no interior (BRASIL, op. cit.).

2.9 Açudagem no Nordeste do Brasil

A construção de açudes no Nordeste brasileiro é antiga e ocorre desde os tempos do Brasil império, tendo início com a criação do Açude Cedro no estado do Ceará. Esses reservatórios são considerados ecossistemas de fundamental importância socioeconômica na região. Grande número desses açudes é formado por barragens de terra, onde é possível o armazenamento de água para fornecimento, tanto à população humana quanto de animais, regularização de curso d'água, irrigação e o aumento da produção proteica da região através de piscicultura (ESTEVES, 2011).

As secas de 1825-1827-1830 marcaram a arrancada na construção de açudes no Nordeste semiárido. Seus primeiros açudes foram construídos desde a implantação dos

engenhos na zona da mata, onde eram utilizados para desviar a água dos riachos que forneciam energia hidráulica aos moinhos. Desde então, o pequeno açude apareceu como uma das soluções ao problema de abastecimento e difundiu-se paulatinamente (MOLLE; CADIER, 1992).

Molle; Cadier (op. cit.) ainda destacam que o Nordeste brasileiro, depois da Índia, é a região mais açudada do mundo. E que sua maior concentração encontra-se nos Estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, sendo esses encontrados principalmente em regiões de maior densidade de população, de maior ocorrência de secas, de relevo favorável e de geologia cristalina.

A irregularidade climática do semiárido faz com que a população se adapte a essa realidade e se eduque para armazenar, durante a estação da abundância, os sólidos e líquidos que o supram na estação seca (MOLLE, 1994).

É contínuo o crescimento de açudes no Nordeste. No entanto, isso depende do limite inferior escolhido, em termos de volume ou superfície. Estimou-se em 70.000 o número de açudes de mais de 1.000 m² de espelho d'água. Por outro lado, a (grande) açudagem pública apresenta um balanço de aproximadamente 1.200 a 1.500 açudes de capacidade superior a 100.000 m³, com cerca de 450 barragens de mais de um milhão de m³ (MOLLE; CADIER, op. cit.).

Convém observar que a finalidade do açude pequeno ou médio é fornecer água para o povo, para o gado e para as plantas. Já os grandes reservatórios poderão controlar cheias, produzir energia elétrica e prover a irrigação de terras (GUERRA, 1978).

Apesar de se priorizar os grandes reservatórios públicos do Seridó, observou-se um surto de pequenos açudes privados na região, contando com 710 açudes em 1915 e perdurando esse crescimento até os dias atuais (MOLLE; CADIER, op. cit.).

O pequeno açude (barreiro) se tornou mais difundido, tendo como objetivo principal assegurar o abastecimento durante a estação seca, de maneira a estabelecer a junção entre dois períodos chuvosos, embora não seja de nenhuma serventia para lutar contra secas prolongadas. A probabilidade de esses reservatórios ficarem sem água (ou só com água barrenta, não potável) é grande demais para que, em geral, seja a única fonte d'água disponível (MOLLE, op. cit.).

Segundo Medeiros et al. (2011), os barreiros presentes no semiárido brasileiro têm sido usados para armazenar água de chuva proveniente do escoamento superficial há muitos séculos. Apesar de rasos, cobrem uma grande área e representam elevadas perdas por

evaporação e percolação, mas mesmo assim são importantes no desenvolvimento de culturas alimentares para manter o suprimento das necessidades de famílias em períodos mais críticos.

Cabe salientar também nessa discussão a questão dos açudes médios e o dos grandes açudes. O açude médio é construído para que, no mínimo, se possa atravessar um ano de seca, ou seja, a probabilidade de secar é muito inferior ao pequeno açude. Já o grande açude é um reservatório perene, pouco ou não utilizado, geralmente público (MOLLE; CADIER, op. cit.).

Segundo Molle; Cadier (op. cit.) foi a partir da grande seca de 1877 que o governo passou a cogitar projetos de grandes barragens. Em 1909 foi criada a Inspetoria de Obras Contra as Secas (atualmente Departamento Nacional de Obras contra as Secas – DNOCS), dando início a uma política de ações contra as secas, com maior base técnica (MEDEIROS et al., op. cit.). O DNOCS tem construído ao longo dos seus 60 anos de vida 253 açudes públicos com grande capacidade de armazenamento (GUERRA, op. cit.).

Nesse contexto passaram a surgir grandes obras de infraestrutura hídrica para o armazenamento de água para abastecimento humano e demais usos produtivos. Como exemplos, pode-se citar no Estado do Ceará, o Castanhão (Açude Público Padre Cícero), considerado como maior açude público para múltiplos usos do Brasil e a Barragem de Orós (Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira); na Paraíba o Açude Boqueirão de Cabaceiras e o sistema Coremas-Mãe D'Água, formado pela junção das águas dos açudes Coremas e Mãe D'Água; e no Rio Grande do Norte a Barragem Eng^o Armando Ribeiro Gonçalves, o Açude Açú, considerado o maior reservatório construído pelo DNOCS até o momento, a Barragem Santa Cruz, o Açude Apodí e o Açude Itans que abastece o município de Caicó (DNOCS; SEMARH, 2013).

2.10 Geoprocessamento e SIG

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, que impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

De acordo com Câmara; Medeiros (op. cit), o termo Geoprocessamento pode ser definido como uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento e manipulação de informações geográficas. Esta tecnologia, denominada geoprocessamento, tem influenciado de maneira crescente nas áreas de Cartografia, análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) são as ferramentas computacionais efetivamente utilizadas, a partir das quais torna-se possível a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, como também é possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al., 2001).

Segundo Maximiliano (1996), o geoprocessamento possibilita a automatização de trabalhos cartográficos facilitando a realização de análises complexas. A cartografia digital com toda a evolução que vem sofrendo vem se tornando um instrumento de grande valia tanto para as ciências da Terra quanto para outras ciências que dela necessitem em seus trabalhos, como “engenharia civil, mecânica, arquitetura, comunicação social e outras”.

Alguns pesquisadores se referem também ao termo geotecnologias como sendo sinônimo de geoprocessamento. Segundo FLORENZANO (2011), as geotecnologias são conceituadas como um conjunto de tecnologias baseadas em ambiente computacional com finalidade de promover o tratamento da informação espacial, baseada em cartografia digital, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e sistemas de posicionamento global por satélite.

Em uma conceituação atualizada, Blaschke; Lang (2009) definem os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como sendo sistemas compostos de hardware, software e dados. Nesse conceito, os autores afirmam que um SIG pode combinar informações geométricas de fenômenos espaciais ou objetos (features) com informações temáticas específicas onde, a rigor, a característica de localização de fenômenos também representa um atributo.

O termo Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos (Figura 12). Devido a sua ampla gama de aplicações, englobando projetos nas áreas de agricultura, floresta, cartografia, entre outros, de acordo com Câmara (1998), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- Como ferramenta para produção de mapas;

- Como suporte para análise espacial de fenômenos;
- Como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

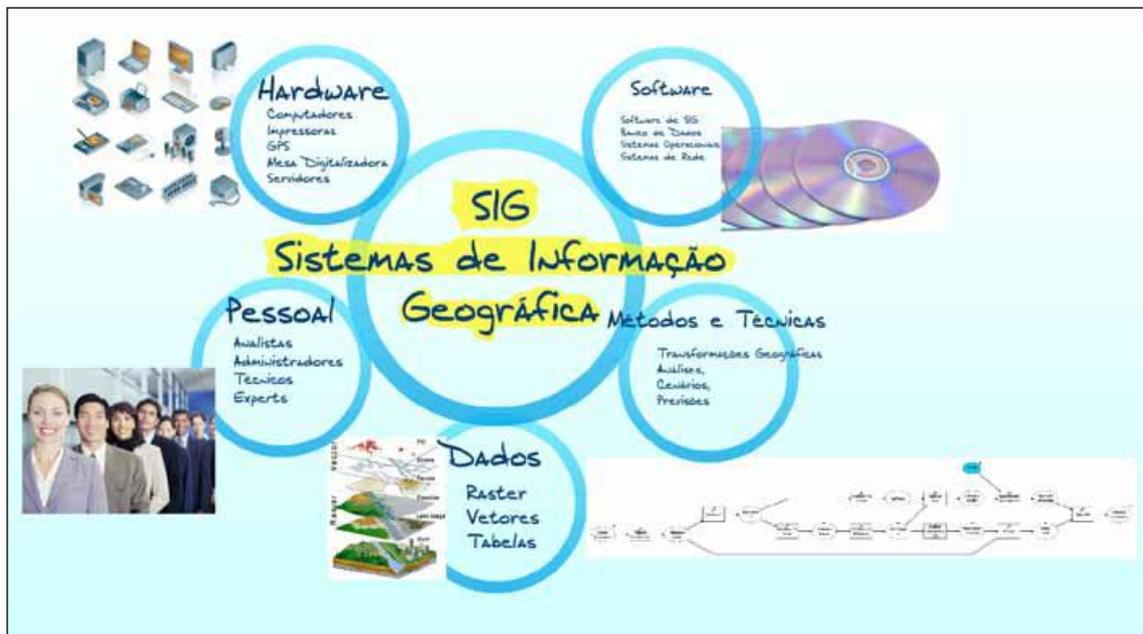


Figura-12: Esquema de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).
Fonte: Retirado de Mendonça et al. (2011).

Os instrumentos computacionais do geoprocessamento, denominados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), surgiram há mais de três décadas e vêm se tornando ferramentas valiosas nas mais diversas áreas do conhecimento. Tais sistemas constituem um ambiente tecnológico e organizacional que ganha cada vez mais adeptos em todo mundo (MENEGUETTE, 2002).

Nas bibliografias consultadas acerca desse assunto, pode-se apresentar como exemplo mais elucidativo de algumas das primeiras definições para SIG, autores como Aronoff (1989): "Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados" e Cowen (1988): "Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas".

Blaschke; Lang (2009) identificam que o conceito metodológico básico de SIG é a utilização de uma chave espacial inequívoca (spatial Key, geocode), na qual todos os fenômenos geográficos na superfície da Terra podem ser relacionados entre si. Desta forma,

classes de objetos diversos como, florestas, estradas, fontes d'água podem apresentar uma só chave espacial, mesmo que não tenham nada mais em comum (BLASCHKE; LANG, 2009).

De acordo com esta concepção, identifica-se que as relações entre informações de localização e temáticas são realizadas por meio da chave espacial. Entende-se que no conceito de chave primária em um banco de dados, as informações temáticas que estão em conjunto com objetos ou fenômenos, por meio da chave espacial, estão numa relação ambígua entre si. Esses dados são compostos por informações temáticas e geoinformação denominados geodados (BLASCHKE; LANG, 2009).

A maior limitação no uso de modelos de dados é a dificuldade em trabalhar grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais. Por essas razões, os SIG's são empregados na criação do banco de dados desses modelos (MACHADO; VETORAZZI, 2003).

Segundo Blaschke; Lang (2009), em relação à análise espacial, a escolha e a aplicabilidade dos métodos vão depender do modelo dos dados utilizados. Para o autor existem dois modelos favoráveis de serem utilizados, o modelo vetorial e o modelo raster. O modelo vetorial é utilizado para interpretar objetos espacialmente discretos, ou seja, todos os objetos espaciais que são facilmente demarcados, como por exemplo: os tipos de solos, os limites administrativos, as estradas, os rios etc.

Já no modelo raster, a área de estudo é dividida em pequenas células, onde esta divisão ocorre regularmente, com poucas exceções. Esse modelo serve para a representação de fenômenos com ocorrência contínua que possam vir a assumir outro valor no espaço, como por exemplo: a altitude do terreno em relação ao nível do mar ou o valor do pH do solo (BLASCHKE; LANG, 2009).

Bolfe et al. (2008) dizem que esse banco de dados (SIG) é um conjunto de arquivos estruturados que facilita o acesso a conjuntos de informações que descrevem determinadas entidades do mundo. Torna-se possível sistematizar tais informações por meio da utilização do sensoriamento remoto e de técnicas de geoprocessamento.

Blaschk; Lang (2009) afirmam que os métodos do processamento de informações geográficas são adequados para apoiar as mais diferentes tarefas de planejamento, no que se refere à detecção da situação real e de uma flexível combinação de diferentes camadas de dados. Nesta discussão, verifica-se que os SIG's utilizados juntamente com os sistemas de apoio à tomada de decisões (desicion support systems, DSS) servem para auxiliar nas decisões de planejamento.

2.11 Sistema de Informações de Recursos Hídricos

Na abordagem de como as geotecnologias podem dar suporte a gestão de recursos hídricos, torna-se necessário explorar os conceitos básicos associados e sua aplicação como instrumento de gestão. O conceito de geotecnologia, em parte, tem muito haver com esta nova maneira de captar, manipular, disponibilizar e analisar as informações, pois tem como princípios todas estas atribuições e mais a necessidade de espacialização referenciada destas (ROSA, 2009).

Convencionalmente, os levantamentos dos recursos naturais eram feitos através de técnicas de aerofotogrametria, apoiadas por levantamentos de campo, originando mapas analógicos, que invariavelmente levavam anos para serem atualizados. Com a utilização das Geotecnologias o tempo médio para a obtenção das informações necessárias foi reduzido para semanas. Somente essa característica ampara a ampla aceitação e a demanda por essas tecnologias (FLAUZINO et al. 2010).

A cartografia digital, sem duvida, é uma das áreas que mais tem se beneficiado com os avanços dessas tecnologias. Para transformar os dados e informações contidas nas imagens em mapas e cartas, há um intenso trabalho de interpretação. É ela que possibilita, por meio da identificação de padrões de cores, tonalidades, texturas, sombreamentos, tamanhos e formas, diferenciar uma mata de uma plantação, um rio de uma estrada e assim por diante (FITZ, 2008).

Os procedimentos metodológicos destacados para a modelagem de sistemas ambientais ganharam realce com os SIG's, apresentando ligações em Geociências, Hidrologia e Ecologia das paisagens. De forma complementar, para a análise espacial das informações, tornou-se essencial a inclusão da Geoestatística (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Para Silva (2006) a gestão ambiental tem como objetivo manter o fluxo dinâmico evolutivo dos sistemas naturais, procurando utilizar os efeitos benéficos dessa evolução para o desenvolvimento sustentável da espécie humana.

Pegado (2010) diz que o uso desses conhecimentos para gestão dos recursos hídricos transcende o simples fato de utilizar tecnologias computacionais para subsidiar um processo que anteriormente era manual. Entende-se que a capacidade analítica dessas ferramentas propicia armazenar e analisar a informação ambiental de diferentes maneiras e enfoques. A gama de sistemas sensores disponíveis comercialmente possibilita inúmeras aplicações nas diversas escalas de trabalhos e objetivos propostos pelas ações envolvendo as geotecnologias.

Essa multiplicidade de aplicações das Geotecnologias em projetos relacionados à gestão de recursos hídricos se reflete na elevada qualidade das informações geradas. Porém, controversamente, é crescente a preocupação quanto às bases de dados usadas nesses projetos, principalmente no que tange a fatores como escala, temporalidade, fonte, metodologias de processamento e procedimentos de análises adotados (BLASCHKE; LANG, 2009).

Em cada estágio de um projeto, a verificação apropriada dos dados e dos procedimentos de checagem é imprescindível, a fim de assegurar que a base de dados esteja isenta de quaisquer erros, uma vez que a criação de uma base de dados digitais é a tarefa mais importante e mais complexa de um SIG e sobre a qual reside a utilidade do sistema (FITZ, 2008).

Para Pegado (2010), um dos grandes desafios da atualidade reside na necessidade de se formatar bases de dados geográficos que contribuam para organizar e disponibilizar as informações geradas pelas Geotecnologias. Uma nova e crescente comunidade técnica científica e de usuários começa a nascer desse processo de evolução. O aprimoramento tecnológico das ferramentas de geoprocessamento permitiu a integração de dados espaciais de diversas fontes, possibilitando realizar análises cada vez mais complexas.

A utilização de metodologias, procedimentos e tecnologias que envolvam o sensoriamento remoto, SIG's, GPS e banco de dados geográficos possibilita a obtenção de diversas informações sobre os recursos hídricos. Para Mendes; Cirilo (2001) os fenômenos ou processos ambientais constituem um sistema espaço-temporal. Os dados (atributos) resultantes da observação desses fenômenos podem ser classificados de acordo com as variáveis geográficas que comandam o processo observado.

