

A ESTRUTURA HÍDRICA DO TERRITÓRIO DO RIO GRANDE DO NORTE: UMA ANÁLISE SISTÊMICA

Bruno Lopes da Silva¹
Adriano Lima Troleis²

Resumo

A estrutura hídrica do território do Rio Grande do Norte é composta por elementos naturais e técnicos. Para entender a totalidade dessa estrutura foi preciso considerar esses elementos de forma articulada. Partindo desse princípio, objetivou-se analisar a estrutura hídrica do território do Rio Grande do Norte numa perspectiva sistêmica. Por meio dessa análise, identificou-se três subsistemas, sendo dois naturais e um técnico, que fazem parte da estrutura hídrica do estado. Entre esses subsistemas percebeu-se a existência de uma teia de relações funcionais, caracterizada pelos *input* e *outputs* de água por meio de processos como precipitação, evaporação, afloramento, fluxo fluvial, captação e transporte.

Palavras-Chave: Recursos hídricos; Subsistemas; Elementos naturais e técnicos.

THE WATER STRUCTURE OF THE RIO GRANDE DO NORTE TERRITORY: A SYSTEMIC ANALYSIS

Abstract

The water structure of the territory of Rio Grande do Norte is composed of natural and technical elements. In order to understand the totality of this structure, it was necessary to consider these elements in an articulated way. Based on this principle, the objective was to analyze the water structure of the territory of Rio Grande do Norte from a systemic perspective. By means of this analysis, three subsystems were identified, two natural and one technical, which are part of the water structure of the state. Among these subsystems, the existence of a network of functional relations was characterized, characterized by the inputs and outputs of water through processes such as precipitation, evaporation, outcrop, fluvial flow, abstraction and transport.

Keywords: Water resources; Subsystems; Natural and technical elements.

¹ Mestre em Demografia (Programa de Pós-graduação em Demografia/UFRN) e Doutorado em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da UFRN. Email: blsilva1986@bol.com.br.

² Professor permanente do Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia da UFRN (PPGe/UFRN) e do mestrado profissional em Ensino de Geografia (GEOPROF/UFRN). Email: adrianotroleis@gmail.com.

LA ESTRUCTURA DEL AGUA DEL TERRITORIO RIO GRANDE DO NORTE: UN ANÁLISIS SISTÉMICO

Resumen.

La estructura del agua del territorio de Rio Grande do Norte está compuesta de elementos naturales y técnicos. Para comprender la totalidad de esta estructura era necesario considerar estos elementos de manera articulada. Con base en este principio, el objetivo era analizar la estructura del agua del territorio de Rio Grande do Norte desde una perspectiva sistémica. A través de este análisis, se identificaron tres subsistemas, dos naturales y uno técnico, que forman parte de la estructura del agua del estado. Entre estos subsistemas había una red de relaciones funcionales, caracterizadas por entradas y salidas de agua a través de procesos tales como precipitación, evaporación, afloramiento, flujo de ríos, extracción y transporte.

Palabras clave: Recursos hídricos; Subsistemas; Elementos naturales y técnicos.

INTRODUÇÃO

A geografia física em seu processo evolutivo tem se preocupado com a análise integrada do espaço, principalmente no que concerne à superação da dualidade que marcou a gênese do conhecimento geográfico institucionalizado (natural x humano; natural x técnico; ambiental x social). Foi nessa perspectiva que vieram à tona as abordagens de cunho geossistêmico, como por exemplo, os estudos desenvolvidos pelas escolas soviética e francesa de Geografia, mais precisamente as pesquisas realizadas por Sochtava e Bertrand.

Assim, a abordagem sistêmica passou a ser utilizada em vários temas da geografia física, dentre eles no âmbito dos recursos hídricos, cuja dinâmica de funcionamento estrutural envolve uma diversidade de subsistemas e de elementos tanto de ordem natural quanto técnica. Nesse sentido, para o entendimento do uso desses recursos de forma abrangente é necessária uma análise holística, com ênfase na totalidade territorial da dinâmica hídrica, tendo em vista a variedade de *inputs* e *outputs* que envolvem a circulação, armazenamento e captação da água entre os elementos naturais e técnicos.

Ao tratarmos dos elementos da estrutura hídrica de um determinado território, referenciamos todos os subsistemas que estão direta ou indiretamente relacionados à dinâmica das águas. Incluem-se nesse contexto subsistemas naturais e respectivamente técnicos; as condições climáticas, os aquíferos e bacias hidrográficas, bem como os poços tubulares, açudes, barragens e adutoras.

Diante disso, objetivou-se nessa discussão analisar a estrutura hídrica do território do Rio Grande do Norte numa perspectiva sistêmica. Para o desenvolvimento dessa análise foram definidas quatro seções temáticas: na primeira, aborda-se as condições de precipitação e zonalidades climáticas; na segunda, os sistemas de aquíferos e bacias hidrográficas; na terceira, poços tubulares, reservatórios e sistemas de adutoras; e na quarta, a proposta de análise sistêmica dos recursos hídricos.

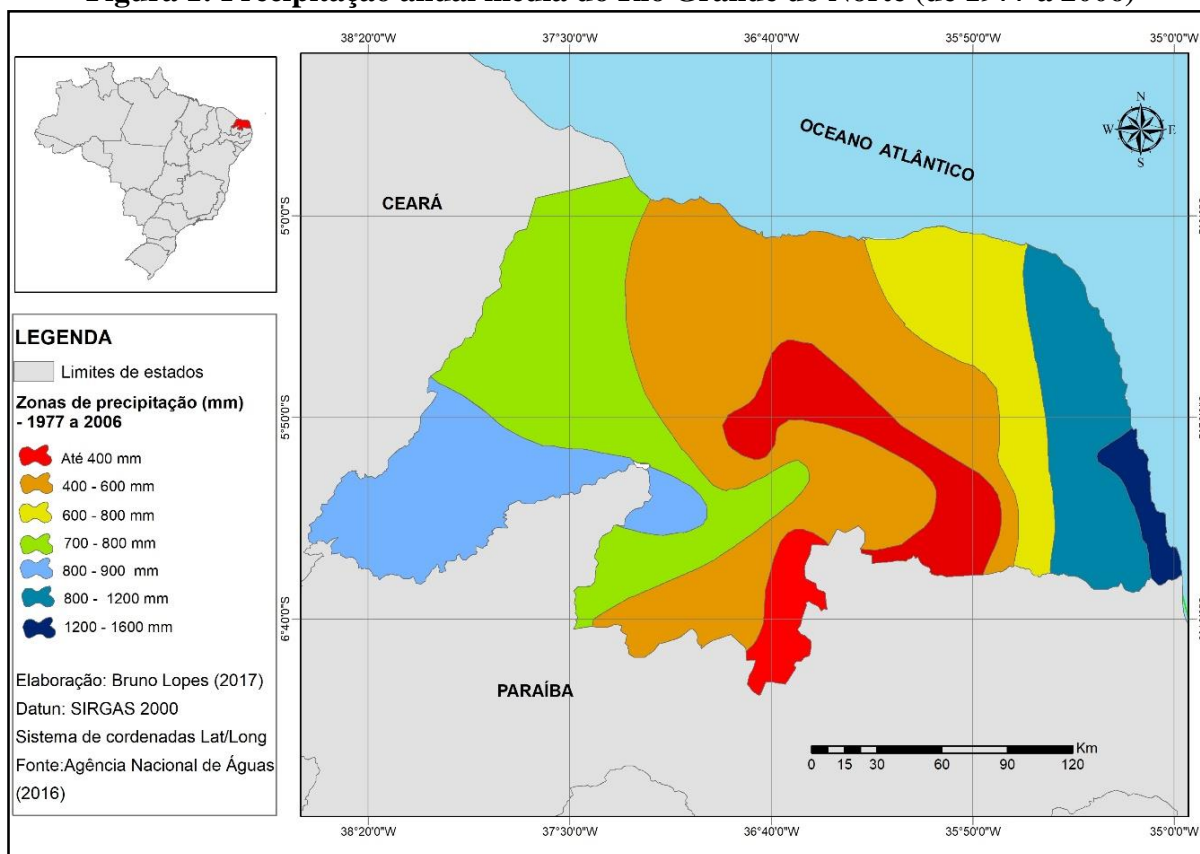
CONDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E ZONALIDADES CLIMÁTICAS

As condições de precipitação envolvem “o conjunto de águas originadas do vapor de água atmosférico que cai, em estado líquido ou sólido sobre a superfície da terra” (GARCEZ; ALVAREZ, 1988, p. 57). De acordo com estes autores, as precipitações, principalmente no formato líquido, interferem diretamente na dinâmica do ciclo hidrológico e nas condições de estruturação dos recursos hídricos. A variação dos níveis de precipitação em um território está relacionada à suas características climáticas, pois ao longo de uma área existem diferentes fatores e elementos climáticos em interação, os quais são responsáveis pela configuração de quadros extremos e irregulares com relação aos volumes pluviométricos.