Dessa forma, os fenômenos podem ser classificados em: fenômeno espacial (mapas topográficos, mapas cadastrais); fenômeno temporal (inventários, registros históricos); e fenômeno espaço-temporal (modelos de simulação hidrológica, modelos de dispersão, gerenciamento de áreas urbanas). Considerando-se a urgência e a necessidade, o assunto já deixou de ser exclusividade do meio acadêmico e passou a compor a agenda das decisões políticas. Apesar das deficiências, ineficácias e antagonismos, as políticas ambientais têm de ser obrigatoriamente implementadas para evitar, ou melhor, minimizar as possíveis irreversibilidades (SILVEIRA, 2004).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) integrando dados sócio-demográficos e advindas de sensores remotos causou um impacto significativo nos estudos da dinâmica urbana nos últimos anos. Suas ferramentas têm propiciado aos

pesquisadores um ganho expressivo de informações, permitindo uma melhor compreensão da ocupação populacional desde a escala nacional até a escala intra-urbana, a começar pelo georreferenciamento de informações cadastrais de equipamentos (educação e saúde) e de mortalidade, passando pela elaboração de surveys e índices, até estudos relacionados à dinâmica evolutiva de áreas urbanas (PEGADO, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada nesta pesquisa foi sistematizada em fases distintas, contemplando: coleta de dados primários e secundários; análise das políticas públicas voltadas para a gestão dos recursos hídricos; reconhecimento e visitas na área de estudo; mapeamento dos principais reservatórios da sub-bacia; identificação dos principais usos antrópicos; levantamento fotográfico com registro de coordenadas UTM utilizando aparelho receptor de sinais GNSS; elaboração de mapas temáticos com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para a etapa da análise das políticas públicas foi utilizada como referência a legislação federal do Brasil relacionada ao tema, onde se dá ênfase para as leis e decretos federais e as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Também foram pesquisadas referências bibliográficas consultadas em livros, artigos, teses e dissertações (e.g. Portal de Periódicos da CAPES, Science Direct, Scielo).

As etapas para o mapeamento dos principais reservatórios foram divididas em: 1) levantamento bibliográfico e cartográfico prévio sobre a área de estudo; 2) processamento digital das imagens, envolvendo técnicas de realce de contraste das imagens orbitais, fusão entre as bandas multiespectrais, composições coloridas no sistema de cores RGB (Red-Green-Blue) e mosaico das diferentes cenas processadas; 3) classificação e quantificação da área das diferentes imagens de satélite da região em estudo de períodos distintos (seco e chuvoso), através de mapas temáticos (a partir da análise espectral, tonalidade e textura das imagens), realizadas com base nas categorias descritas pelo Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006). Por fim, foi realizada avaliação de campo para confirmação das classes identificadas nas imagens.

A seleção dos principais reservatórios da sub-bacia foi feita através da relação da área com o volume de cada um, associado à população abastecida. A partir da análise dos dados

pluviométricos mensais da região e com base no índice de cobertura de nuvens, foram selecionadas imagens de satélite representando o último ano com pluviosidade anual acima de $1.000 \text{ mm.ano}^{-1}$ (2009) até o ano de 2016, onde se verifica o máximo de estiagem regional. Para fazer uma análise mais precisa sobre a redução de área dos reservatórios, foi realizada também uma análise intra-anual comparando-se os períodos de 2009 e 2016 (final do período chuvoso e o máximo de estiagem anual). Os dados de precipitação mensal utilizados no trabalho foram obtidos na Estação Climatológica de Caicó/RN (INPE), localizada no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Com base nesses dados para o intervalo temporal adotado, assim como a partir do índice de cobertura de nuvens informado pelo INPE ao se solicitar as imagens, todo o material cartográfico foi elaborado a partir da composição de bandas do sensor TM do satélite LANDSAT (disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE). A partir dessas imagens foi realizada a delimitação da bacia hidráulica dos reservatórios através da vetorização manual. A elaboração dos mapas temáticos foi realizada com auxílio da versão acadêmica do software ArcGIS 10.3 (ESRI ©) do Laboratório Multiusuário de Monitoramento Ambiental (LAMMA) da UFRN - Campus de Caicó-RN. O software Excel (Microsoft Office©) também foi utilizado para a tabulação e armazenamento dos metadados.

Para atingir a precisão desejada, as imagens foram georreferenciadas na grade de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), iniciando-se pelas cartas topográficas (em formato digital) da SUDENE (folha SB-24-Z-B-I Caicó), na escala de 1:100.000, com Datum Córrego Alegre. Após o georreferenciamento, a geração de mosaico bem como todo o processo de manipulação e integração dos dados espaciais, foi feito em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A reambuação dos dados em campo se deu com o auxílio de aparelho receptor de sinais GNSS. Logo em seguida, após a conclusão desse processo, o Datum das cartas foi modificado para SIRGAS 2000, Zona 24 S.

Para a criação da base de dados na plataforma digital do ArcGIS - ArcMap, foram utilizados: a malha cartográfica digital sobre o embasamento geológico-geomorfológico do Estado do Rio Grande do Norte produzido por Angelim et al. (2006), na escala de 1:500.000; shapefiles da malha digital municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2010, disponibilizadas gratuitamente no site do próprio instituto, de todos os municípios

envolvidos na presente análise; cartas topográficas (em formato digital) da SUDENE (folha SB.24-Z-B-I Caicó-RN), na escala 1:100.000, Datum Córrego Alegre.

Os produtos de sensoriamento remoto utilizados foram duas imagens LANDSAT-8, sensor OLI/TIRS, Órbita/Ponto 215/064 e 215/065 de 06/05/2015; em composição RGB 654. O processamento digital das imagens consistiu nos seguintes procedimentos: análise espectral envolvendo técnicas de realce de contraste das imagens orbitais, a partir da tonalidade e da textura, para se obter uma maior riqueza de detalhes dos alvos; fusão entre as bandas multiespectrais; geração de composições coloridas no sistema de cores RGB (Red-Green-Blue); e mosaicagem das diferentes cenas processadas.

As imagens foram processadas com o software ArcGIS 10.3 (versão acadêmica). Ambas as imagens foram disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Para a delimitação da sub-bacia e maior detalhamento da drenagem foi utilizada uma imagem SRTM – TOPODATA (Folha 06S375ZN).

Na fase de avaliação dos impactos das demandas pelo uso da água nos principais reservatórios da sub-bacia hidrográfica, foram identificados os principais usos múltiplos da água em cada reservatório buscando-se ter uma fiel descrição de cada um, conforme descritos em outras pesquisas (NASCIMENTO; AIRES, 2011; FREITAS, 2012; TUNDISI, 2014).

Por sua vez, a descrição desses usos foi realizada através da observação direta em campo e da utilização do método de lista de checagem. Através deste método de listagem é possível a realização de uma avaliação qualitativa dos impactos dessas demandas de uso em cada reservatório, pois esse método vem sendo indicado em avaliações preliminares, tendo como vantagem o emprego imediato para análises de impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2006).

Assim sendo, a utilização do método lista de checagem pode ser considerado um instrumento prático e fácil de ser utilizado em estudos de impactos ambientais e/ou em recursos hídricos (SÁNCHEZ, 2006), o qual indica os elementos ou fatores ambientais potencialmente afetados por ações ou projetos relacionados a algum empreendimento.

Santos (2004) comenta que o uso do método de lista de checagem consiste em visualizar e listar as consequências (impactos ambientais), quando se considera o potencial transformador dos ambientes físico, biótico e antrópico, e de causas (atividades impactantes) conhecidas. Essa metodologia vem sendo aplicada com sucesso em diferentes áreas do Brasil (GORAYEB et al., 2007; ALVES et al., 2012; FILHO et al., 2012; GUEDES, 2015).

A avaliação desses usos se deu através do sistema DPSIR – Driver – Pressão – Estado – Impacto – Resposta (European Environmental Agency, 1999; BLUM, 2002; KRISTENSEN, 2004, 2011, COSTA, 2013), de modo que foi montado o quadro DPSIR, buscando-se identificar uma série de indicadores centrais e estabelecer a natureza das interações entre as diferentes forças condutoras, pressões, estados, impactos e respostas dos reservatórios frente às diversas interferências humanas identificadas neste trabalho.

Essa análise se deu através do levantamento das informações já existentes sobre cada reservatório. Para a realização deste trabalho foram feitos levantamentos bibliográficos, para que pudessem ser montadas as inferências acerca do objetivo do estudo.

O quadro proposto pelo método DPSIR descreve as condições ambientais do reservatório, os vetores socioeconômicos e ambientais atuantes, bem como as pressões relacionadas aos mesmos, que podem alterar ou modificar a dinâmica físico-química e biológica do regime hidrográfico. A figura 13 exemplifica o ciclo que o método propõe dentro de um sistema e suas interações.

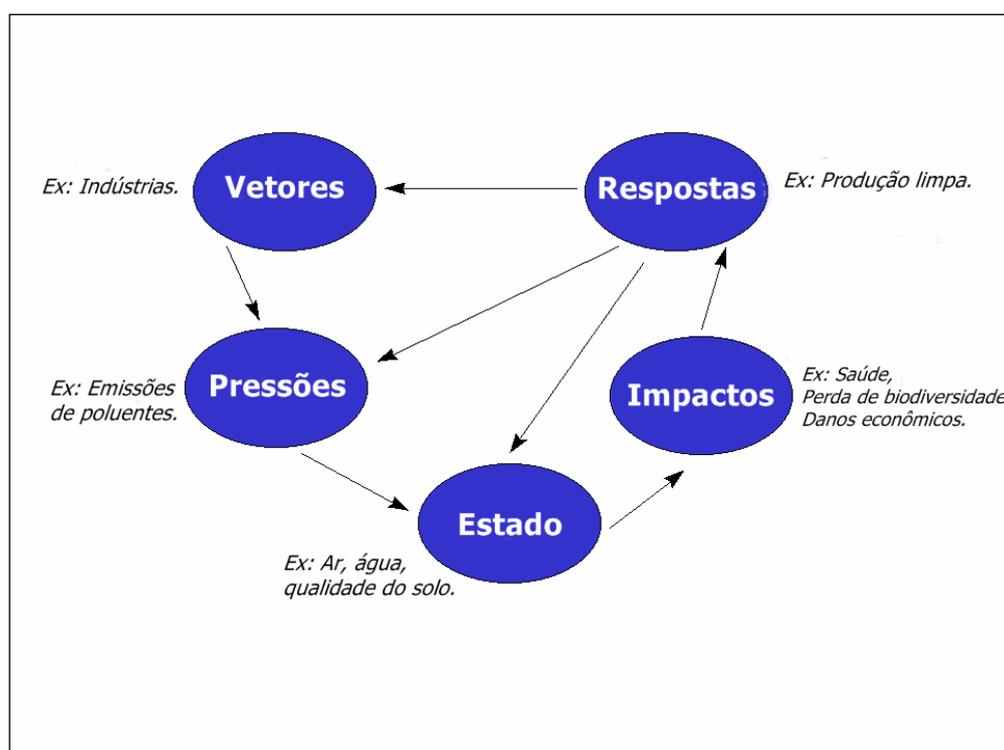


Figura 13: Representação dos componentes do quadro DPSIR e suas interações.
Fonte: EEA, 1999.

O método DPSIR leva em consideração os vetores que atuam sobre um determinado sistema (Drivers), as pressões geradas por esses vetores (Pressures), a condição do ambiente

diante dessas pressões (State), as consequências ambientais dessa nova condição (Impacts) e o que pode estar sendo feito para mitigar essas consequências, caso sejam negativas (Response). Tais fatores são montados em forma de tabela (SKOULIKIDIS, 2009).

Na conceituação de EEA (1999) sobre esse método, entende-se a sigla por (Drivers, Pressures, State, Impact, Responses). “Drivers” é referente às necessidades humanas que geram os usos do meio ambiente (podendo ser chamada de “força motriz”), “Pressures” diz respeito às pressões geradas pela necessidade de uso, já “State” é tido como a qualidade do ambiente em virtude das pressões, que por sua vez gerará um impacto “Impact” sobre os ecossistemas, alterando a qualidade dos serviços, o que demandará das sociedades uma resposta “Responses”, que pode ser em forma de políticas públicas visando recuperar o meio ambiente e as funções desempenhadas (EEA, 1999; KRISTENSEN, 2004; SOARES, 2007).

Na confecção do mapa de uso e cobertura da terra, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto como a segmentação e a classificação de imagens, considerando o comportamento da paisagem e as unidades de uso selecionadas. A delimitação das classes de ocupação, produção de material cartográfico digital e processamento digital das imagens foram realizados com o auxílio do software Arcgis 10.3 (ESRI ©), finalizando-se as atividades com a elaboração de mapas das diferentes classes de ocupação da terra presentes na área. Foram cinco as classes de mapeamento, sendo elas: (A) Caatinga Aberta, (B) Caatinga Fechada, (C) Cultivo Temporário/Permanente e (D) Solo exposto. As classes foram definidas anteriormente com auxílio da classificação supervisionada MAXVER (Máxima Verossimilhança) (Swain e Davis, 1978). Todas foram identificadas a partir de visitas de campo para confirmação no terreno e foram definidas seguindo as orientações do Manual do Uso da Terra (IBGE, 2006).

Na fase da análise da evolução da crise hídrica no período 2009-2016, foram confeccionados cartogramas corocromáticos com a situação de abastecimento através de dados fornecidos pela CAERN. Para uma melhor representação, esses dados foram espacializados através de mapas temáticos elaborados com a malha digital do banco de dados do IBGE (2010) e todos os procedimentos cartográficos foram realizados com o auxílio da versão acadêmica do software ArcGIS 10.3 (ESRI ©), elaborando-se a segmentação das classes temáticas por meio da ferramenta “Symbology – graduated symbols”.

Essas representações qualitativas foram empregadas para mostrar a atual situação de disponibilidade de água para o abastecimento no período em que os municípios abastecidos pelos reservatórios-alvo da pesquisa entraram em estado de alerta, racionamento ou colapso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapeamento da dinâmica multitemporal de variação do espelho d'água dos principais reservatórios de abastecimento na Sub-bacia Seridó

A escolha por realizar a análise multitemporal dos anos de 2009/2016, se deu pelo primeiro ter sido o último ano onde os reservatórios atingiram seu limite máximo de água e o último foi o ano onde cinco desses sete reservatórios entraram em colapso total. Desse modo a partir da análise dos dados meteorológicos, verificou-se que o ano de 2009 apresentou uma pluviosidade de 903,6 mm, na estação meteorológica do Seridó em Caicó, e de 795,9 mm na estação de Cruzeta, sendo considerado, portanto, um ano chuvoso para essa região.

Já para o ano de 2016 a precipitação atingiu apenas 399,6mm, na estação meteorológica do Seridó em Caicó, e 348,7mm na estação de Cruzeta, o que significa dizer que esse foi um ano de estiagem severa. Desse modo, a utilização de imagens de satélite, como também dos dados meteorológicos em períodos distintos, no caso em um ano de chuvas normais e em outro de estiagem, foi necessário para que se realizasse o mapeamento da dinâmica multitemporal de variação do espelho d'água dos principais reservatórios de abastecimento da Sub-bacia Seridó.

Esses dados pluviométricos foram relacionados com a área do espelho d'água dos reservatórios, constatados a partir das imagens dos diferentes anos (2009 e 2016), verificando-se uma redução acentuada em função da estiagem (Figura 14).

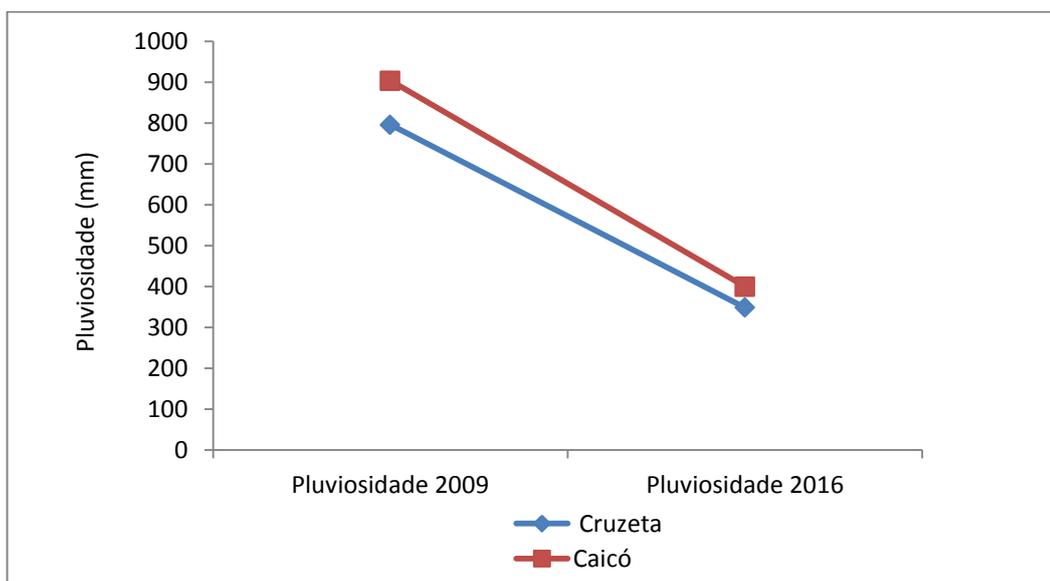


Figura 14: Gráfico de Pluviosidade (2009-2016)

Fonte: Elaborado pela autora

Ao observar as tabelas (Figura 15), pode-se perceber que, conforme a estiagem foi se acentuando, houve uma drástica diminuição da área dos reservatórios. Em 2009 o espelho d'água do açude Boqueirão ocupava uma área de 1223 hectares e em 2016 reduziu para 424,83 hectares (Quadro 02).