Partindo dessa perspectiva, no estado do Rio Grande do Norte identifica-se a existência de quadros extremos de precipitação, sobretudo no que concerne ao binômio seca (baixa pluviosidade) e chuva (alta pluviosidade) (TRAVASSOS; SOUZA; SILVA, 2013). Uma das formas de se identificar esses quadros extremos de precipitação, empiricamente, é a partir da representação das médias anuais de precipitação, tal como foi proposto pela Agência Nacional de Águas (2016), cuja representação encontra-se expressa na figura 1.

De acordo com a figura 1, percebe-se a existência, na escala regional, de sete subdivisões pluviométricas. Na região litorânea leste do estado, há o predomínio de áreas de maior índice pluviométrico, que variam entre 800 e 1600mm. Uma pequena parte dessa região também apresenta índices que variam de 1200 a 1600mm. Tal região, juntamente com o extremo oeste do estado, é a que apresenta os maiores valores pluviométricos. Já nas áreas central e oeste do Rio Grande do Norte, o índice médio pluviométrico varia entre 400 e 800mm, representando 75% do seu território.

Figura 1: Precipitação anual média do Rio Grande do Norte (de 1977 a 2006)



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016); e nas informações fornecidas por Diniz e Pereira (2015).

Destaca-se que o índice pluviométrico é um dos elementos fundamentais para se definir uma zona climática. Partindo dessa perspectiva, o IDEMA (2015) identificou no território do estado cinco tipos de climas, sendo eles de natureza úmida (Úmido; Subúmido; Semiúmido) e de natureza árida (Semiárido; e Semiárido Rigoroso), o que reflete sua dualidade pluviométrica (seco-chuvoso). O que diferencia os climas úmidos dos climas áridos é o excedente de água nas suas respectivas regiões de atuação. As áreas com essas características estão localizadas no litoral leste e no extremo oeste do estado (que correspondem a 25% do território do RN). Por outro lado, os outros 75%, os quais englobam a parte central, parte da região oeste e o litoral setentrional, apresentam características áridas e semiáridas.

Essa variabilidade das condições climáticas no Rio Grande do Norte interfere na disponibilidade hídrica do estado como um todo, seja das fontes superficiais e/ou subterrâneas. Entende-se como disponibilidade hídrica “uma vazão de alta garantia no tempo, ou seja, uma

vazão que estará acessível na maioria do tempo, mesmo em períodos secos” (ANA, 2016, p. 23).

Segundo Rebouças (1997), essa disponibilidade forma-se em função dos fluxos de água entre a terra e a atmosfera (*inputs - precipitação; outputs - evapotranspiração*), o que pode interferir no volume dos recursos hídricos estocados em fontes superficiais ou subterrâneas. No caso da parte central do Rio Grande do Norte (Semiárido e Semiárido Rigoroso), os *outputs* de água são maiores do que os *inputs*. A única objeção a ser feita a esse respeito é com relação à disponibilidade hídrica subterrânea, cuja influência atmosférica sobre a água estocada nos aquíferos tende a ser bem menor.

SISTEMAS DE AQUÍFEROS E BACIAS HIDROGRÁFICAS

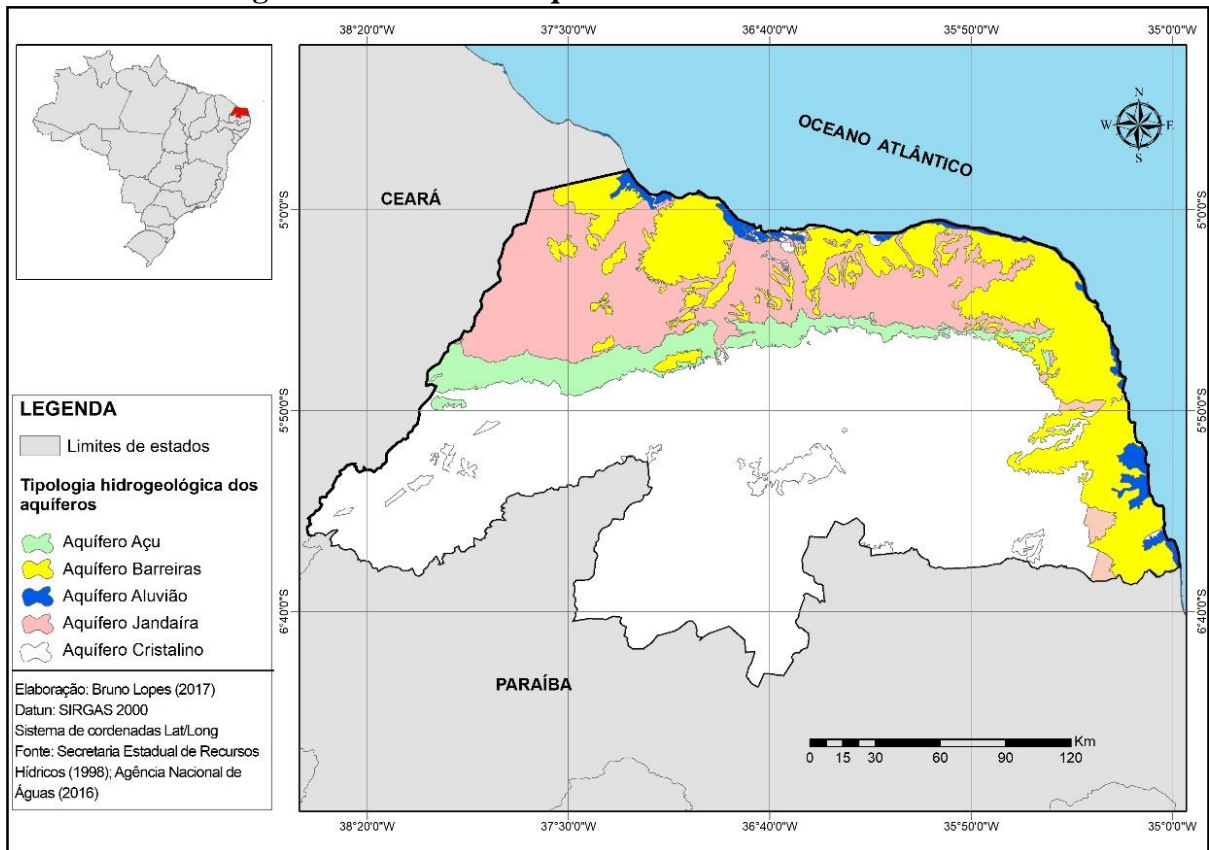
Os sistemas de aquíferos são formações geológicas de diferentes matérias, que contêm água armazenada e que permitem a movimentação desse recurso hídrico nos interstícios das rochas (GUERRA; GUERRA, 2008). A recarga dos aquíferos está associada a dois processos: a precipitação e a infiltração. Ambos os processos permitem o *input* de água no sistema terra, porém, quando o foco de análise são os aquíferos, o processo que caracteriza melhor a entrada de água nas fontes subterrâneas é, sem dúvida, a infiltração.

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o processo de infiltração decorre das características geológicas do solo, do relevo e da vegetação. Esse processo possui estágios distintos, considerando o contato inicial da água com o solo, até a sua chegada e consequente armazenamento nos interstícios das rochas. Há o estágio de descida, em que a água escoar de forma descendente, por gravidade, até atingir camadas impermeáveis; e existe também o estágio de circulação, que se configura quando o solo fica saturado e a água escoar por declividade, gerando a formação dos lençóis subterrâneos.

Porém, esses estágios de descida, circulação e armazenamento da água varia considerando a existência de aquíferos com estruturas geológicas distintas. No caso do estado do Rio Grande do Norte, há um total de cinco sistemas de aquíferos, cada qual com diferentes características; fato que tende a influenciar nas suas respectivas condições de disponibilidade hídrica. Para entender as variações estruturais com respeito ao armazenamento e às condições de vazão, é necessário analisar as características de cada um desses aquíferos.

Nesse sentido, a figura 2 identifica e espacializa cada um dos cinco sistemas de aquíferos existentes no território do Rio Grande do Norte:

Figura 2: Sistemas de aquíferos do Rio Grande do Norte



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

De acordo com a figura 2, o Rio Grande do Norte possui os aquíferos Açú, Barreiras, Aluvião, Jandaíra e Cristalino, sendo este último aquele que abrange a maior parte do território do estado. Em relação ao aquífero Açú, a sua constituição é predominantemente arenosa, apresentando arenitos grossos, médios e finos. Esse aquífero proporciona uma descarga total da ordem de $45,9 \times 106\text{m}^3/\text{ano}$, a qual pode ser mantida nesse mesmo nível ao longo de 20 anos de exploração, podendo até produzir vazões da ordem de $400\text{m}^3/\text{hora}$. (VASCONCELOS, 2006).

A recarga dos aquíferos citados se dá de duas formas: através da infiltração das precipitações e por meio do próprio fluxo superficial dos rios nos períodos de cheias. Os poços tubulares perfurados podem produzir vazões de até $12\text{m}^3/\text{hora}$, podendo variar para mais ou para menos, dependendo do local onde seja feita a perfuração (VASCONCELOS, 2006).

O aquífero Barreiras por sua vez, “apresenta-se, sob o ponto de vista litológico, bastante heterogêneo, envolvendo desde arenitos pouco argilosos a conglomeráticos, até argilas” (LUCENA; ROSA FILHO; BITTENCOURT, 2004, p. 21). Além disso, os autores acrescentam

que vazões exploráveis podem chegar a valores que variam de 5 a 100m³/hora. Porém, considerando o elevado ritmo de exploração desse aquífero, aliado a irregularidade pluviométrica, estima-se que, por volta do ano de 2025, a sua disponibilidade hídrica já começaria a apresentar sinais de esgotamento, o que exigiria a prospecção de água junto a outros aquíferos (COSTA, 2000).

A figura 2 também mostra o aquífero Aluvião, que se trata de uma fonte de água subterrânea pouco desenvolvida, ocorrendo em faixas de largura entre 50 e 400 metros ao longo do leito de rios.

Além do aquífero Aluvião, o Rio Grande do Norte possui também o Jandaíra. Esse aquífero é constituído por calcários cinzas e cremes, margas, siltitos, folhelhos, argilitos e dolomitos (VASCONCELOS, 2006). O aquífero Jandaíra apresenta vazões que variam de 10 a 100m³/hora, sendo que os maiores valores se concentram nas áreas mais próximas da faixa litorânea setentrional (MELO, 2006).

Já o aquífero Cristalino é o que ocupa a maior extensão territorial do estado, tendo sua composição geológica relacionada às rochas do embasamento cristalino. Funcionalmente, esse aquífero é caracterizado como sendo um mau armazenador de água, tanto em quantidade - pois suas vazões de exploração variam de 2 a 16 m³/hora - quanto em qualidade, uma vez que a água captada apresenta elevado teor de salinidade (VASCONCELOS, 2006).

Segundo Melo (2006), esses cinco sistemas de aquíferos são utilizados principalmente para o abastecimento humano e para a prática da irrigação de culturas agrícolas, cuja exploração se dá via poços tubulares ou através do afloramento natural desses aquíferos. São nesses afloramentos que as bacias hidrográficas recebem as descargas das águas subterrâneas, o que tende a influenciar o regime pluvial ao longo do tempo.

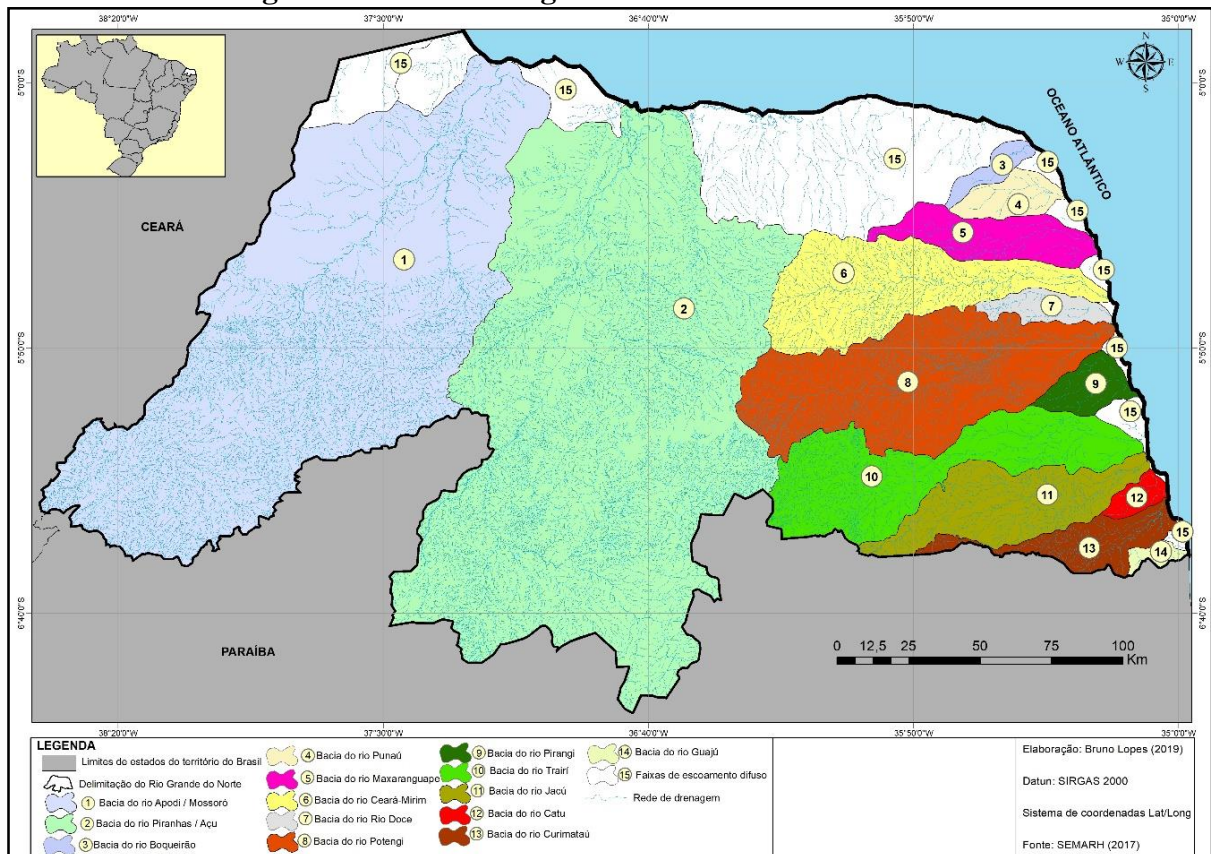
Partindo desse princípio, entende-se que a hidrografia de uma área é um elemento de grande importância para a gestão das águas superficiais, uma vez que, ao se adotar as bacias hidrográficas como unidades de planejamento, torna-se possível trabalhar numa perspectiva integrada, ou seja, considerando os aspectos físicos, econômicos, sociais e institucionais dessas bacias (TUNDISI, 2003). Por envolver esses vários aspectos, as suas definições variam muito, porém, na concepção de Guerra e Guerra (2008), a bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes.

Morfologicamente, a individualização de uma bacia e a sua consequente separação de uma bacia vizinha é feita através de divisores de água que são formas de relevo responsáveis

por dividir as precipitações e direcionar o escoamento entre sistemas fluviais distintos. Nesse sentido, em um território, a existência de um conjunto de bacias está condicionada a esses divisores, sendo que, cada bacia ao ser individualizada, terá propriedades específicas e peculiares, como morfologia; área de drenagem; e hierarquia pluvial (VILELA; MATOS, 1975).

No contexto do Rio Grande do Norte, foram individualizadas um total de 14 bacias hidrográficas e isso significa dizer que cada uma delas possui morfologia, área de drenagem e hierarquia pluvial distintas. Na figura 3 há a representação dessas bacias hidrográficas bem como das áreas de escoamento difuso do território Rio Grande do Norte.

Figura 3: Bacias hidrográficas do Rio Grande do Norte



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH, 2017).