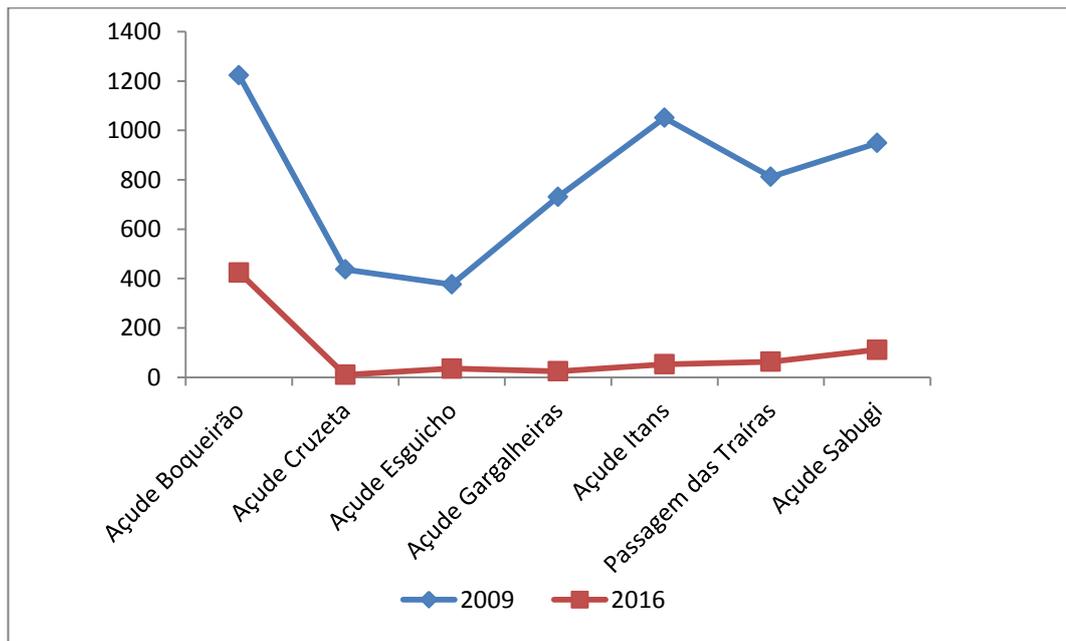


Figura 15: Gráfico de área do espelho d'água dos reservatórios (2009-2016)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 02- Áreas em hectares dos reservatórios (2009-2016).

RESERVATÓRIO	ÁREA (HA) 2009	ÁREA (HA) 2016
Boqueirão	1.223	424,83
Cruzeta	437	10,02
Esguicho	376	35,52
Gargalheiras	731	24,49
Itans	1.051	53,24
Passagem das Traíras	812	62,98
Sabugi	949	111,69

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados dos anos de 2009 e 2016 demonstram que a área do espelho d'água dos reservatórios (Figura 16) diminuiu consideravelmente, como mostra as tabelas anteriores.

Assim, nota-se o efeito da evaporação, como também da utilização da água dos corpos hídricos para múltiplos usos. Gondim-Filho et al. (2004) evidenciam que a demanda hídrica, as altas temperaturas, as taxas de evaporação, como as mudanças climáticas tornaram-se fatores importantes que influenciaram no nível d'água dos reservatórios.

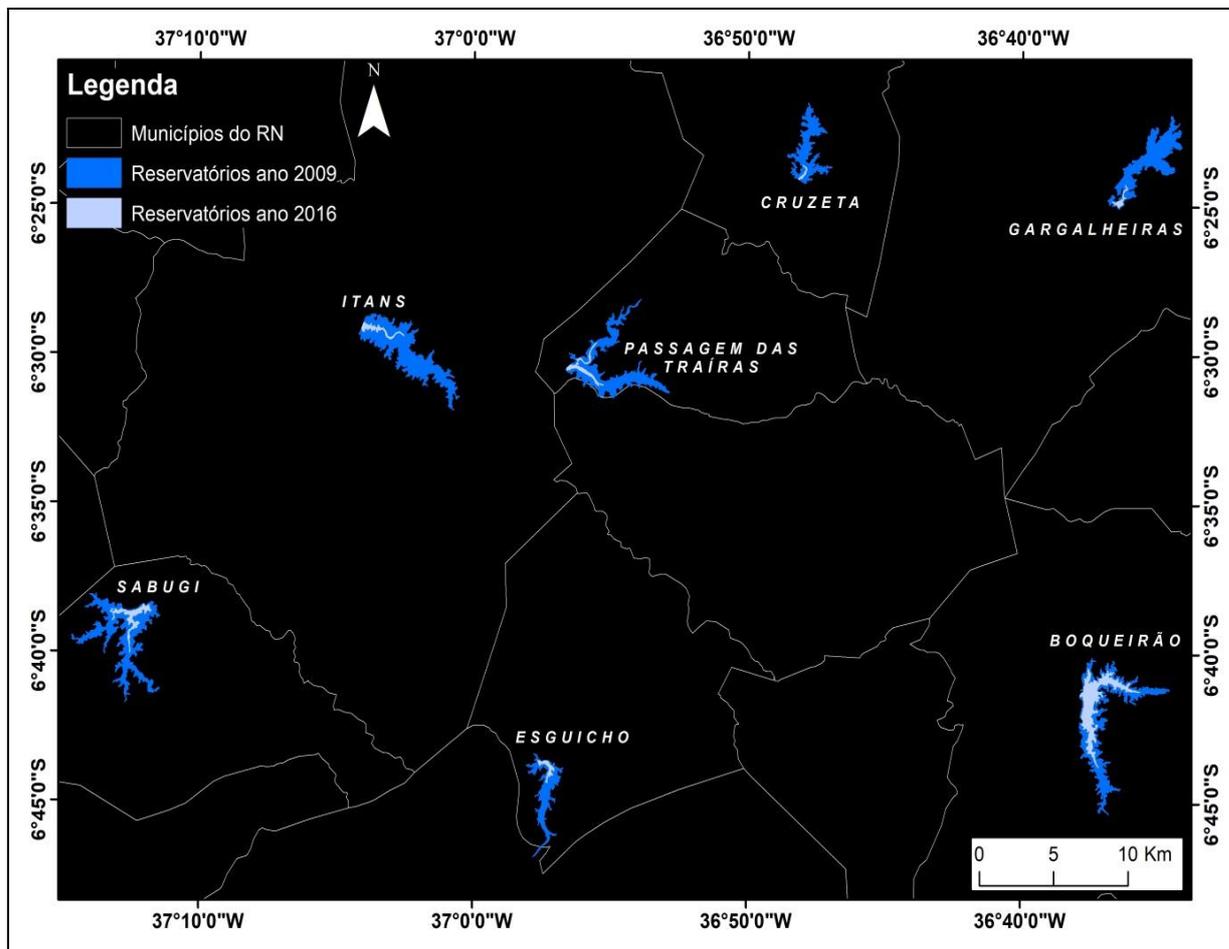


Figura 16: Mapa Multitemporal da extensão do espelho d'água dos reservatórios na área de estudo em 2009/2016.

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo Medeiros et al. (2013), as condições climáticas e hidrológicas de determinada região são os principais parâmetros na estimativa das disponibilidades hídricas. Então, a compatibilidade entre a disponibilidade e a demanda hídrica, além dos parâmetros climáticos (precipitação, evaporação e evapotranspiração) e hidrológicos são fatores essenciais para o conhecimento de um corpo d'água, principalmente para monitoramento hídrico de bacias hidráulicas nos reservatórios utilizados para abastecimento público.

Um trabalho similar, porém mais amplo, foi desenvolvido por Martins et al. (2007), no qual os autores corroboram com a importância do mapeamento sistemático dos espelhos d'água como instrumento essencial do gerenciamento dos recursos hídricos em nível regional. A partir de imagens do satélite LANDSAT, os autores analisaram o espelho d'água existente em toda a região Nordeste do Brasil, mapeando apenas os reservatórios acima de 5 hectares.

Dos sete reservatórios analisados, o Marechal Dutra foi o que teve maior perda d'água, pois em 2009 o mesmo tinha 731 hectares de área ocupada pelo espelho d'água e em 2016 reduziu para 24,49 hectares, encontrando-se atualmente com apenas 1,7% do seu volume total.

Em todos os reservatórios (Figura 17), além de haver a perda d'água sofrida pela evaporação, também há a utilização para o consumo humano e seus múltiplos usos. Esse efeito é notório ao se comparar os resultados do mapa. Observa-se uma redução significativa de área do espelho d'água dos corpos hídricos no ano de 2016 em relação ao ano de 2009, ocasionada principalmente pelas altas taxas de evaporação do semiárido, o longo período de estiagem e os múltiplos usos das águas dos reservatórios hídricos.

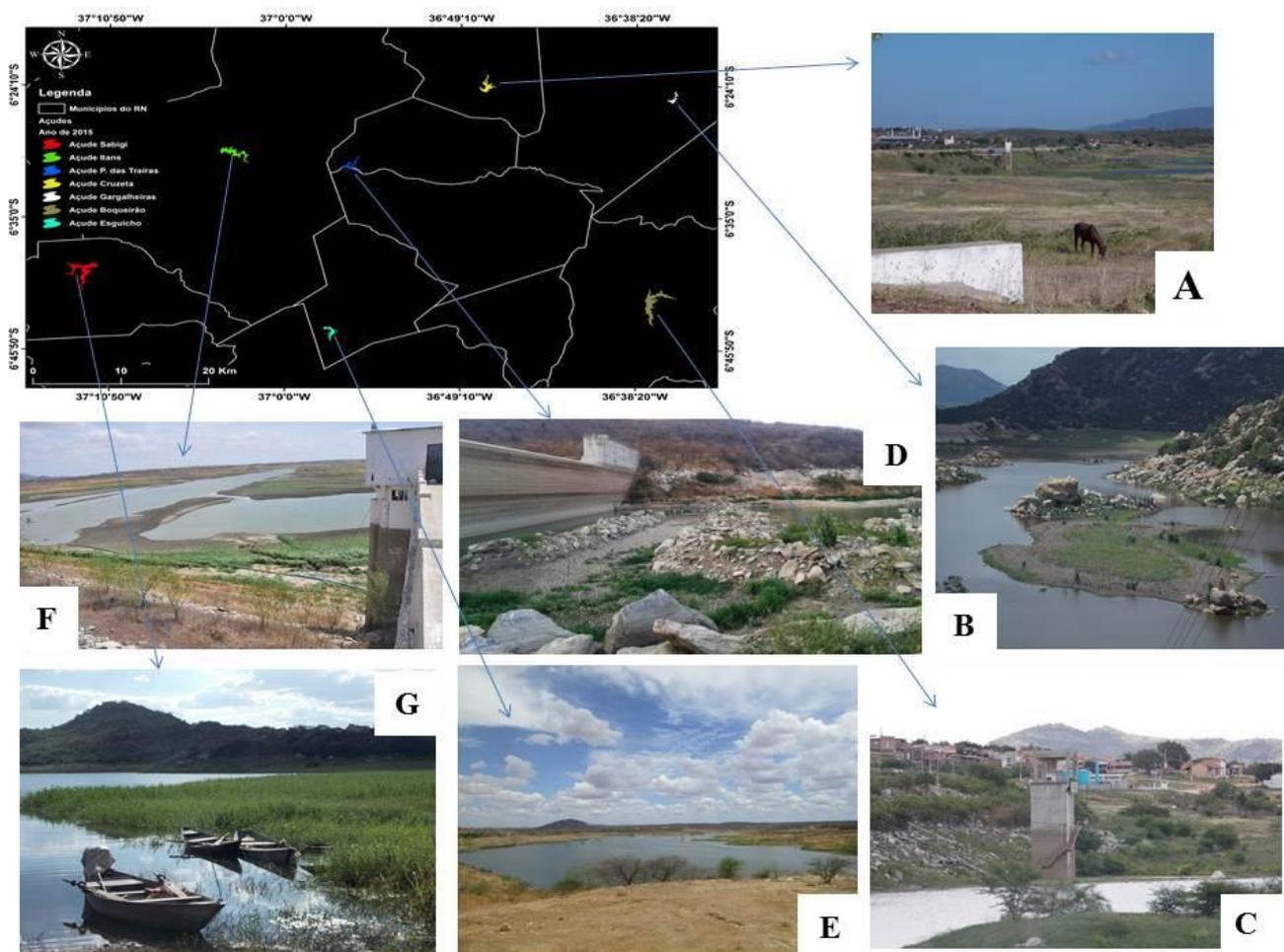


Figura 17: Registro fotográfico dos principais reservatórios da sub-bacia do rio Seridó. A- Açude Cruzeta; B- Marechal Dutra; C- Boqueirão; D- Passagem das Traíras; E- Esquicho; F- Itans e G- Sabugi.

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, com base na estratégia metodológica aplicada neste estudo, será possível a criação de políticas públicas com o intuito de realizar uma gestão dos recursos hídricos da região, necessária nos municípios onde estão localizados os reservatórios.

Tendo em vista o cenário atual, no qual o uso predominante da água é para o abastecimento público, esta análise da disponibilidade hídrica mostra-se como uma ferramenta para consulta do poder público. A partir deste, deverão ser tomadas iniciativas de mobilização dos usuários de água, buscando a implementação de ações que visem a regulação hídrica nos períodos de estiagem.

Esses dados também poderão subsidiar uma discussão mais ampla sobre as estratégias de gestão dos recursos hídricos no semiárido, em particular sobre a construção, manejo e conservação dos reservatórios. Dessa forma, algumas medidas mitigadoras devem

ser planejadas tanto em nível local quanto regional, principalmente na área onde este estudo foi realizado.

4.2 Impactos das demandas pelo uso da água nos principais reservatórios da Sub-bacia Seridó

O quadro de análise DPSIR (Quadro 03), apresenta uma visão integrada dos usos e demandas dos reservatórios num contexto geral, como também das pressões e impactos gerados por cada uso.

As necessidades humanas quanto aos usos dos reservatórios são intrinsecamente ligadas ao uso de água para satisfazer e dar suporte a atividades das comunidades humanas. Dessa forma, tem-se como “Drivers” (D1) o abastecimento para dessedentação humana e animal, sendo este o fator crucial para a construção de reservatórios no Nordeste. No meio rural, os reservatórios se destacam por fomentar a agricultura familiar, de subsistência e áreas irrigadas (D2). A aquicultura, piscicultura e produção pesqueira (D3) são alternativas econômicas para a população ribeirinha, sendo a última muito presente em todos os reservatórios analisados da sub-bacia. Por fim, a irregularidade pluviométrica e a concentração do período chuvoso em 4 ou 5 meses geram, por vezes, eventos de cheias que prejudicam as cidades localizadas ao longo do curso dos rios. Com o intuito de regularizar as cheias (D4), muitos reservatórios foram construídos.

Quadro 03: Esquema DPSIR

DRIVERS (D)
D1 - Abastecimento para dessedentação humana e animal. D2 - Agricultura irrigada, familiar e de subsistência. D3 - Aquicultura, piscicultura e produção pesqueira. D4 - Regularizar e minimizar os efeitos das secas e das cheias.
PRESSÕES (P)
P1 - Uso intensivo das águas e condições climáticas do semiárido. P2 - Destino final das águas servidas e posterior eutrofização. P3 - Assoreamento.
ESTADO (E)
E1 - Exaustão dos reservatórios, a queda da disponibilidade hídrica. E2 - Contaminação e eutrofização de suas águas. E3 - Reservatório assoreado.
IMPACTO (I)
I1 - Comprometimento e suspensão do abastecimento para dessedentação humana e animal, das mitigações dos efeitos das inundações e das estiagens, e da regularização da vazão de rios para o aproveitamento hídrico. I2 - Comprometimento e potencial suspensão do abastecimento para a agricultura irrigada, familiar e de subsistência, e da aquicultura, piscicultura e produção pesqueira I3 - Comprometimento da autodepuração das águas e dos mananciais. I4 - Comprometimento da estética ambiental e do turismo, dos ritos, religiosos ou não, e da instigação para a produção de conhecimento. I5 - Comprometimento e potencial suspensão da manutenção da biota de diversos ecossistemas, da regulação de fatores abióticos (água, oxigênio, ph das águas e dos solos, hidrogeoquímica, etc.), do suporte ecossistêmicos, oferecendo em seu meio uma biodiversidade de organismos (ictiofauna, comunidades planctônicas e comunidades de herbáceas e macrófitas), e dos ambientes propícios para o crescimento de ervas medicinais.
RESPOSTAS (R)
R1 - Manejo de bacias, sub-bacias e micro-bacias hidrográficas do semiárido. R2 - Gestão voltada para os recursos hídricos superficiais. R3 - Destino correto de águas servidas e resíduos sólidos. R4 - Adoção e implantação de outras políticas públicas de convivência com semiárido.

Fonte: Elabora pela autora

A ampla utilização dos recursos hídricos para o abastecimento e dessedentação humana e animal, juntamente com as condições climáticas de semiaridez (P1) causam a exaustão dos reservatórios, com a diminuição da disponibilidade hídrica (E1). Em virtude das barragens serem construídas nos leitos dos rios, os quais são o destino final das águas servidas (P2), estes sofrem com a contaminação e eutrofização das águas, tornando-as impróprias para consumo humano (E2). A utilização dos recursos vegetais (lenha) da Caatinga acaba por deixar diversas áreas

de uma sub-bacia hidrográfica com solos expostos, que ficam mais expostos aos processos erosivos. O material gerado nesse processo é carregado para os leitos dos rios, e posteriormente para as bacias hidráulicas dos reservatórios, podendo provocar assoreamento (P3). Um reservatório assoreado (E3) intensifica as pressões de P1 (Figura 18).

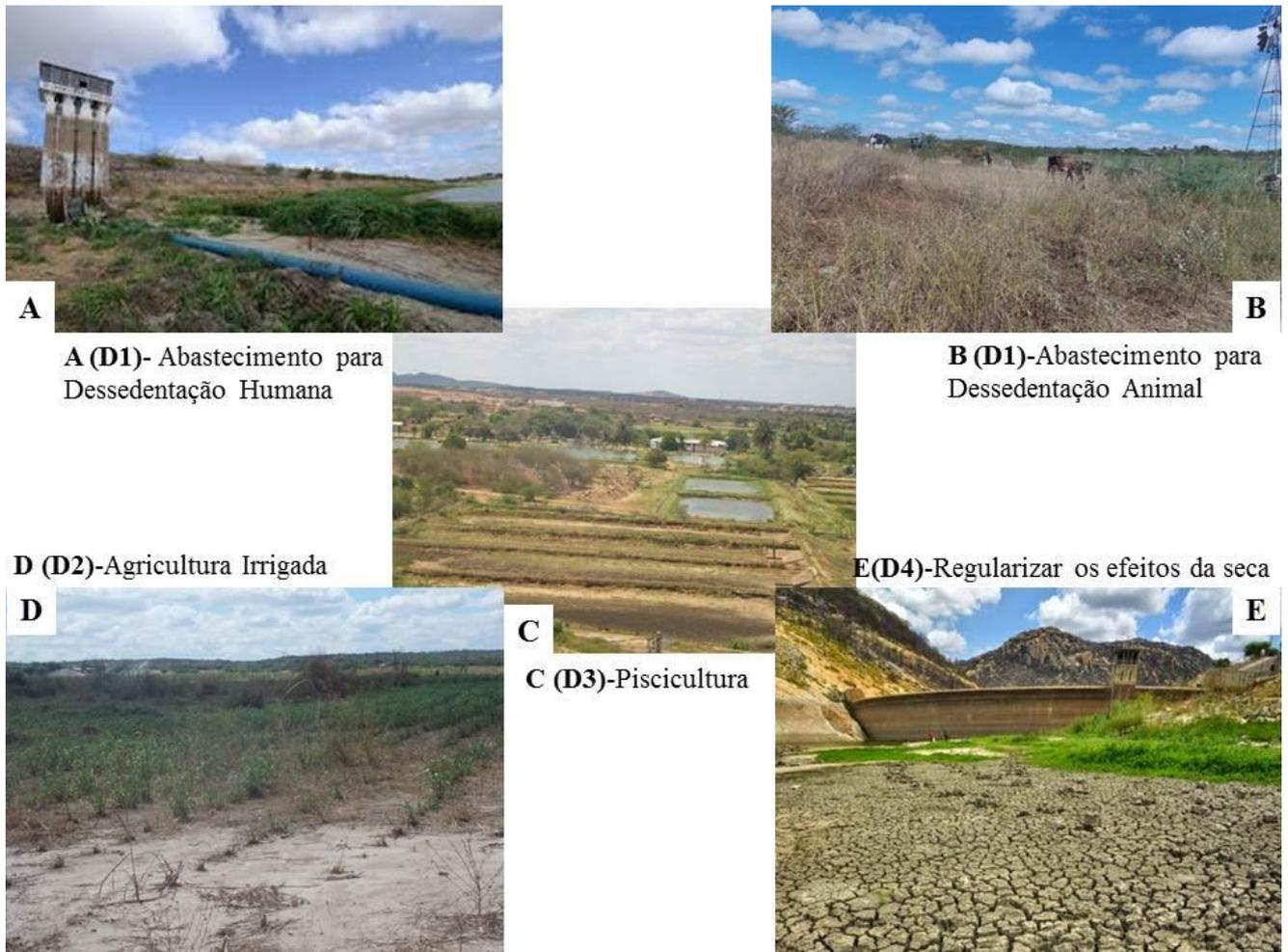


Figura 18: Registro fotográfico dos principais Drivers da sub-bacia Seridó. A, B, C e D- Açude Itans (Caicó-RN); E- Marechal Dutra-Gargalheiras (Acari-RN).

Fonte: Elaborado pela autora

Dependendo do estado no qual se encontram os reservatórios, pode ocorrer à indisponibilidade hídrica para dessedentação humana e animal (I1), maior impacto dentro do quadro DPSIR para recursos hídricos. Pode também ocorrer a interrupção da atividade pesqueira, prejuízos para a agricultura (I2) e a autodepuração da água (I3). Um reservatório assoreado e com águas poluídas ou contaminadas podem afastar banhistas e turistas (I4),

assim como causar o comprometimento e manutenção de habitats e comunidades aquáticas e terrestres (I5).

Diante dos impactos sofridos, as comunidades humanas têm alternativas para diminuir os impactos e maximizar os benefícios ambientais. A primeira resposta (R1) seria o manejo de bacias, sub-bacias e micro-bacias hidrográficas do semiárido, uma vez que minimizaria boa parte dos impactos (I1, I2, I3 e I4). Essas respostas têm base legal na lei nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Uma resposta para mitigar os impactos I4, I5 e I6 (R2) seria o destino correto de águas servidas e resíduos sólidos, as quais são amparadas pelas leis nº 11.445 (Política Federal de Saneamento Básico) (BRASIL b, 2007) e nº 12.305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) (BRASIL c, 2010).

Os reservatórios são frutos de políticas públicas de recursos hídricos, e são justamente os mais difundidos e utilizados, gerando uma forte dependência dos mesmos. Para que se possa diminuir a dependência dos reservatórios para fins alternativos de provisão de água, a terceira resposta (R3) seria a adoção de outras políticas públicas de convivência com o semiárido.

Conforme a Lei Federal 9.433/97, a água para o abastecimento humano tem prioridade sobre qualquer outro tipo de uso. Ou seja, a única exceção, estabelecida na própria lei, é que em situações de escassez, a prioridade de uso da água no Brasil é o abastecimento humano e a dessedentação de animais. Os demais usos, entretanto, não têm ordem de prioridade definida.

Atualmente, os sistemas de abastecimento dos municípios nos quais os reservatórios estão localizados e são alvo desta pesquisa, entraram em colapso ou foram submetidos a severo racionamento, em virtude de alguns fatores, tais como: a variabilidade climática ser muito grande; a sub-bacia hidrográfica Seridó ser bastante impactada por intervenções antropogênicas, como o desmatamento e a construção descontrolada de reservatórios; os reservatórios terem múltiplos e conflitantes usos, inclusive irrigação; o monitoramento hidrometeorológico e das demandas de água serem imprecisos ou, muitas vezes, inexistentes; e que as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos ainda não estarem adequadamente estabelecidas ou consolidadas.

Nesse sentido, a discussão sobre a gestão integrada dos recursos hídricos cada vez mais se distancia da questão puramente hidrológica, passando a incluir os aspectos relacionados ao uso da água e ao gerenciamento da demanda. Também a gestão dos sistemas de distribuição e uso da água, como as redes de abastecimento, já não pode ser pensada

considerando a disponibilidade irrestrita de água ou a garantia total. A gestão das redes de abastecimento deve integrar também a gestão da oferta de água.

4.3 Mapeamento do Uso e cobertura da terra na sub-bacia Seridó

Após ser realizado o processamento digital da imagem de satélite da sub-bacia Seridó, elaborou-se o mapa de uso e ocupação da terra da referida área (Figura 19). De acordo com as informações obtidas, e, por conseguinte, com o mapeamento realizado, foi possível fazer uma avaliação de como o uso e a ocupação dessa sub-bacia hidrográfica encontra-se distribuído. A seguir é apresentado um gráfico (Figura 20) com todas as classes e as porcentagens que cada uma representa com relação à área total de estudo.

Dessa maneira, a partir dos resultados obtidos através do mapeamento do uso e ocupação da terra, vale ressaltar que a sub-bacia Seridó está localizada no Pólo de Desertificação do Seridó (INSA, 2014), e isto permite inferir que apresenta um recorte espacial que esteja passando por estágios de pressão ambiental. Verificou-se que as classes de “Caatinga Aberta” e “Solo exposto” representam em torno de 80% da área total da sub-bacia, sendo assim indicadoras de ambientes alterados.

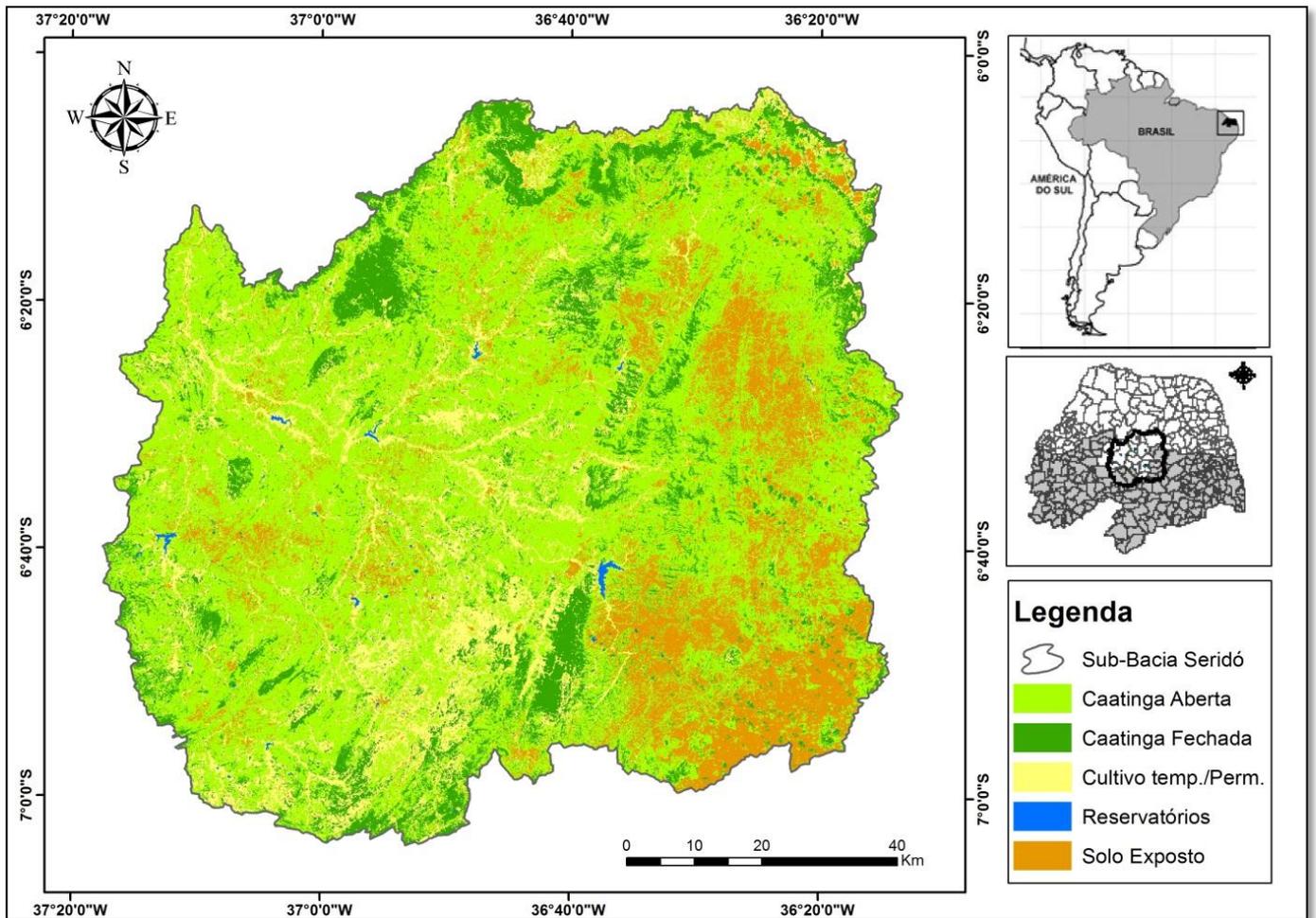


Figura-19: Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia Seridó
Fonte: Elaborado pela autora.

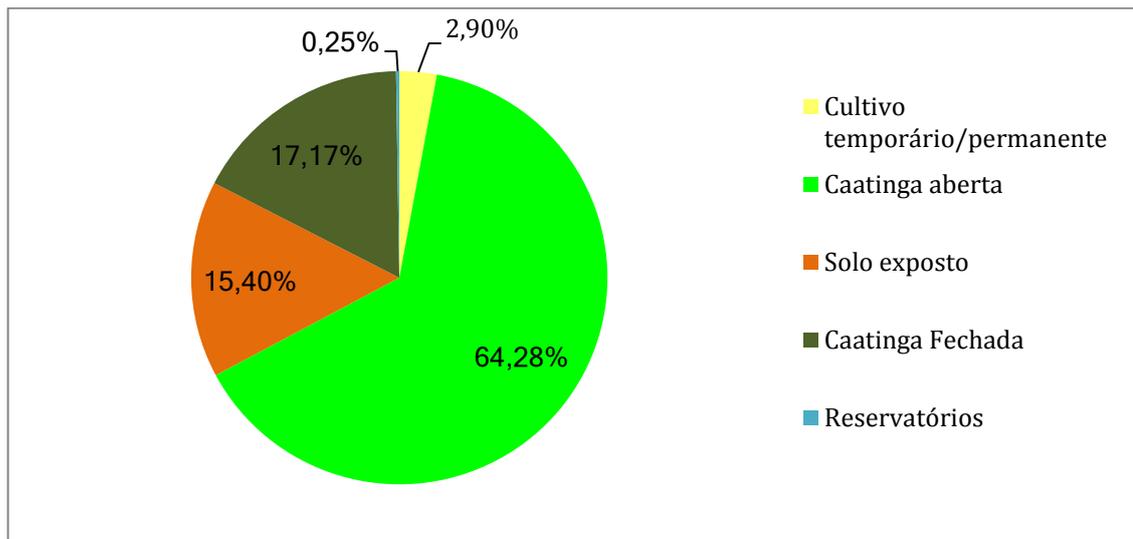


Figura-20: Gráfico com classes de uso da terra da sub-bacia Seridó
Fonte: Elaborado pela autora.

Um cenário semelhante foi registrado na microbacia Riacho do Tronco (Boa Vista-PB), localizada próxima ao Pólo de Desertificação do Seridó (INSA, 2014), onde as classes pecuária e solo exposto foram bastante representativas (MELO e LIMA, 2011). É importante salientar que as pastagens e a agricultura constituem ambientes da caatinga, mesmo aqueles já alterados por outras atividades. Isto é evidente em estudos multitemporais, onde, por exemplo, foi observado que formações de caatinga (principalmente as pertencentes à classe Caatinga Arbustiva) foram sendo suprimidas pela pastagem e por cultivos na microbacia do riacho São Paulo (Microregião Homogênea do Pajeú-PE, semiárido do Brasil), entre 1991 e 2010 (COELHO et al., 2014).

Nas duas pesquisas citadas, a “Caatinga Fechada” (citada como Caatinga Densa) apresenta-se de forma fragmentada na paisagem, cobrindo, geralmente, os altos topográficos (MELO e LIMA, 2011; COELHO et al., 2014). Neste estudo, a Caatinga Arbustiva Densa foi a segunda classe de maior representatividade, relativamente conservada, porém encontra-se fragmentada espacialmente, sobretudo pelas áreas topograficamente mais elevadas e de difícil acesso e/ou desenvolvimento de atividades humanas, como a própria ocupação dessas áreas.

Como pode ser visto no mapa de altimetria da área (Figura 21), são exemplos dessas áreas as escarpas dissecadas da Serra de Santana, o complexo granítico localizado entre Acari e Currais Novos, grande parte da Serra dos Quintos, localizada entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, e ainda a Serra da Formiga situada entre os municípios de Caicó e Cruzeta, e sobre os contrafortes da Serra do Doutor, no estado do Rio Grande do Norte. Ainda vale acrescentar que geralmente esses fragmentos estão, em sua grande maioria, bordejados por faces vegetais pertencentes às classes que estão ou foram degradadas (Caatinga Aberta, Cultivo temporário/permanente e Solo exposto).