A análise da figura 3 permite identificar no território do RN um total de 14 áreas drenadas por rios principais e seus afluentes, as chamadas bacias hidrográficas. Além dessas 14 bacias, o Rio Grande do Norte possui também uma outra categoria de drenagem que são as

faixas litorâneas de escoamento difuso, caracterizadas como filetes de água que afloram na zona costeira e escoam em direção ao oceano atlântico (SEMARH, 2015).

Com relação às bacias hidrográficas percebe-se que elas apresentam magnitudes espaciais diferenciadas, como demonstra a figura 3. Dentre as de maior abrangência territorial de área drenada, duas se destacam no contexto do estado, são elas: a bacia do rio Apodi/Mossoró e a bacia do rio Piranhas/Açu, que fluem em sentido sul/norte. Vale lembrar que essas duas bacias hidrográficas drenam principalmente as áreas localizadas nas regiões Oeste e Central do Rio Grande do Norte, respectivamente, sendo de extrema relevância para as populações que habitam essas regiões do estado.

As outras bacias de menor extensão territorial de área drenada, diferentemente da Apodi/Mossoró e Piranhas/Açu, deságuam no litoral Leste do estado, fluindo em sentido oeste/leste, tais como as bacias dos rios Boqueirão, Punau, Maxaranguape, Ceará-Mirim, Doce, Potengi, Pirangi, Tairi, Jacu, Catu, Curimatau e Guajú. Dentre essas áreas de drenagem fluvial citadas, destaca-se a principal bacia da capital do Rio Grande do Norte, chamada de Potengi, que percorre vários territórios antes de desaguar na cidade de Natal, servindo também como mecanismo de comunicação fluvial com o Oceano Atlântico, por onde trafegam inúmeros navios e outros tipos de embarcações.

Já as faixas de escoamento difuso, que se encontram localizadas nas regiões litorâneas Norte e Leste, atuam também no processo de direcionamento das águas Continentais para o Oceano Atlântico. O fato de serem caracterizadas como faixas de escoamento, e não como bacias, é porque não apresentam áreas de drenagem delimitadas por divisores de água e cursos hidrológicos morfologicamente definidos por meio de vales, montantes e jusantes (SEMARH, 2015). De todo modo, as faixas de escoamento apresentam elevada relevância no abastecimento e cultivo agrícola da população onde elas se encontram. Cabe destacar que essa estrutura caracterizada por bacias hidrográficas e escoamentos superficiais permitem um fluxo de água que retroalimenta os sistemas de abastecimento do estado do Rio Grande do Norte, tais como poços tubulares, açudes, barragens e sistemas de adutoras.

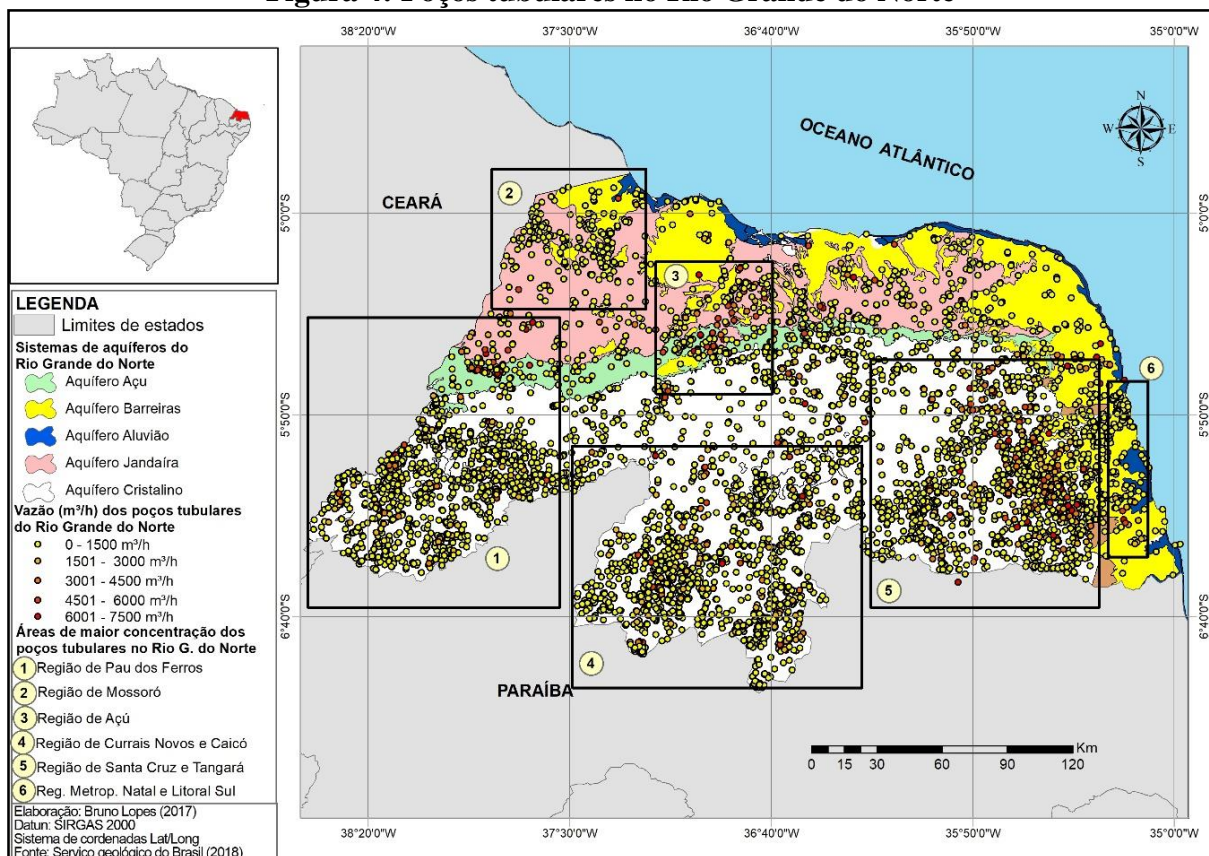
POÇOS TUBULARES, RESERVATÓRIOS, SISTEMAS DE ADUTORAS E CARROS-PIPA

A perfuração de poços tubulares se constituiu uma das alternativas mais utilizadas no RN para o abastecimento da população, a dessedentação de animais e a produção agrícola.

Tendo sua utilização intensificada a partir da década de 1960, o poço tubular, enquanto estrutura técnica, se caracteriza como sendo uma perfuração feita para captação de água junto aos aquíferos. Trata-se de uma estrutura que possui no máximo 50cm de abertura, revestida com canos de ferro ou plástico (CPRM, 1998).

De acordo com o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2018), no estado do Rio Grande do Norte há um total de 11.715 poços tubulares, os quais pertencem a diferentes jurisdições, ou seja, poços administrados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), e poços de propriedade particular. Na figura 4 há a representação dos poços no território do estado, bem como suas respectivas vazões.

Figura 4: Poços tubulares no Rio Grande do Norte



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018)

A figura 4 mostra a distribuição territorial dos 11.715 poços tubulares do RN. Tais estruturas de captação de água estão categorizadas em cinco classes, de acordo com a vazão apresentada, ou seja, com “a medida do volume de água que sai do poço por determinado período de tempo” (CPRM, 1998 p. 6). Das cinco classes de vazão identificadas nos poços

tubulares do Rio Grande do Norte, percebe-se que a maioria apresenta valor de até 1500m³/h. Isso significa dizer que os poços tubulares cuja vazão está acima de 1500m³/h são pouco representativos, o que é um indicador das capacidades hidrogeológicas do estado com relação aos limites de exploração dos recursos hídricos subterrâneos.

Além da vazão, outro aspecto a ser ressaltado é a concentração dos poços tubulares em determinadas áreas do território. Essa concentração pode ser explicada com base em dois critérios: o hidrogeológico e o populacional. Do ponto de vista hidrogeológico, percebe-se na figura 4 que os poços tubulares apresentam maior concentração na área do aquífero cristalino, cuja escassez dos recursos hídricos é maior. Já em relação ao critério populacional, foram identificados seis recortes espaciais onde há maior concentração de poços tubulares, sendo que cada uma dessas áreas está associada a locais de maior demanda por água, como as cidades polos da rede urbana norte-rio-grandense. As seis áreas foram denominadas da seguinte maneira: 1 – Região de Pau dos Ferros, 2 – Região de Mossoró, 3 – Região de Açú, 4 – Região de Currais Novos e Caicó, 5 – Região de Santa Cruz e Tangará e 6 – Região Metropolitana de Natal e Litoral Sul. Em cada uma das regiões descritas há um ou mais núcleos urbanos de médio ou grande porte, o que implica uma disponibilidade maior dos recursos hídricos e a consequente utilização de poços tubulares como forma de contribuir para o melhoramento do sistema de abastecimento de água dessas localidades.