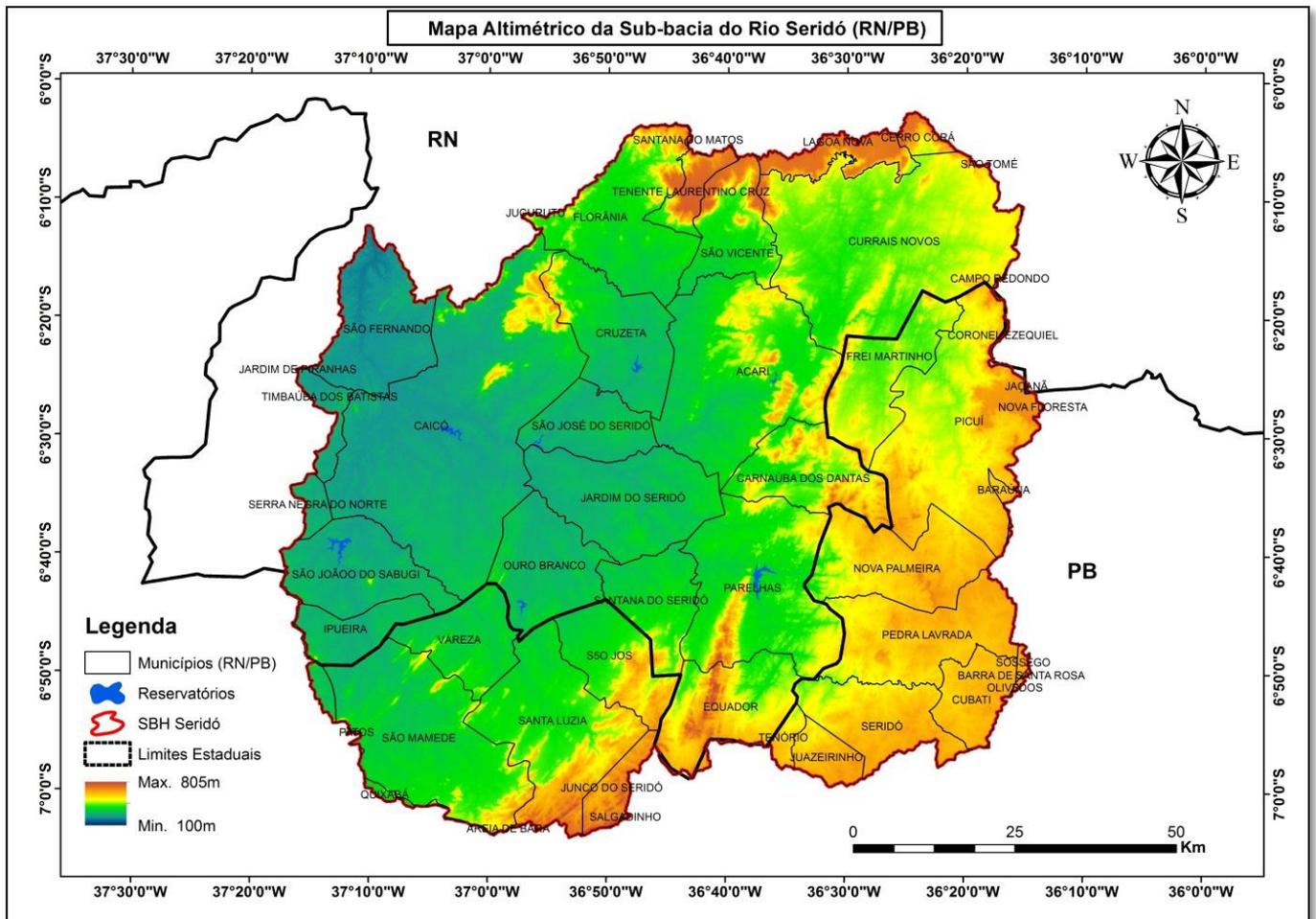


Figura-21: Mapa Altimétrico da sub-bacia Seridó

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse contexto, merece atenção ainda o fato de se apresentarem atualmente, segundo é evidenciado por Pereira Neto e Fernandes (2016), como importantes refúgios da biodiversidade regional, com uma cobertura vegetal densa e maior número de espécies. Configuram-se como áreas nas quais deve haver uma maior atenção por parte das ações conservacionistas do Estado e de entidades privadas e acadêmicas, por aparecerem também como importantes reservas minerais e focos de grande exploração, geralmente pelas indústrias de mineração.

A Figura 22 oferece uma visão das principais classes mapeadas, podendo-se observar o arranjo estrutural da caatinga área de estudo, além de algumas atividades antrópicas.

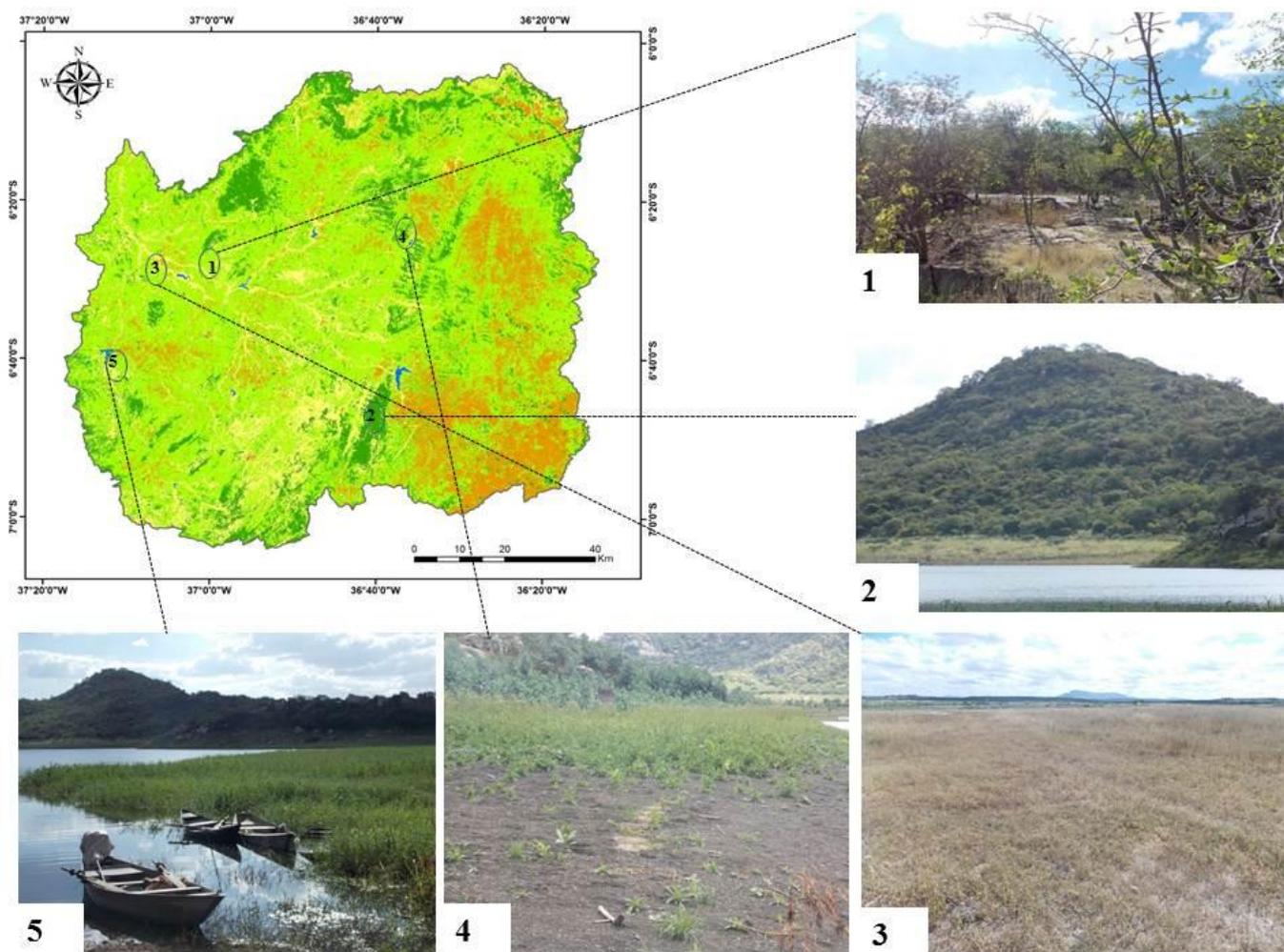


Figura 22: Registro fotográfico das principais classes de usos e ocupação da terra. 1 – Caatinga aberta nas margens do Açude Itans; 2 – Caatinga Fechada nas áreas elevadas no entorno do Açude Boqueirão; 3 – Solo exposto no entorno do Açude Itans; 4 – Cultivo Temporário no entorno do Açude Gargalheiras e 5 – Açude Saugi.

Fonte: Acervo dos autores.

Foi observado também que a classe “Solo exposto” não ocorre em grandes extensões na paisagem da sub-bacia, porém se faz presente nos locais com maior pressão antrópica, uma vez que interfere nos processos e no funcionamento do sistema natural. Entre as áreas identificadas destaca-se grande parte dos municípios de Currais Novos, Acari, Parelhas e Caicó, no estado do Rio Grande do Norte, e de Cubati, Seridó, Pedra Lavrada e Frei Martinho no estado da Paraíba, onde esta classe aparece com uma maior evidência.

Nesse sentido, vale salientar que os estudos em bacias hidrográficas de regiões áridas e semiáridas podem ser úteis para previsão de cenários. Neste caso, um estudo de multiescalas

foi realizado no Irã (bacia hidrográfica do Neka), com o objetivo de prever cenários para o uso e cobertura do solo (SHOOSHTARI e GHOLAMALIFARD, 2015).

Os corpos hídricos somaram apenas 0,25% da área total da sub-bacia Seridó, sendo representados por 7 reservatórios de médio porte, que mesmo se encontrando em sua maioria em estado de exaustão, evidenciou-se que a classe Cultivo temporário/permanente se dá no entorno desses reservatórios. Essa forte presença da classe Cultivo temporário/permanente, indica que as bacias hidráulicas desses açudes e suas margens são utilizadas para o cultivo de forrageiras e ruderais. A presença desta classe indica a ação das comunidades que vivem próximas aos reservatórios.

Esses dados podem ser reforçados por pesquisa realizada nas margens do açude Itans (Caicó - RN), onde foram catalogados, em diferentes pontos, espécimes pertencentes a culturas de forrageiras e outros cultivos (COSTA et al., 2016), evidenciando que as margens dos reservatórios são utilizadas para a agricultura.

O uso intenso dos reservatórios (principalmente de suas margens) é justificado por serem fontes pontuais e relativamente duradouras de água. Os reservatórios do Semiárido brasileiro são ainda mais pressionados em virtude de serem numerosos e também por se constituírem como a principal fonte de água, resultado da mais importante política pública de recursos hídricos do Nordeste (CIRILO, 2008; ARAÚJO, 2012; BARBOSA, 2012).

Verificou-se, a partir do recorte espacial analisado, que a vegetação de caatinga foi muito suprimida, registrando-se extensas áreas de caatinga alterada ou em alteração. A pressão sobre a cobertura vegetal próxima aos reservatórios foi comum a todos os corpos hídricos, sendo bastante perceptível este fato no açude Itans em Caicó.

A supressão da caatinga ao longo de toda a sub-bacia demonstra nitidamente a relação reservatório-bacia de drenagem no semiárido, observando-se neste estudo que as classes predominantes na sub-bacia foram também as mais representativas no entorno dos açudes, e conseqüentemente, nas suas APPs. As atividades humanas, as alterações dos processos ecológicos e toda a modificação no ciclo hidrológico vão ter reflexo nas águas (TUNDISI, 2008; PORTO e LAINA PORTO, 2008), e isso pode ser evidenciado em alguns estudos (MACARY, 2014; KNIGHTES et al., 2014).

O alto grau de alteração da caatinga e a presença de solos expostos na sub-bacia estudada evidenciam a influência humana, resultado de uma ocupação desordenada. O estudo em multiescala realizado por Medeiros et al. (2016) constatou isso na área da microbacia do Riacho do Meio e no entorno do principal reservatório.

A degradação dos componentes vegetais pode provocar a perda de possíveis serviços ecológicos que esta sub-bacia poderia desempenhar (manutenção de solos, diminuição das taxas de assoreamento, bom funcionamento do ciclo hidrológico, etc.), já que é fato que essas áreas desempenham funções importantes (LEIMONA et al., 2015).

4.4 A crise hídrica nos municípios abastecidos pelos principais reservatórios da sub-bacia Seridó

Considerando o severo período de estiagem que vem passando a região Nordeste do Brasil, em especial a Região do Seridó, onde está localizada a área de estudo desta pesquisa, um assunto que merece destaque na atualidade é a escassez da água. Apesar deste ser um problema antigo, o mesmo tem se agravado nos últimos anos devido às mudanças climáticas e aos múltiplos usos dos recursos hídricos sem o devido controle e fiscalização por meio dos órgãos gestores.

Um fator preocupante diz respeito ao comportamento da própria população residente nessas áreas, pois a mesma não tem a devida preocupação em utilizar a água de forma sustentável e com responsabilidade, de modo que evitaria o desperdício.

O abastecimento hídrico no semiárido brasileiro ocorre majoritariamente por meio dos reservatórios superficiais, pois esses são as principais fontes responsáveis pelo abastecimento de água dos municípios que são atendidos pelo serviço de fornecimento de água por meio de redes de distribuição.

Em se tratando da área de estudo em análise, trabalhou-se com os sete principais reservatórios superficiais da sub-bacia Seridó, verificando-se que esses são responsáveis pelo abastecimento de treze municípios localizados no Estado do Rio Grande do Norte. Atualmente, devido ao longo período de estiagem que vem ocorrendo nessa região desde 2012, a maioria dos municípios vem passando por situação crítica de abastecimento.

É evidente que as chuvas abaixo da média aparecem como principal fator contribuinte para a gravidade da oferta de água nas bacias hidrográficas localizadas no semiárido. A vulnerabilidade hídrica é evidenciada pela baixa garantia dos mananciais dessa região que vem sendo explorados ao longo dos anos (ANA, 2014).

Entretanto, entender a crise hídrica somente a partir do aspecto climático deixa de lado importantes questões relacionadas com a responsabilidade dos atores e instituições envolvidas com a gestão da água. Portanto, no decorrer deste capítulo serão salientados

alguns aspectos socioambientais da área de estudo para buscar entender todo o contexto de crise hídrica que a mesma vem passando ao longo desse período de estiagem.

Como já vem sendo mencionado ao longo do texto, o manejo adequado dos recursos hídricos deve dar prioridade ao abastecimento de água para consumo doméstico e estabelecer o equilíbrio entre outras demandas hídricas (o consumo animal, irrigação, produção industrial, etc.). Em relação à disponibilidade de água para consumo humano, pode-se afirmar que a mesma está diretamente associada às condições climáticas e às formas de armazenamento e distribuição. No caso da sub-bacia Seridó o abastecimento geralmente depende de formas alternativas de captação e armazenamento de água (barragens, açudes, cisternas e poços).

Os açudes nessa região aparecem com principal forma de captação e armazenamento de água, que foram construídos pelo Poder Público estadual ou federal e são utilizados para os diversos usos (abastecimento, irrigação, lazer e outros usos). Nas sedes municipais o serviço de abastecimento de água é prestado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Todo o processo de ocupação e exploração dos recursos naturais na sub-bacia Seridó ao longo dos anos sempre se deu nas margens dos cursos d'água, ou seja, na área de APP desses rios, e essa realidade ainda está acontecendo na atualidade, sendo um fator preocupante dentro dessa contextualização de exploração dos recursos naturais na sub-bacia Seridó, já que a mesma faz parte de um dos quatro núcleos de desertificação do Brasil.

Diante desse cenário, torna-se válido fazer uma discussão acerca do comportamento do crescimento populacional nesses municípios que são abastecidos pelos principais reservatórios da sub-bacia Seridó, onde se observou que essa compreende quase toda a Região do Seridó Potiguar, e é responsável por aproximadamente mais da metade da demanda de água disponibilizada para esses municípios abastecidos diretamente pelos sete reservatórios-alvo desta pesquisa.

Desse modo, através dos dados do IBGE, foram realizadas projeções em relação ao crescimento populacional desses municípios, e verificou-se com esses dados que para os próximos anos observa-se tendência de aumento, tanto da demanda de água como da população na sub-bacia Seridó (Quadro 04).

Quadro 04: Ranking populacional dos Municípios da Sub-bacia Seridó-RN

Municípios	População 2000	População 2010	Pop. estimada 2016
Acari	11.189	11.035	11.338
Caicó	57.002	62.709	67.747
Carnaúba dos Dantas	6.572	7.429	8.117
Cruzeta	8.139	7.967	8.155
Currais Novos	40.791	42.668	45.060
Equador	5.664	5.822	6.103
Ipueira	1.902	2.074	2.236
Jardim do Seridó	12.041	12.115	12.566
Ouro Branco	4.667	4.699	4.877
Parelhas	19.319	20.347	21.577
Santana do Seridó	2.377	2.526	2.688
São João do Sabugi	5.698	5.914	6.240
São José do Seridó	3.777	4.231	4.605

Fonte: Elaborado pela autora.

A região do Seridó Potiguar apresenta uma população total de 279.492 habitantes, sendo que 216.778 residem nas zonas urbanas e uma parcela menor, 62.714 habitantes, moram nas zonas rurais. A sub-bacia Seridó está inserida nessa região, abrangendo cerca de 20 municípios na área do Seridó potiguar, onde 13 desses são abastecidos pelos sete principais reservatórios da sub-bacia, equivalendo a uma população total de 188.998 habitantes (IBGE, 2010).

Para uma melhor compreensão da demanda populacional que utiliza a água desses reservatórios optou-se por dividir em quatro classes de demanda por abastecimento, que foram espacializadas (Figura 23). A classe de menor demanda equivale a uma população entre 1.000 e 10.000 habitantes, e são representadas por oito municípios: Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Equador, Ipueira, Ouro Branco, Santana do Seridó, São João do Sabugi e São José do Seridó. A segunda classe representa os municípios com população entre 11.000 e 20.000 habitantes, sendo representada por dois municípios: Acari e Jardim do Seridó. A terceira parte diz respeito aos municípios que possuem entre 21.000 e 40.000 habitantes, sendo representada

somente por Parelhas. Por último, a quarta classe, com população entre 41.000 e 80.000 habitantes, é representada pelos municípios de Caicó e Currais Novos.

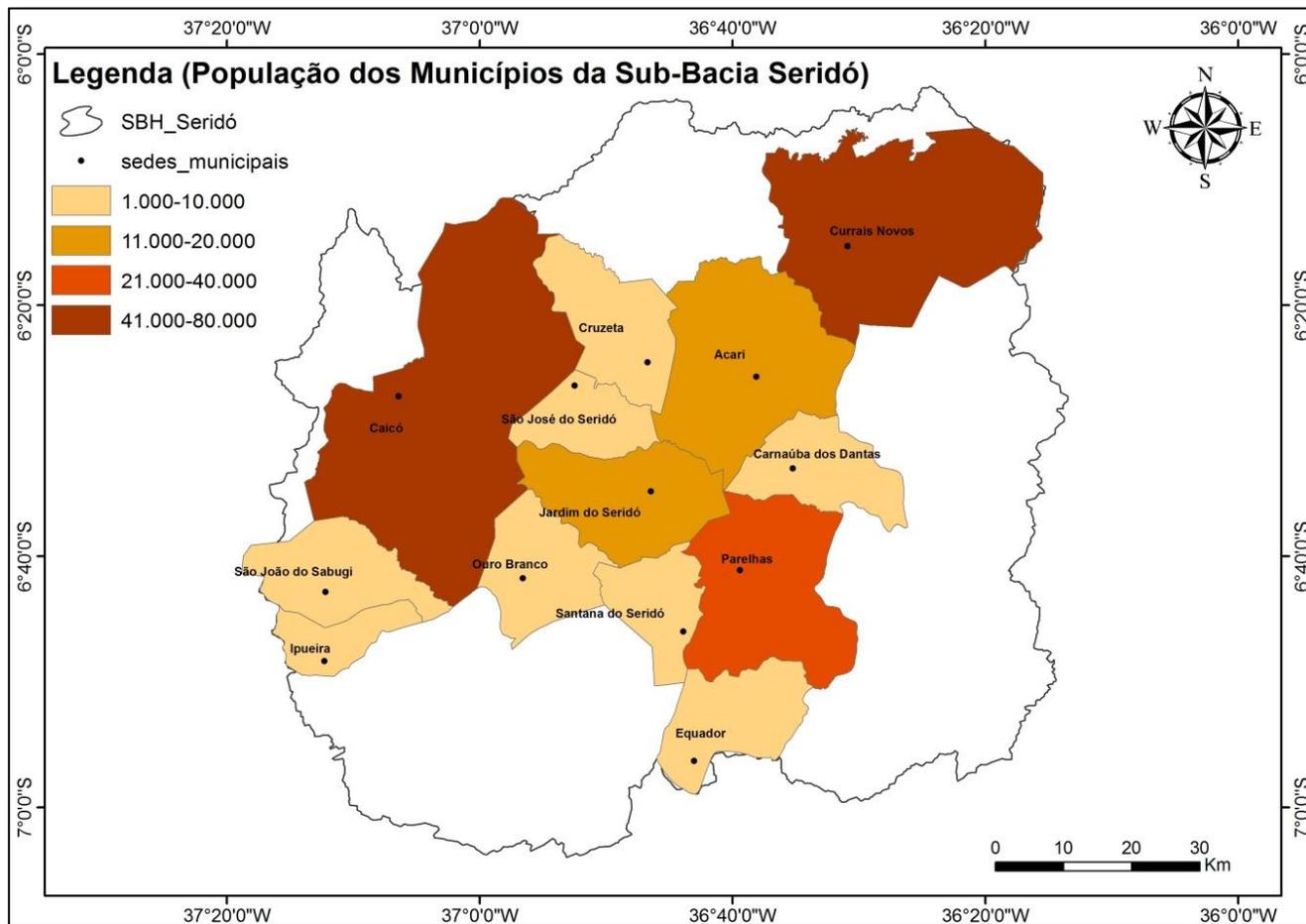


Figura-23: Mapa dos Grupos de População dos Municípios da Sub-bacia Seridó
Fonte: Elaborado pela autora.

Sendo assim, verificou-se que o intervalo de classe que representa a maior parte dos municípios é a de menor população, com população que varia entre 1.000 e 10.000 habitantes, e como já foi citado acima, concentra um total de oito municípios, somando uma população de 38.588 habitantes. Mesmo essa classe sendo a de maior representatividade, soma uma população total inferior a do município de Currais Novos.

Dessa maneira, foi identificado que dos reservatórios que estão localizados na área de estudo, os que concentram as principais demandas para consumo humano são, o Itans, responsável pelo abastecimento de Caicó, que atende através do uso direto e indireto cerca de 62.709 mil habitantes, e o Gargalheiras, que abastece Acari e Currais Novos, atendendo cerca

de 53.687 mil habitantes. A terceira maior demanda por água é no Boqueirão de Parelhas, que nesse período de estiagem, além de abastecer a população da sede municipal, ainda passou a abastecer mais três cidades, a saber: Carnaúba dos Dantas, Equador e Santana do Seridó, que somam uma população de 36.131 mil habitantes.

Na sequência vem a Passagem das Traíras, responsável pelo abastecimento de Jardim do Seridó e de São José do Seridó, somando assim um total de 16.344 mil habitantes atendidos. Logo em seguida aparece o Açude Sabugi que abastece as cidades de São João do Sabugi e Ipueira, atendendo a uma população de 7.999 habitantes. Com uma demanda populacional semelhante aparece o Açude Cruzeta que abastece apenas a sede municipal com um total de 7.429 habitantes, e por último aparece o Açude Esguicho em Ouro Branco, responsável pelo abastecimento de 4.699 habitantes (Figura 24).

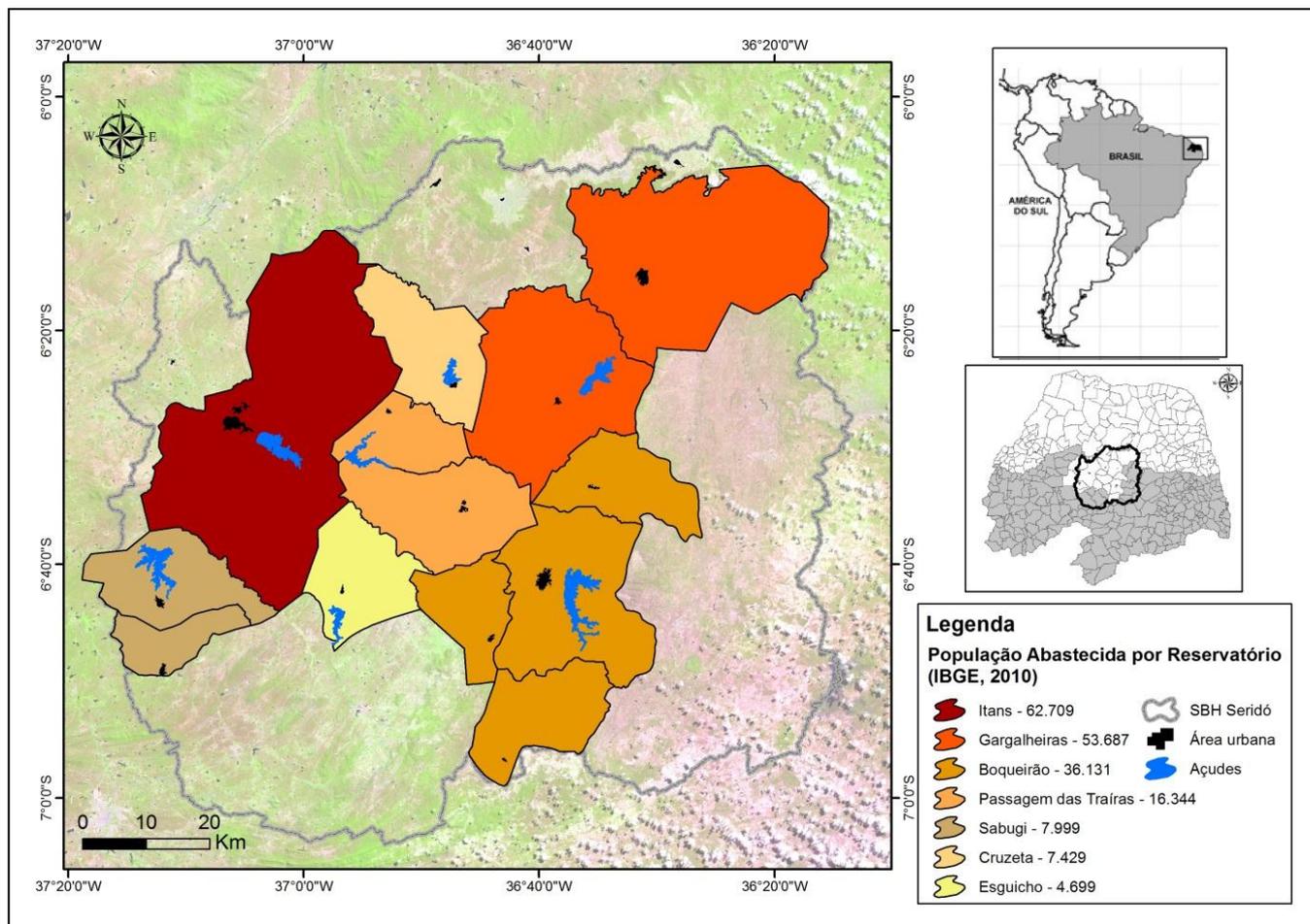


Figura-24: Mapa de População Abastecida por Reservatório da sub-bacia Seridó
Fonte: Elaborado pela autora.

Através dos dados obtidos na CAERN e na SEMARH, foi possível a realização de um levantamento da situação dos sete principais reservatórios de abastecimento hídrico da sub-bacia Seridó, onde foram identificados cinco em colapso total de abastecimento entre os anos de 2015 e 2016. Como pode ser observado no mapa logo abaixo (Figura 25), os únicos reservatórios-alvo da pesquisa que não chegaram a colapsar foram os açudes Santo Antônio, conhecido popularmente como açude Sabugi, responsável pelo abastecimento da cidade de São João do Sabugi, e o açude Boqueirão que abastece o município de Parelhas. Devido aos problemas verificados, foi adotado sistema de rodízio no abastecimento dessas cidades.

De acordo com a CAERN, um dos primeiros reservatórios a colapsar foi o açude Marechal Dutra (Gargalheiras), localizado no município de Acari-RN, que é responsável pelo abastecimento de Acari e parte de Currais Novos. O abastecimento desse sistema através de rodízio teve início no mês de outubro de 2014. Nesse momento a cidade de Acari foi dividida

em 02 setores, cada um sendo abastecido por 24 h e parando 48 h. O período do colapso total do açude Marechal Dutra teve início em 14 de setembro de 2015, se estendendo até a data de 19 de abril de 2016. Nesse período a cidade passou a ser abastecida pela água de 04 poços tubulares localizados na Comunidade Bulhões. A água era aduzida para a ETA da Adutora Integrada Seridó-Gargalheiras, e de lá era conduzida para um reservatório elevado da cidade de ACARI e então distribuída por 02 carros pipas que abasteciam reservatórios distribuídos estrategicamente na cidade.

A cidade de Currais Novos vinha sendo abastecida pelo sistema Gargalheiras desde o mês de outubro de 2014, período em que o açude Dourados, responsável por esse, entrou em colapso total, desse modo a Adutora Integrada Seridó distribuía água para Currais Novos de 48 X 24h. A partir de maio de 2015 essa distribuição foi alterada para intervalos de 48 X 24h entre 04 setores.

No período de colapso total do açude Gargalheiras, e com a saída de operação da Adutora Integrada Seridó Acari-Currais Novos, a cidade passou a ser abastecida por 02 (dois) carros pipas de 46 m³, que captavam água na EBIV da Adutora Serra de Santana, abasteciam a ETA Dourado em dois dias, e a mesma distribuía a água armazenada em 3 horas. A partir de setembro de 2015, com a grave crise hídrica vivida naquela cidade, intensificaram-se os rodízios para 04 setores a cada 12 dias, o qual só atingia 15%.

Em maio de 2015 o açude Cruzeta também entrou em rodízio, passando a distribuir água para toda a cidade durante 48 h e ficando parado 24 h. O colapso total se deu em 24 de novembro de 2015, quando a água ficou imprópria para uso e a cidade passou a ser abastecida por carros-pipa distribuídos em diversos pontos da cidade.

O açude Itans, responsável por parte do abastecimento da cidade de Caicó, já se encontrava em sistema de rodízio desde o ano de 2012 e entrou em colapso total em 04 de dezembro de 2015. Naquele momento o abastecimento da cidade passou a ser realizado pela adutora Manoel Torres que captava água do Rio Piranhas Açu.

No mês de novembro de 2015 a Barragem das Traíras também colapsou. Esse sistema realizava o abastecimento do município de Jardim do Seridó. Nesse mesmo ano de 2015 o Açude Esguicho foi outro que também já se encontrava em estado crítico, e a partir desse ano a cidade de Ouro Branco passou a ser abastecida pela água captada por poço Amazonas.

Diante dos dados comentados anteriormente, ainda é válido acrescentar que atualmente, de acordo com o monitoramento da SEMARH, todos esses reservatórios

encontram-se com suas capacidades hídricas abaixo de 15%, e a situação mais crítica é o açude Cruzeta que atingiu o esgotamento total, chegando a 0%, como pode ser observado no mapa a seguir (Figura 25).

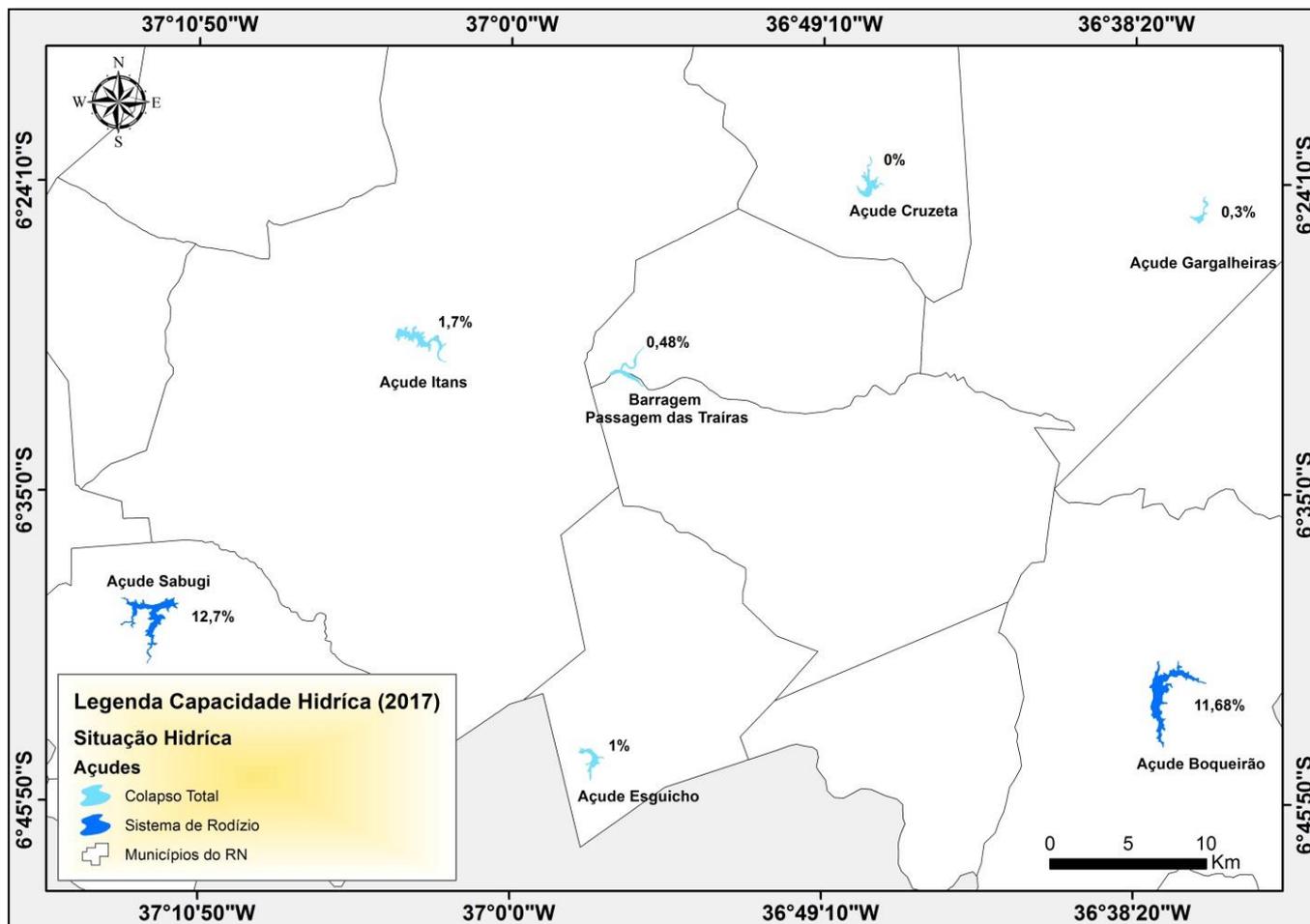


Figura 25: Mapa da atual (2017) situação de abastecimento dos Municípios atendidos pelos 07 principais reservatórios da sub-bacia Seridó.