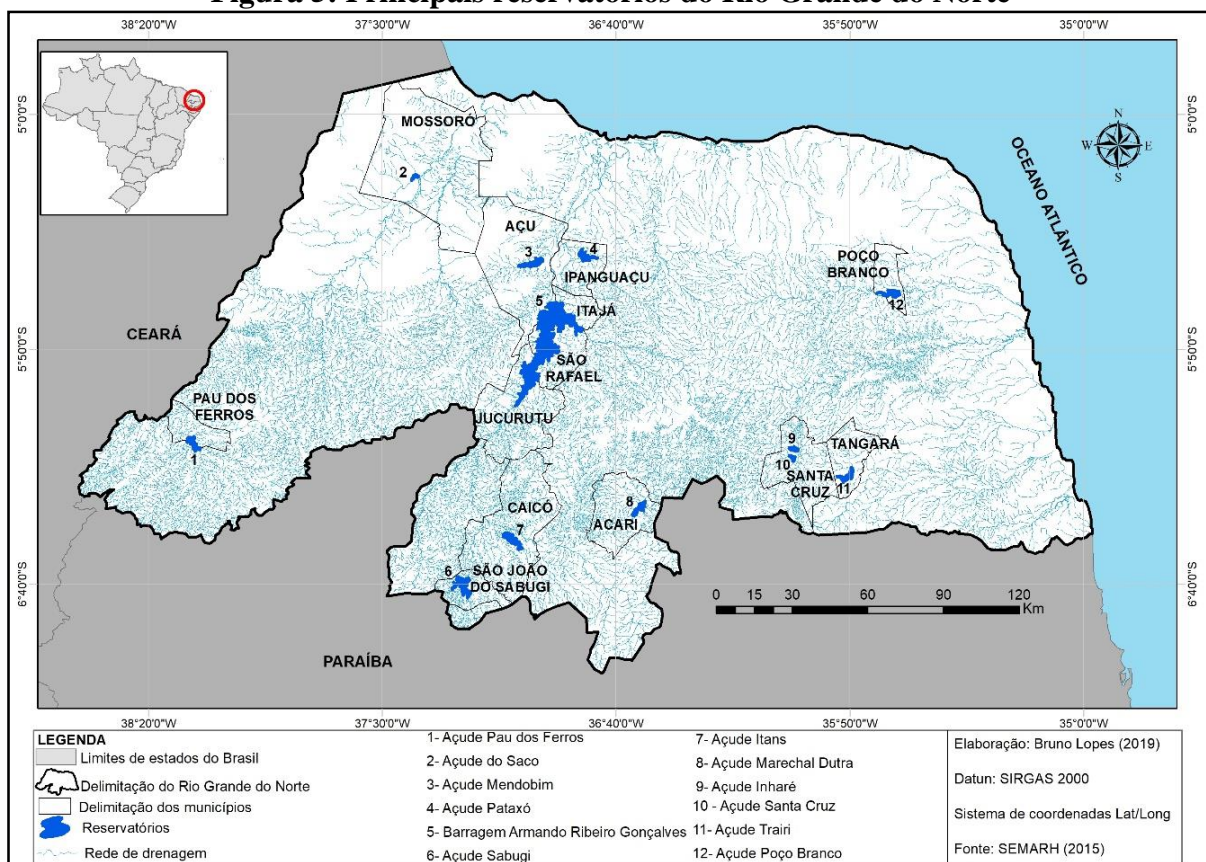
Outra técnica desenvolvida para captação de água no estado foram os reservatórios. Tais estruturas foram construídas para atender as demandas de consumo da população com objetivo de manter uma quantidade considerável de água armazenada também em casos de escassez hídrica. Nos sistemas de abastecimento de água urbanos, esses reservatórios são construídos de concreto armado com formas e volumes de reservação variados, o que difere dos reservatórios construídos no semiárido brasileiro para minimizar os efeitos da seca, os quais são do tipo açudes e/ou barragens (PHILIPPI JÚNIOR; MARTINS, 2005; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

Vale destacar que há uma diferença conceitual e operacional entre os açudes e barragens. Com relação aos açudes, Molle (1992) classifica esse tipo de reservatório em três categorias: pequeno, médio e grande. A primeira categoria refere-se aos reservatórios mais difundidos na região do Nordeste, cuja capacidade de armazenamento de água fica limitado entre 5.000 e 200.000m³, sendo estes os mais frágeis de entrar em volume morto em períodos de secas prolongadas; a segunda categoria diz respeito a um tipo de reservatório que permite atravessar,

no mínimo, um ano de seca, o que corresponde normalmente a aproximadamente 20 meses de escassez (capacidade entre 200.000 e 5.000.000m³); e a terceira categoria, dos grandes açudes, representa todos aqueles reservatórios que permanecem perenes durante longos períodos de seca, mesmo sendo utilizados pela população durante esses períodos (acima de 5.000.000m³).

De acordo com Molle (1992), quando são construídos por meio de pontos de barramento em bacias hidrográficas, esses reservatórios recebem o nome de barragens. No Rio Grande do Norte foram feitos diversos pontos de barramento para açudagem, dentre os quais os doze maiores reservatórios encontram-se representados na figura 5:

Figura 5: Principais reservatórios do Rio Grande do Norte



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH, 2015).

Dos diversos reservatórios do tipo açudes ou barragens existentes no RN, selecionou-se os 12 principais, aqueles que possuem maior capacidade de reservação de água. De acordo com a figura 5, os reservatórios são: açude Gargalheiras (Acari), açude Inharé (Santa Cruz), açude Itans (Caicó), açude Mendubim (Açu), açude Pataxós (Ipanguaçu), açude Pau dos Ferros (Pau dos Ferros), açude Poço Branco (Poço Branco), açude Sabugi (São João do Sabugi), açude

Santa cruz (Santa Cruz), açude Trairí (Tangará) e barragem Armando Ribeiro Gonçalves (Açu, Ipanguaçu, Itajá, São Rafael, e Jucurutu) (DNOCS, 2015).

Esses 12 açudes e barragens estão localizados em municípios específicos e a água armazenada por eles tem fundamental importância no abastecimento e desenvolvimento dessas localidades. Os açudes menores têm como área de influência o município onde estão situados, uma vez que nem sempre a capacidade que possuem pode ser utilizada para abastecer municípios vizinhos. A única exceção é a barragem Armando Ribeiro Gonçalves que, por ser o maior reservatório do estado, acaba tendo capacidade para abastecer os municípios de Açu, Ipanguaçu, Itajá, São Rafael e Jucurutu (DNOCS, 2015).

Porém, vale ressaltar que nem todos os municípios do estado têm seus territórios abrangidos pela área de influência de um reservatório, tal como acontece com as localidades que foram citadas. Muitos municípios não possuem um sistema de abastecimento de água eficiente, com reservatórios de grande capacidade volumétrica que forneça água de qualidade e quantidade suficientes para atender a demanda de sua população. Quando se constata esse quadro, uma das alternativas que tem sido adotada pelo governo do estado é a construção de sistemas de adutoras que transportam água para as regiões que não dispõem de uma estrutura hídrica eficiente e ou que sejam afetadas pela crise hídrica (SEMARH, 2015).

Os sistemas de adutoras são canalizações que integram as estruturas de abastecimento de água, as quais conduzem este recurso para as unidades que precedem a rede de distribuição. É por meio das adutoras que as unidades estruturantes de um sistema de abastecimento de água são interligadas, ou seja, há a articulação entre captação, estações de tratamento e reservatórios. Faz-se importante ressaltar que as adutoras não distribuem água diretamente para os consumidores (TSUTIYA, 2006).

Quanto à qualidade da água aduzida, as adutoras podem ser de água bruta ou de água tratada. Todo volume de água bruta aduzido é transportado para as estações de tratamento por meio das adutoras. Após o tratamento, caso haja a necessidade de adução, a adutora será caracterizada como sendo de água tratada. Em um sistema de abastecimento é possível identificar a existência desses dois tipos de adutoras, uma vez que, desde a captação até a reservação, a água circula de forma bruta e de forma tratada no interior desse sistema (PHILIPPI JÚNIOR e MARTINS, 2005).

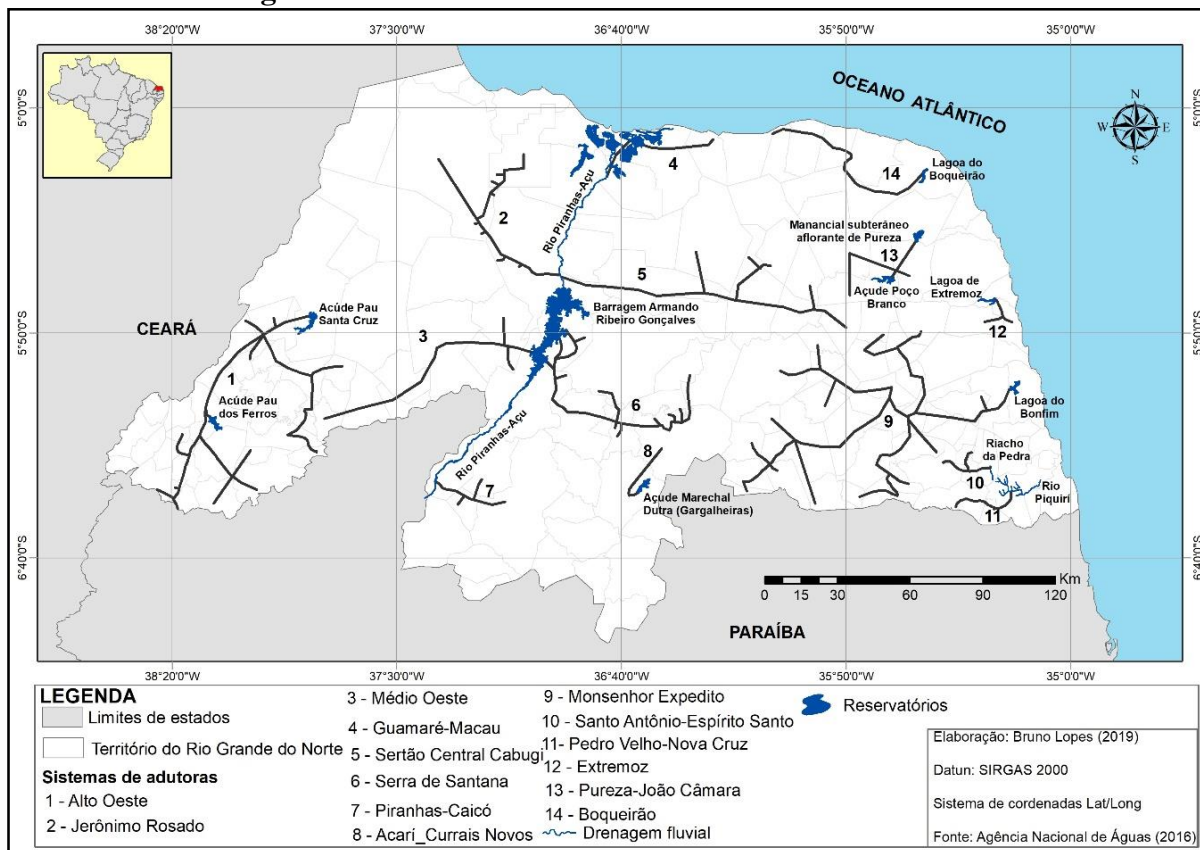
Segundo Philippi Júnior e Martins (2005), do ponto de vista do tipo de pressão utilizada para a adução da água, os sistemas de adutoras podem operar por condutos livres, por condutos

forçados ou pela associação de ambos. Nesse sentido, as adutoras de condutos livres funcionam pela ação da gravidade, em terrenos de topografia descendente, com a água ocupando apenas parte da secção do escoamento. Por outro lado, as adutoras de condutos forçados operam por bombeamento, em áreas de topografia ascendente, com a água ocupando toda a secção de escoamento, com valores de pressão diferentes da pressão atmosférica.

Nesse sentido, os sistemas de adutoras são estruturas técnicas criadas pelo homem para distribuir água ao longo de um determinado território, cuja operacionalidade varia de acordo com suas formas e funções específicas, com a qualidade da água aduzida e o tipo de pressão e condutos utilizados. No estado do Rio Grande do Norte a construção de grandes sistemas de adução que transportam água a longas distâncias tem sido uma estratégia bastante utilizada (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2012).

A implantação de grandes sistemas de adução visa atender diversos municípios com relação ao suprimento do abastecimento de água e minimiza os efeitos da seca. A disposição espacial desses sistemas de adutoras no Rio Grande do Norte pode ser analisada na figura 6.

Figura 6: Sistema de adutoras do Rio Grande do Norte.



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

Com base na figura 6, é possível identificar que no Rio Grande do Norte há um total de 17 adutoras. Esses sistemas técnicos tem como função transportar água de uma localidade para outra, seja por declividade ou via bombeamento. Outro aspecto que caracteriza as adutoras norte-rio-grandense são suas diferentes formas espaciais.

A partir das informações existentes na figura 6, que foram sistematizadas pela Agencia Nacional de Águas (2016), pode-se concluir que as 17 adutoras do estado apresentam quatro tipos específicos de formas: dendrítica, ramificada, retilínea, e sinuosa (CORRÊA, 1989; TSUTIYA, 2006). Algumas dessas adutoras possuem mais de uma forma, podendo ter duas ou três formas associadas ao longo de sua estrutura territorial.

Com formato dendrítico há a adutora Monsenhor Expedito, caracterizada por apresentar uma rede que se desenvolve a partir de um núcleo central. Com a forma retilínea há as adutoras de Maxaranguape, Acarí-Currais Novos, Pureza-João Câmara e Boqueirão-Jandaíra. Com forma sinuosa, predominam as adutoras Pedro Velho-Nova Cruz, Guamaré-Macau, e Boqueirão. Com formato sinuoso e aspecto ramificado, há as adutoras Médio Oeste e Santo Antônio-Espírito Santo. Com estrutura de adução ramificada, há as adutoras Alto Oeste, Santa Cruz do Apodi-Mossoró, Jerônimo Rosado, Sertão Central Cabugi, Extremoz, Piranhas-Caicó e Serra de Santana.

A variação das formas das adutoras está relacionada a vários fatores como a distância entre os pontos de adução, a geomorfologia do terreno e o número de localidades a serem atendidas. Além disso, a questão temporal de instalação das adutoras também influencia suas características, pois, adutoras construídas em épocas distintas são dotadas de estruturas técnicas diferentes com funcionalidades específicas.