Fonte: Elaborado pela autora.

Diante das análises realizadas, é claramente perceptível que a problemática relacionada com a questão da crise hídrica nessa região, vai muito mais além de um fator puramente climático, dessa maneira alguns dos aspectos da crise hídrica vem sendo discutido na academia e por autoridades políticas e organizacionais, mas o grande público ainda não percebeu a importância da questão. As ações humanas têm causado grande prejuízo à natureza, através de toda a degradação e poluição sem controle, desmatamento e poluição dos mananciais.

Outro fator de grande importância que se evidenciou na região estudada e que favorece a perda da água é a falta de manutenção preventiva e corretiva das redes de abastecimento, que deveriam ter vida útil de 20 anos, mas a grande parte possui muito mais tempo de atividade. Grande parte das tubulações de distribuição de água da CAERN está sucateada, operando de maneira precária e gerando grandes vazamentos. O Itans, um dos maiores reservatórios de água para o consumo na sub-bacia, vem sofrendo uma grave crise desde 2015. Com a estiagem, a CAERN começou a utilizar a água acumulada no fundo do reservatório, abaixo do nível das comportas, o chamado volume morto, captado através de bombas flutuantes.

De acordo com os órgãos responsáveis pela gestão das águas no RN, a razão para essa problemática sempre se remete à falta de chuvas nesse período de estiagem. Porém, por essa ser uma região marcada por severas secas ao longo de muitos anos, já deveria haver ações de planejamento voltadas aos recursos hídricos que fossem eficazes em longo prazo. As ações ainda são incipientes para resolução da crise hídrica que tem se agravado nos últimos dois anos, e tem afetado de uma forma severa o abastecimento de água para Caicó.

O município que antes era abastecido pelo açude Itans e posteriormente pelo Açude Coremas/Mãe D'água por meio do rio Piranhas/Açu, na atualidade depende exclusivamente do fornecimento de água da adutora emergencial que capta água na Barragem Armando Ribeiro Gonçalves. Durante o mês de maio deste ano, a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) iniciou os testes para a operação da adutora emergencial, construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

Porém, essa fase de testes apresentou alguns problemas técnico-operacionais, vindo a comprometer o abastecimento da cidade. Entre esses problemas foram evidenciados sérios vazamentos na rede de distribuição da adutora, porém as informações que circulavam nos meios de comunicação através da imprensa local eram que as equipes da empresa responsável pela adutora estavam trabalhando para corrigir o problema apresentado na tubulação.

A CAERN fez o acompanhamento da situação dando suporte técnico para tentar solucionar o problema. Porém, esse fato fez com o município de Caicó ficasse sem abastecimento por cerca de 20 dias. Em decorrência disso a CAERN se comprometeu em fazer um levantamento das áreas onde a falta de abastecimento foi mais significativa para analisar a possibilidade de suspender as contas de água desse período.

Diante dessa situação a CAERN solicitou o apoio da população para racionar a água disponível e com o objetivo de buscar soluções para esses problemas. A companhia de

saneamento básico tem lançando ao longo desses dois últimos anos de crise hídrica campanhas que incentivam a sociedade a fazer uso consciente e racionalizar água em todo o Estado.

A análise dos dados obtidos como também da revisão da literatura, retrataram um quadro regional de baixo nível de armazenamento nos açudes, muito crítico, cuja intensificação, principalmente no período de estiagem entre os anos de 2012 e 2016, demonstrou grande risco de falha dos sistemas de abastecimento sustentados pelos referidos reservatórios, justificando, portanto, a necessidade de transposição de água da bacia do rio Piranhas-Açu para a bacia do rio Seridó. Como se pode observar, à exceção dos Açudes Boqueirão (Parelhas) e Sabugi (São João do Sabugi), os demais ficaram, no período supracitado, com seus volumes de água esgotados e abaixo do volume morto.

Diante dos levantamentos realizados nessa pesquisa torna-se válido fazer uma discussão sobre outros trabalhos, para que reforcem os dados obtidos nos resultados. Sendo assim, foram encontradas pesquisas sobre a Barragem das Traíras, Boqueirão e Açude Cruzeta, que embora tenham utilizado outra escala temporal, os resultados apontam para um cenário semelhante.

Desse modo, em relação aos resultados encontrados na pesquisa de Medeiros (2016), evidenciou-se que a qualidade da água do Açude Passagem das Traíras sofre influência tanto de eventos extremos de seca, como do uso e ocupação do solo na bacia de drenagem. A autora ainda elenca que a seca prolongada e as atividades antrópicas na bacia produzem um efeito combinado de potencialização do processo de eutrofização nos corpos hídricos, em especial na região semiárida.

De acordo com os resultados de Medeiros (2016), foi identificado que o processo de eutrofização do reservatório tende a se agravar, seja pelos eventos extremos de seca ou pelas atividades realizadas na bacia sem quaisquer medidas para sustentabilidade ou preservação ambiental. Além disso, em futuros períodos de chuva, pode haver o aporte de sedimentos e nutrientes acrescidos ao solo pelo uso e ocupação, pois as atividades antrópicas aumentam a natural erodibilidade dos solos rasos do semiárido.

Resultados semelhantes com os de Medeiros (2016) foram encontrados na pesquisa de Freitas (2008), que teve como objeto de estudo o Açude Cruzeta. O autor observou que eventos climáticos extremos como longos períodos de seca e/ou períodos de grande cheia podem promover condições capazes de alterar drasticamente a dinâmica do fitoplâncton e o estado trófico do açude Cruzeta.

Nesse mesmo estudo foi constatado que um aumento da turbidez da água acima de um determinado limite crítico, pode ser causado tanto pela maior ressuspensão de sedimentos pela ação do vento durante o período de estiagem ou pela elevada carga externa de sedimentos oriundos da bacia de drenagem durante o período de chuvas, pode levar a uma inesperada redução da biomassa fitoplanctônica e conseqüentemente, uma mudança de estado trófico do reservatório, atenuando os efeitos das altas concentrações de nutrientes nesse ambiente. Dessa maneira, esses fatores podem vir a comprometer a qualidade da água desse reservatório.

No estudo de Miranda (2014) foi pesquisado o Açude Boqueirão, e os resultados indicaram que esse reservatório é um ambiente aquático em condições favoráveis a aceleração do processo de eutrofização. As variações climáticas da região influenciam diretamente o aumento da concentração de nutrientes.

Foi salientado que durante o ano de monitoramento da pesquisa houve um período de seca prolongada, com redução drástica no volume de precipitação, aspecto esse semelhante com o que foi encontrado nesta pesquisa. Segundo o autor, isso influenciou a qualidade da água, de acordo com as variáveis limnológicas analisadas e os resultados do índice trófico e do índice de qualidade da água. Dessa maneira, evidenciou-se que o fenômeno da seca no período de estudo fez com que houvesse um crescimento da concentração de nutrientes, favorecendo um aumento do processo de eutrofização e degradação da qualidade da água.

Portando, comparando esses dados com os que foram obtidos nesta pesquisa, torna-se evidente que a preocupação primordial nesses trabalhos é a de garantir a utilidade múltipla dos reservatórios, já que esses são a principal fonte de abastecimento dessa região, para isso indica-se que deve ser realizado o monitoramento tanto da qualidade da água desses reservatórios, como também dos diversos usos desses recursos, para que assim sejam desenvolvidas atividades de preservação e recuperação das zonas ripárias dos reservatórios.

Ainda salienta-se que para isso é necessário que tais projetos e conjunto de ações sejam integrados, e maximizem os benefícios socioeconômicos e ambientais, ou seja, possuam uma sustentabilidade de cunho econômico, social e ambiental. Os resultados indicam que se deve priorizar um programa de educação ambiental bem articulado com os demais setores interessados e com responsabilidades convergentes, desenvolvido em bases participativas, que poderá constituir um grande instrumento de monitoramento do processo de gestão integrada dos recursos hídricos desses reservatórios da sub-bacia Seridó.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na sub-bacia Seridó as redes de abastecimento urbano de água são supridas, em quase sua totalidade, por mananciais superficiais, denominados regionalmente de “açudes”. Os recursos de água subterrânea são limitados e, portanto, a oferta de água depende exclusivamente da reposição dos estoques hídricos dos reservatórios superficiais durante o curto período chuvoso anual.

De acordo com os resultados obtidos, a partir da metodologia adotada para mapear a dinâmica multitemporal de variação do espelho d’água dos principais reservatórios de abastecimento na sub-bacia Seridó, foi possível verificar, através do presente estudo, uma redução significativa na área do espelho d’água dos sete principais reservatórios da sub-bacia do Rio Seridó durante o atual período de estiagem (2009/2016). Considerando o cenário atual de crise hídrica, onde o uso prioritário da água deve ser destinado para abastecimento público, uma análise da disponibilidade hídrica configura-se como uma importante ferramenta para o poder público.

Na etapa de avaliação dos impactos das demandas pelo uso da água nesses reservatórios foi possível verificar que os sistemas de abastecimento desses municípios entraram em colapso ou foram submetidos a severo racionamento, em virtude de alguns fatores, tais como: a variabilidade climática ser muito grande; a sub-bacia Seridó ser bastante impactada por intervenções antropogênicas, como o desmatamento, a pecuária e até mesmo pela construção descontrolada de reservatórios; esses reservatórios têm múltiplos e conflitantes usos, inclusive irrigação; o monitoramento hidrometeorológico e das demandas de água são imprecisos ou, muitas vezes, inexistentes; e outro aspecto é que as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos ainda não estão adequadamente estabelecidas ou consolidadas.

No mapeamento de uso e cobertura da terra se constatou que a ocupação indevida de qualquer área gera implicações ambientais que podem, em um futuro próximo, acarretar problemas para as comunidades humanas. Quando se trata de uma bacia hidrográfica, bem como as sub-bacias e microbacias, os problemas podem ser ainda mais graves, uma vez que os recursos hídricos são mais impactados, sendo esses recursos vitais para a vida.

Foi identificado que a classe de uso com maior predominância na sub-bacia é a classe de Caatinga Aberta, ocupando 64,8% da área, isso permite deduzir que a área estudada está passando por uma fase de alta pressão ambiental. Tal inferência encontra nos dados

obtidos para a sub-bacia um forte apoio, já que se verificou que as classes de uso e ocupação “Caatinga Aberta” e “Solo exposto” representam em torno de 80% da área da sub-bacia, sendo assim indicadoras de ambientes alterados.

Isto significa que essa questão é preocupante, uma vez que as classes predominantes são referentes a áreas alteradas e/ou degradadas. O padrão de ocupação registrado neste estudo representa que os recursos hídricos desta sub-bacia estão em risco, já que foram registradas atividades agrícolas e cultivos de forrageiras no entorno dos principais reservatórios e essas atividades também são registradas em outros açudes da região.

Através dos dados analisados é possível inferir que são diversos os fatores que contribuíram para atual crise hídrica, tais como: econômico, administrativo, político, social e ambiental. Na esfera administrativa a principal falha ocorre na ausência de um planejamento estratégico, já que há certa carência ou até mesmo inexistência de materiais publicitários que alertem e informem a sociedade sobre a realidade do tema. Já na esfera das políticas públicas é nítida a ausência de normas que possam corrigir a utilização incorreta da água pelos consumidores e até mesmo pela própria CAERN.

No tocante aos fatores sociais, é necessário que seja moldada uma cultura social ampla que englobe todas as esferas, onde seja capaz de criar uma percepção de que se trata de uma responsabilidade coletiva. Em relação aos aspectos ambientais, além da questão climática, que aparece como principal fator dessa problemática, cabe destacar também o aumento populacional combinado com as pressões antrópicas sobre o meio e que está resultando no desequilíbrio entre as atividades humanas e a natureza. Isso se reflete no desmatamento no entorno dos cursos d'água, no saneamento básico precário que contribui para poluição de rios e seus afluentes, no aquecimento global que auxilia na maior evaporação dos reservatórios e no lixo produzido e descartado incorretamente, afetando os lençóis freáticos.

Salienta-se que apesar de contar com uma lei que implementa um sistema de gestão da água integrado, participativo e descentralizado, as ações coordenadas pelo governo do estado do Rio Grande do Norte, e pelos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos não têm sido capazes de evitar a grave ameaça de falta de água na região.

Portanto, a partir de estudos como este, torna-se possível que iniciativas sejam tomadas para a mobilização dos usuários d'água, de modo que sejam implantadas ações a curto e em longo prazo que apontem o manejo adequado da regulação hídrica nos períodos de estiagem na região do Seridó. Como também, utilizar os dados obtidos neste estudo para

subsidiar uma discussão mais ampla sobre as estratégias de gestão dos recursos hídricos no semiárido, principalmente voltadas para a construção, manejo e conservação dos reservatórios. Desse modo, pode-se planejar a tomada de algumas medidas mitigadoras tanto a nível local quanto regional, principalmente na área onde este estudo foi realizado.

Apesar da considerável carência de recursos hídricos na região, verifica-se que se houvesse uma gestão eficaz desses recursos hídricos seria possível supri-la, parcialmente, com recursos hídricos locais, desde que sejam criadas câmaras técnicas municipais de gerenciamento dos reservatórios, dessa maneira os recursos hídricos que estivessem excedentes podiam ser mobilizados, via transposição. Os dados analisados constataam que há escassez em alguns reservatórios e que em outros há uma situação hídrica confortável durante o período de estiagem, ou seja, que onde há água disponível esta seja possa ser remanejada dentro do território da sub-bacia.

Porém, a realidade mostra que mesmo com a restrição de outros usos, o abastecimento de algumas cidades da região do Seridó encontra-se bastante comprometido, o que veio a justificar a importação de água de outro trecho da bacia hidrográfica localizado no estado da Paraíba, para a sub-bacia do rio Seridó no Rio Grande do Norte. Portanto, mostrou-se necessário o manejo para a alocação de água, devido à sua escassez relativa e localizada, com vistas ao suprimento adequado e seguro da região estudada.

Desde o final de 2012, o nível dos reservatórios da sub-bacia Seridó vem caindo, em razão da situação climática, pela redução das chuvas, mas também por outras razões que dizem respeito à ineficácia do gerenciamento dos recursos hídricos. Além disso, observou-se que as soluções apontadas para enfrentar a questão da crise hídrica estão reduzidas a ações emergenciais de caráter técnico, decididas pelos órgãos públicos sem que haja espaço para o envolvimento da sociedade civil. Isso mostra que outros atores envolvidos na gestão da água geralmente são excluídos do debate público sobre a problemática da água na região e que soluções a médio e longo prazo tampouco são consideradas.

A crise hídrica mesmo com os impactos negativos, pode ser vista com uma oportunidade para se repensar o modelo atual de gestão da água, pelo menos a prática e eficácia desse modelo. Por isso, é fundamental a adoção de uma nova estratégia de gestão integrada e participativa da água, que considere a sociedade como ator principal, tanto na tomada de decisão como no controle social das decisões que serão praticadas. Aponta-se para a necessidade de um modelo de gestão que permita a colaboração e a corresponsabilização para garantir o acesso a recursos comuns, como é a água.

Dessa maneira propõe-se que devem ser fiscalizadas e investigadas as atividades prejudiciais a esses sistemas hídricos, para que se coloque em prática o planejamento integrado da sub-bacia Seridó, fazendo-se necessário, no entanto, um trabalho contínuo de monitoramento e da política de saneamento e gerenciamento desses recursos, além de educação ambiental direcionada para a população dessa região, visando a prevenção da poluição dos recursos hídricos disponíveis, preservando-os. Dessa forma, essas medidas adicionais podem ser aplicadas pelos órgãos de gestão ambiental para auxiliar na recuperação da qualidade e quantidade da água desses reservatórios.

REFERENCIAS

AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4 ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007.