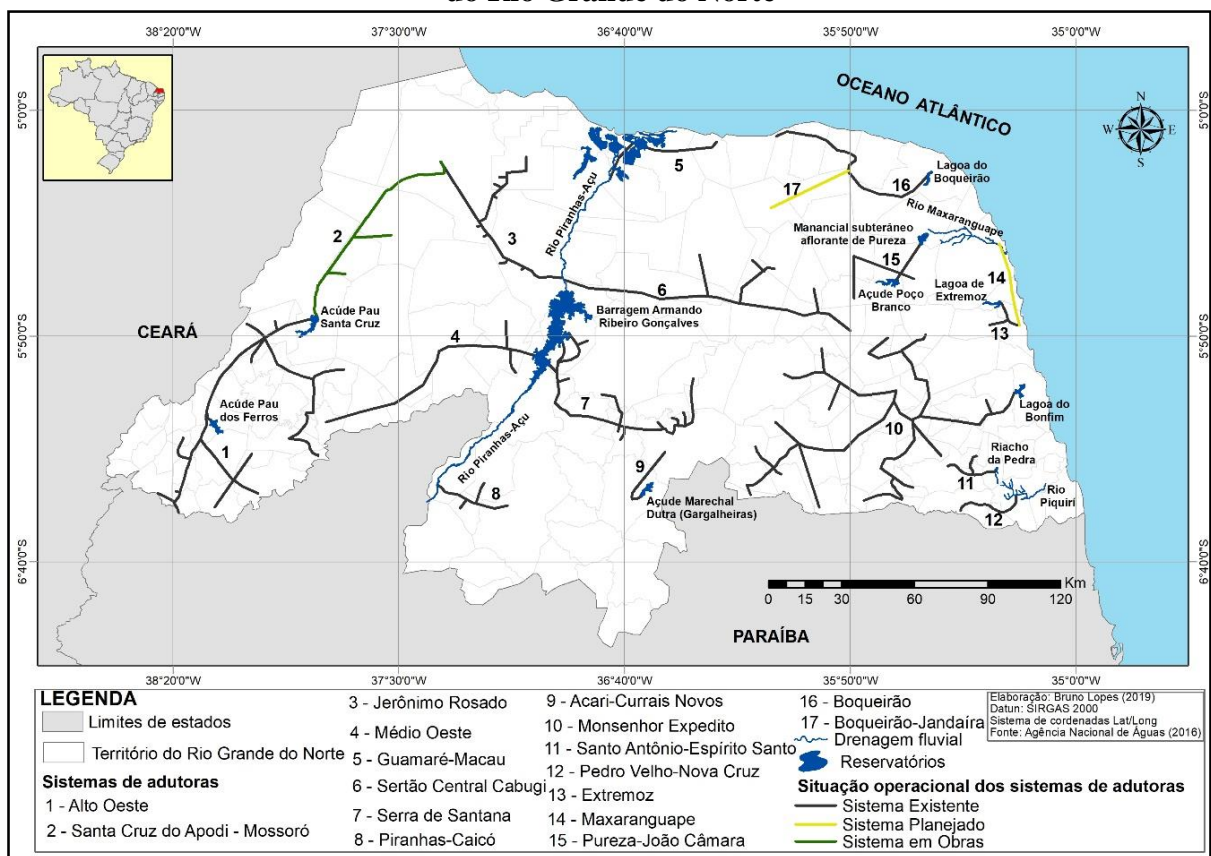
No caso específico dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Norte, dos 167 municípios do estado, 20 utilizam como manancial de abastecimento rios ou açudes o que representa 12%; 39 utilizam como manancial de abastecimento a água subterrânea, o que corresponde a 23%; 02 possuem sistemas mistos (adutora e poço), o que equivale a 1% e 106 possuem o sistema adutor como forma de abastecimento representando 64%.

Segundo a Caern (2017), quanto a eficiência operacional, os sistemas adutores apresentam três cenários de funcionamento: pleno, alternado e em colapso. O funcionamento pleno ocorre quando o sistema de abastecimento opera de forma normal, sem interrupções, atendendo as demandas da população. O funcionamento alternado ocorre quando o sistema de

abastecimento opera através de rodízio, com interrupções temporárias entre 1 hora e 48 horas, atendendo parcialmente as demandas da população. O cenário de colapso se caracteriza quando há perda total da capacidade operacional do sistema de abastecimento, com interrupções prolongadas, não atendendo as demandas da população.

Tomando como referência o ano de 2017 os sistemas adutoras do Rio Grande do Norte apresentaram o seguinte cenário: Jerônimo Rosado, Monsenhor Expedito, Sertão Central, João Câmara, Boqueirão, Pedro Velho, Espírito Santo, Voçosa/Portalegre e Pendências – funcionamento pleno; Arnóbio Abreu e Serra de Santana- funcionamento alternado; e Alto Oeste, Piranhas/Caicó e Gargalheiras – cenário de colapso. A situação estrutural existente das adutoras no Rio Grande do Norte pode ser visualizada na figura 7, assim como os sistemas de adutoras que estão planejados e os que estão em obras.

Figura 7: Situação estrutural existente, planejada e em obras dos sistemas de adutoras do Rio Grande do Norte



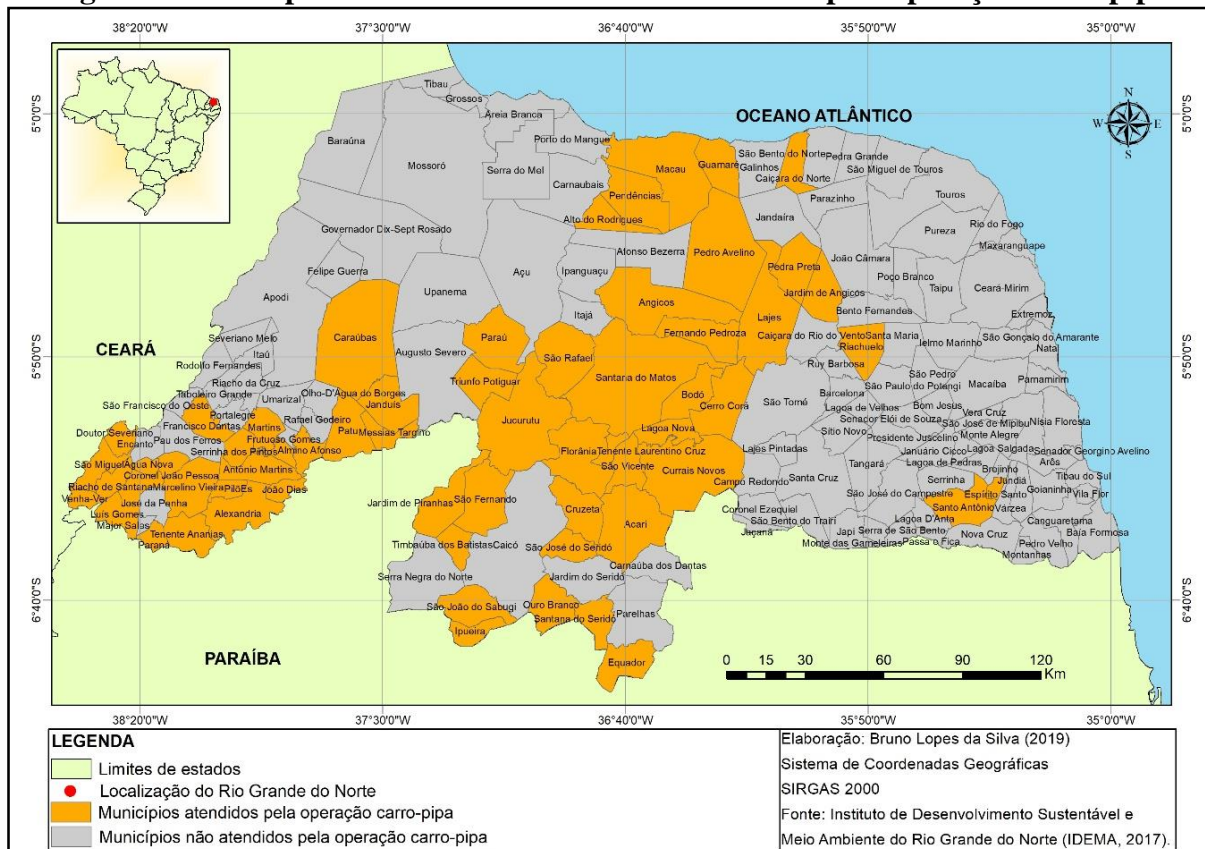
Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

De acordo com a figura 7, das 17 adutoras existentes no RN, 14 estão em funcionamento. Das três adutoras que não estão operando, uma delas está em obras - a adutora Santa Cruz do

Apodi-Mossoró - e duas estão em fase de planejamento - a Maxaranguape e a Boqueirão-Jandaíra. A ampliação das três redes de adução sinaliza: áreas do estado com fragilidade em seus sistemas de abastecimento; a integração entre diferentes adutoras; a ineficácia dos subsistemas naturais locais hídricos e dos equipamentos técnicos até então instalados.

O funcionamento dessas adutoras tem relevância fundamental na melhoria do abastecimento de água de vários municípios do estado, uma vez que inúmeras dessas localidades entraram em colapso hídrico, sobretudo no período compreendido a partir de 2012 (CAERN, 2017). Porém, a compreensão dessa situação de colapso não deve se restringir a análise dos sistemas de adutoras apenas, uma vez que, tem-se recorrido a um conjunto de estratégias alternativas, como o uso de carros-pipa para abastecer as cidades, tal como mostra a figura 8.

Figura 8: Municípios do Rio Grande do Norte atendidos pela operação carro-pipa



Fonte: Organizado pelos autores com base nos dados do Governo do estado do Rio Grande do Norte (2017).