ALMEIDA, F. G.; PEREIRA, L. F. M. O papel da distribuição e da gestão dos recursos hídricos no ordenamento territorial brasileiro. In: ALMEIDA, F. G.; SOARES, L. A. A. (orgs.). **Ordenamento territorial: coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2009, p. 85-115.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.46-57, 2010.

ALVES, J. J. A. Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.

ANDRADE-LIMA, D. A. The caatinga dominium. **Rev. Bras. Bot.** Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 149-153, 1981.

ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

ARAÚJO, I. P. **Uso e degradação dos recursos naturais no semiárido brasileiro: estudo na microbacia hidrográfica do Rio Farinha**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos. 2010.

ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas. IN: GHEYI, H. R; PAZ, V. P. S; MEDEIROS, S. S; GALVÃO, C. O. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2012, pp. 29-43.

ARONOFF, S. **Geographical Information System: a management perspective**. Ottawa: WDI Publications, 1989.

ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: Wiley, 1984.

BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n.1, p. 103-118, 2012.

BARTH, F.T.; POMPEU, C.T. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: BARTH, F.T. et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. (Coleção ABRH de recursos hídricos).

BEZERRA, J. E. **Aplicação de técnicas geoestatísticas no processo de otimização de projetos de fundações estaqueadas**. 2014. 246 f. Tese (Doutorado em Geotécnica) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BEZERRA-JÚNIOR, J. G. O; SILVA, N. M. Caracterização geoambiental da microrregião do Seridó Oriental do Rio Grande do Norte. **Holos**, v.2, n.23, p. 78-91, 2007.

BLASCHKE, T.; LANG, S. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

BLUM, W.E.H. Environmental protection through sustainable soil management, a holistic approach. **Adv Geocol**. v. 35, p. 1-8, 2002.

BOLFE, E. L.; MATIAS, L.F.; FERREIRA, M.C. Sistemas de informação geográfica: uma abordagem contextualizada na história. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 1, p. 69-88, jan./abr. 2008.

BRAGA, R. A. P. **Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de florestas e águas, com estudo de caso na bacia do Corumbataí – SP**. 2005. Tese (Doutorado em engenharia hidráulica e saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2005.

BRAGHINI, C. R; VILAR, J. W. C. Gestão Territorial de Áreas Protegidas no Litoral Sergipano: Primeiras Incursões. **Ambivalências** – Revista do Grupo de Pesquisa “Processos Identitários e Poder” – GEPPIP. v. 01, n. 1, jan-jun/2013.

BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2002. 64 p.

BRASIL. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, estabelece a necessidade de delimitação das Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 05 de outubro de 1988.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Institui o Código das Águas do Brasil.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de Outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Unidade de Gerenciamento do Proágua/semiárido. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios**. Brasília: Bárbara Bela Editora Gráfica e Papelaria Ltda., 2005, 112 p.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v.5, n. 5, p. 1-12, 2009.

CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998.

CAMPOS, J. N. B. ; STUDART, T. M. C. Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções. In: American Dialogue on Water Management, 4., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. (organizadores). **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de recursos Hídricos, 2001

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C.; LIMA, H. C. Secas no Nordeste Brasileiro diante de um Cenário de Mudanças Climáticas. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2., 1994, Fortaleza. **Anais...** Ceará: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1994. p. 20.

CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M.M.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: **Ecologia e Conservação da Caatinga**. LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.(Eds). 3ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008, p. 719-734.

CECÍLIO, R.A.; REIS, E. F. **Apostila didática**: manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

CHAVES, L. D.; COSTA, R A. As secas sazonais e o abastecimento de água na cidade de Ituiutaba/MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.2, n.5, p. 184-193, 2012.

CHRISTOFIDIS, D. **Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil**: O caso da bacia do rio São Francisco, Brasília: CDS/UnB, 2001, 430 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.64-72, 2014.

COSTA, D. F. S.; SENA, V. R. R.; OLIVEIRA, A. M.; ROCHA, R. M. Análise da diversidade da vegetação herbácea em reservatório no semiárido brasileiro (açude Itans – RN). **Biotemas**, v. 29, v. 1, p. 25-36, 2016.

COWEN, D.J. GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.54, p. 1551-4, 1988.

DEODORO, S. C. **Análise da bacia do rio Santa Bárbara (MG) baseada em análises morfométrica e multicriterial**. 2013. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento) - Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

DORIGON, C. **Microbacias como redes sócio-técnicas: Uma abordagem a partir do enfoque do ator-rede**. 1997. 233 f. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade). Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

EEA. European Environmental Agency. **Environmental indicators: Typology and overview**. Disponível em: < <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>>. Acesso em: 30/05/16.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790 p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90 p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade e natureza**. 2010, v.22, n.1, pp. 75-91.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V.; SILVA, B. B. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do Rio Taperoá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 271-286, 2013.

FREITAS, J. P.; SOUZA, S. P.; FREITAS, F. E. ; MEDEIROS, M. C. S.; SILVA NETO, M. F. Gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-açu no Estado da Paraíba. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XV, n. 96, jan. 2012.

FREITAS, F. R. S. **Eutrofização do Reservatório Cruzeta na bacia representativa do rio**

Seridó – RN. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN. 2008.

GHEZZI, A. O. **Avaliação e Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina – PR, com o Auxílio de Geoprocessamento**. 2003. 57 f. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2003.

GOMES, N. M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na Região do Alto Rio Grande, MG**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GONDIM FILHO, J. G. C.; FRANCA, D. T.; FORMIGA, K. T. M. **Programa de Abastecimento da População Rural Difusa da região Semi-Árida**: estudo técnico de apoio ao PBHSF, nº 11. ANA/GEF/PNUMA/OEA, Brasília, 2004. 36p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. T. **Erosão e Conservação dos Solos**: conceitos temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HARDLE, W.; SIMAR, L. Applied Multivariate Statistical Analysis. 2 ed. **Springer**, Berlin, 455p. 2007.

HENKES, S L. Histórico legal e institucional dos recursos hídricos no Brasil. **Jus Navigandi**, No. 66, Teresina, 2003.

INSA. Núcleo de Desertificação Seridó. Campina Grande, 2014. 1 mapa color. Escala indeterminável. Disponível em:

<[http://www.insa.gov.br/signsab/static/themes/v1/lib/elfinder/Arquivos/Mapoteca/N%C3%BAcleo%20de%20Desertificacao%20Serido%20\(Paraiba%20e%20Rio%20Grande%20do%20Norte\)%20Formato%20A1.pdf](http://www.insa.gov.br/signsab/static/themes/v1/lib/elfinder/Arquivos/Mapoteca/N%C3%BAcleo%20de%20Desertificacao%20Serido%20(Paraiba%20e%20Rio%20Grande%20do%20Norte)%20Formato%20A1.pdf)>. Acesso em: 10/03/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_uso_da_terra.pdf>. Acessado em: 20/06/2016.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011. 209 p.

KNIGHTES, C. D.; GOLDEN, H. E.; JOURNEY, C. A.; DAVIS, G. M.; CONRADS, P. A.; MARVIN-DIPASQUALE, M.; BRIGHAM, M.E.; BRADLEY, P.M. Mercury and methyl mercury stream concentrations in a Coastal Plain watershed: A multi-scale simulation analysis. **Environmental Pollution**, v.187, p.182-192, 2014.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Organic Trading, 2008, 160p.

KOGAN, F.N. Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection. **Adv. Space Res.**, v.15, n. 11, p. 91-100, 1995.

KRISTENSEN, P. **The DPSIR framework**. Denmark: National Environmental Research Institute, 2004. Disponível em: <<http://wwz.ifremer.fr/dce/content/download/69291/913220/file/DPSIR.pdf>>. Acesso em: 20/05/16.

LACERDA, N.; MARINHO, G.; BAHIA, C.; QUEIROZ, P.; PECCHIO, RÚBEN. Planos Diretores Municipais: Aspectos Legais e Conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. v.7, n.1, p. 55-72, 2005.

LANDSAT 8. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 de Maio de 2016.

LANNA, A. E. Sistemas de gestão de recursos hídricos: análise de alguns arranjos institucionais. **Ciência e Ambiente**, Porto Alegre, v.1, n. 1, p. 21-56, 2001.

LEAL, A. C. Planejamento Ambiental de Bacias Hidrográficas como Instrumento para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v. 3, n.6, p 65-84, 2012.

LEAL, A. C. **Gestão das Águas no Pontal do Paranapanema - São Paulo**. Campinas, 2000. 299 f. Tese (Doutorado em Geociências – Área de concentração em Administração e Política de Recursos Minerais) – Instituto de Geociências – UNICAMP, 2000.

LEIMONA, B.; LUSIANA, B.; NOORDWIJK, M.; MULYOUTAMI, E.; EKADINATA, A.; AMARUZAMAN, S. Boundary work: Knowledge co-production for negotiating payment for watershed services in Indonesia. **Ecosystem Services**, v. 15, p. 45–62, 2015.

MACARY, F.; MORIN, S.; PROBST, J. L.; SAUDUBRAY, F. A multi-scale method to assess pesticide contamination risks in agricultural watersheds. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 624–639, 2014.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 735-741, 2003.

MALVEZZI, R. **Semiárido - uma visão holística**. Brasília: CONFEA, 2007. 140 p.

MARTINS, F.B. et al. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p. 315-322, jul./set. 2005.

MAXIMIANO, G.A. **Bacia do Rio Pato Branco, e Ensaio Cartográfico Para a Análise da Fragilidade do Meio Físico Com Uso de Geoprocessamento**. 1996. 109f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. USP. São Paulo, 1996.

MEDEIROS, A. D. ; COSTA, D. F. S. ; LIMA, E. R. V. ; OLIVEIRA, A. M. . Abordagem de multiescalas como estratégia de análise ambiental em Microbacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, p. 2003-2012, 2016.

MEDEIROS, C. E. B. F. S. **Os impactos na qualidade da água e do solo de um manancial tropical do semiárido devido ao uso e ocupação e evento de seca extrema**. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2016.

MEDEIROS, S. S.; GHEY, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, 440p.

MELO, J. A. B. de. **Diagnóstico Físico-conservacionista e das vulnerabilidades como subsídio ao ordenamento territorial da Microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB**. 2010. 218 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

MELO, J. A. B.; LIMA, E. R. V. Diagnóstico geoambiental em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro, a partir do uso de geotecnologias. **Revista de Geografia(UFPE)** v. 28, n. 1, p. 134-148, 2011.

MELO, J. A. B.; LIMA, E. R. V. Uso da Terra, Vulnerabilidade e Subsídios ao Ordenamento Territorial em Microbacia. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 127-148, jan./abr. 2012.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A.; **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre : ABRH, 2001, v. 1, 536 p.

MENEGUETTI, A. A. C. **Introdução ao geoprocessamento**. Presidente Prudente: Ed. da autora, 1994. 29 p.

MENEZES, E. A.; SILVA, P. C. G. da; QUEIRÓZ, M. A. de; PORTO, E. R. O Semiárido trópico brasileiro. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, p. 359-374.

MIRANDA, K. R. **Influência do Uso e Ocupação de Solo na Qualidade da Água de um Reservatório Mesotrófico na Região Semiárida Tropical**. 2014. 40 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2014.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, 1994. 193p.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. 1. ed. Recife: SUDENE/Cooperação Française/ORSTOM, 1992. 521p.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. IN: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2012, p. 1-28.

MOURA, M. S. B., et al. Clima e água no semiárido. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (Editores Técnicos). **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, p. 37-59, 2007.

NASCIMENTO, F. R. **Degradação ambiental e desertificação no Nordeste brasileiro**: o contexto da bacia do Rio Acaraú – Ceará. 324 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOVAES, W.; RIBAS, O.; NOVAES, P. C. (Coord.). **Agenda 21 Brasileira**: Bases para discussão. Brasília: MMA/PNUD, 2000.

OLIVEIRA, C. C.; MENDES, C. A. B. A efetividade dos Instrumentos de política urbana nos dilemas ambientais com águas urbanas. **REGA**, v. 5, n. 2, p. 5-13, jul./dez. 2008.

OLIVEIRA, M. A.; BARBOSA, E. M.; DANTAS NETO, J. Gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Norte: uma análise da implementação da política hídrica. Natal: IFRN, **Holos**, v. 1, ano 29, 2013.

PADILHA D. G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande, RS**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós – Graduação em Geomática), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PECCATIELLO, A. F. O. Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 24, p. 71-82, jul./dez. 2011.

PEGADO, R. S. **Geotecnologia como instrumento de gestão de recursos hídrico**: estudo da Bacia do Tucunduba – Belém (PA). 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PEREIRA JÚNIOR, J.S. **Recursos Hídricos**: Conceituação, Disponibilidade e Usos. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Estudo. Abril/2004.

PEREIRA NETO, M. C.; FERNANDES, E. . Instabilidade emergente e aspectos de degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB - Brasil). **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, p. 84-97, 2016.

PEREIRA NETO, M. C. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil)**. 2013. 117f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2013.

PERES, R. B. ; SILVA, R. S. Interfaces da gestão ambiental urbana e gestão regional: análise da relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia Hidrográfica. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n.2, p. 13-25, 2013.

PINTO, R. M. S.; CARVALHO, V. C.; ALVALÁ, R. C. S. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 26., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 6077-6083.

PISSARA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n.28, p. 297-305, 2004.

PORTO, R.; ZAHED, F.; TUCCI, C; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade UFRGS: ABRH, 2000.

PORTO, M. F. A.; LA LAINA PORTO, R. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 172 f. Tese (Doutorado) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

RADAM BRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais: Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Usos Potenciais da Terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. v. 23 (folha SB-24-Z-B-I Caicó) Jaguaribe /Natal, 1981.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**. São Paulo: v.11, n.29, p. 127-154, 1997.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. B.; TUNDISI, J. G.; **Águas Doces no Brasil**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; MONTE, B. E. O. Apreciação de métodos de interpolação em dados pluviométricos e sua distribuição espacial. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v.6, n.1, p. 01-07, Jan/Abr. 2012.

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

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. **Recursos hídricos e as bacias hidrográficas**: Âncoras do planejamento e gestão ambiental. Revista do Departamento de Geografia/USP. n.12, 1998. p. 89-121.

ROZENDO, C. Mudanças climáticas e convivência com o semiárido na agenda pública do Seridó Potiguar. **GUAJU**, v. 1, p. 90-105, n. 2015.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jirau Município de Dois Vizinhos – Paraná**. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2005.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A.F.M (Eds.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002.

SCHULT, S. I. M. ; JACOBI, P. ; GROSTEIN, M. D. Desafios da gestão integrada dos recursos naturais: entre a gestão de recursos hídricos e a gestão do território na Bacia do

Rio Itajaí -Santa Catarina. In: Wagner Costa Ribeiro. (Org.). **Rumo ao pensamento crítico socioambiental**. São Paulo: ANNABLUME, 2010, 241-262 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Relatório Jardim do Seridó**. Recife: CPRM, PRODEEM, 2005.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M. PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2 ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.

SILANS, A. M. B. P. Redução de evaporação em açudes: O estado da arte. **RBHR – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2. Abr/Jun, 2003, p. 101-109.

SILVA, L. M. **A gestão dos recursos hídricos em Unaí - MG: os usos múltiplos das águas e suas implicações sócio-ambientais**. 2006. 181p. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Territorial), Departamento de Geografia, Universidade de Brasília. 2006.

SILVA, R. A.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Editores). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 3 ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008, p. 337-365.

SILVEIRA, V. F. **Geoprocessamento como Instrumento de Gestão Ambiental**. In: JUNIOR, A.P., ROMÉRIO, M. de A., BRUNA, G. C. (Editores). Curso de Gestão Ambiental, Barueri-SP: Monole, 2004.

SHOOSHTARI, S. J.; GHOLAMALIFARD, M. Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka Watershed, Iran. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 1, p. 1–19, 2015.

SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará In: LIMA, L. C; SOUZA, M. J. N; MORAES, J. O; **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.

TOWSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O.; KALB, V. Characterization and classification of South American landcover types using satellite data. **Int. J. Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 1189-1207, 1987.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas: Interfaces no Gerenciamento. PHILIPPI JUNIOR, A. In: **Saneamento, Saúde e Ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005.

TUNDISI, J. G. (coord.). **Recursos Hídricos no Brasil**: Problemas, Desafios e Estratégias para o Futuro. Estudos Estratégicos. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 2014.

TUNDISI, J. G.; MATSU MURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

TUNDISI, J.G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Avanços conceituais e metodológicos. **Ciência e Ambiente**. V. 21. 9-20 pp. 2001.

VARELA-FREIRE, A. A. Caatinga Hiperxerófila do Seridó - a sua caracterização e estratégia para a sua conservação. In: Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, 5., 2000, Vitória. **Anais...**, Vitória, 2000, v. 4, p. 83-109.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Desertificação no Nordeste do Brasil. Recife, **Editora Universitária**, 127p. 2002.

VIANNA, P. C. G. **O Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Mercosul**. 2002. 106 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.7-17, 2003.

YANAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geostatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

ZANELLA, M. E. Considerações Sobre o Clima e os Recursos Hídricos. **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, n.36, v. especial, p. 126-142, 2014.