A análise da figura 8 mostra que dos 167 municípios do Rio Grande do Norte, 65 têm seu sistema de abastecimento de água complementado pela atuação de carros-pipa, no âmbito da Operação Vertente, coordenada pelo Exército Brasileiro (GOVERNO DO ESTADO DO

RIO GRANDE DO NORTE, 2017). De acordo Santos, Matos e Alvarenga (2012), essa operação tem sido colocada em prática sempre em períodos de estiagem, tal como tem acontecido em boa parte do território norte-rio-grandense, onde o suprimento de água tem sido comprometido em função da irregularidade dos níveis de precipitação e dos baixíssimos níveis de reservação dos açudes e barragens.

Nesse sentido, para entender as condições hídricas e de abastecimento de água do Rio Grande do Norte, é preciso que se considere uma conjuntura de fatores tanto de ordem natural quanto de ordem técnica. Os fatores de ordem natural incluem a variação territorial dos níveis de precipitação e umidade, o armazenamento subterrâneo de água (aquíferos) e as bacias hidrográficas. Já os fatores de caráter técnico abrangem os açudes e barragens, as adutoras e o uso de carros-pipa.

Assim, para a análise das potencialidades e vulnerabilidades hídricas do estado faz-se necessário uma abordagem funcional e sistêmica de todos esses aspectos.

ANÁLISE SISTÊMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Pensar a estrutura dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte numa perspectiva sistêmica exige um esforço analítico no sentido de identificar a inter-relação funcional entre os elementos naturais e elementos técnicos disponíveis sobre o território. Integrar elementos naturais e técnicos faz parte da evolução de modelos de análise geossistêmicos, os quais ao longo do tempo tem inserido variáveis e elementos que melhor representem a ação humana associada aos aspectos da natureza (MENDONÇA, 2001).

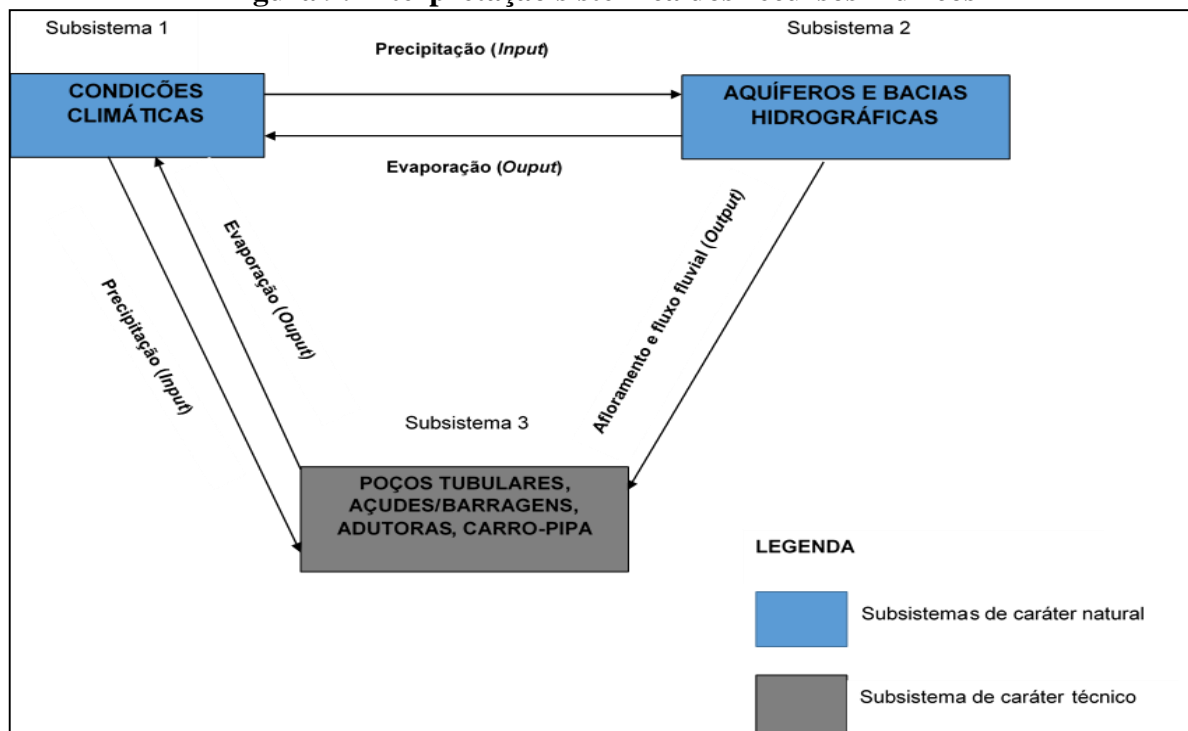
Uma das primeiras tentativas de integração do natural com o humano proposta por Bertrand (2009), estabelece a relação entre o Geossistema, o Território e a Paisagem (GTP). Essa relação serviria para romper com a dicotomia natural x humano, nas pesquisas sobre geossistemas, e com isso proporcionar o que ele chamou de hibridização ou interdisciplinaridade/pluralidade analítica.

Nessa mesma busca por alcançar a integração do natural com o humano nos geossistemas, Mendonça (2001) desenvolveu uma análise para a integração entre sociedade e meio ambiente. Ao propor essa abordagem analítica, Mendonça (2001, p. 124) passou a considerar “natureza e sociedade em mesma perspectiva, sendo o socioambiental empregado para evidenciar” o resultado dessa integração sistêmica.

No âmbito da Geografia, a questão dos recursos hídricos tem exigido o desenvolvimento de ações voltadas para a tomada de decisão envolvendo questões de planejamento e gestão territorial. Abordagens dessa natureza, por demandar uma análise integradora do território, vão de encontro ao paradigma do pensamento holístico, uma vez que articular elementos naturais e técnicos no âmbito do espaço geográfico, parte do princípio de uma visão de território enquanto totalidade sistêmica.

Nessa perspectiva sistêmica de análise dos aspectos naturais e técnicos que os recursos hídricos devem ser gerenciados territorialmente. Tal modelo teórico pode ser usado para analisar os recursos hídricos do Rio Grande do Norte de maneira sistêmica, tanto por gestores quanto por pesquisadores que tratam dessa temática. A figura 9 apresenta de forma sistêmica os recursos hídricos e seus subsistemas naturais e técnicos.

Figura 9: Interpretação sistêmica dos recursos hídricos



Fonte: Organizado pelos autores com base em Bertrand (1968) e Christofolletti (1999)

Com base na figura 9, é possível identificar três subsistemas integrados, por meios dos quais há um fluxo de água (*Input/Output*) e vários processos associados (BERTRAND, 1968; CHRISTOFOLETTI, 1999). Apesar disso, o que torna mais complexo ainda a modelagem desse sistema territorial dos recursos hídricos é justamente o fato de agregar elementos com

características totalmente diferentes, uma vez que os subsistemas integrados são de caráter natural e técnico.

Assim, como a delimitação dos subsistemas baseia-se em suas estruturas organizacionais (naturais e técnicos), é na transição entre cada uma dessas unidades de análise que se desencadeia uma série de processos. A transição do subsistema Condições Climáticas (Subsistema 1) para o subsistema Aquíferos e Bacias Hidrográficas (Subsistema 2) é caracterizada pela precipitação que promoverá o *Input* de água nas fontes superficiais e subterrâneas. A partir do momento em que as águas das bacias hidrográficas evaporam (*Output*), retornam para a atmosfera formando nuvens podendo resultar em novas precipitações, dependendo das condições climáticas locais.

Esse mesmo subsistema que envolve os Aquíferos e as Bacias Hidrográficas (Subsistema 2) está associado aos processos de afloramento subterrâneo e de fluxo fluvial de água. Esses processos representam os *Outputs* de água do Subsistema 2, demarcando assim a transição para o Subsistema 3, caracterizado pelos Poços Tubulares, Açudes/Barragens e Adutoras. Ao chegar no Subsistema 3, o recurso hídrico pode ser armazenado em Açudes e Barragens como também pode ser captado via poços tubulares ou transportado via adutoras e/ou carros-pipa, junto aos Aquíferos e Bacias Hidrográficas, respectivamente (*Output*).

O Subsistema 3 ao se comunicar com o Subsistema 1, pode ocasionar a evaporação (*Output*) da água armazenada nos Açudes e Barragens, assim como estes mesmos reservatórios podem ser alimentados pela precipitação (*Input*). É nessa inter-relação sistêmica que a estrutura dos recursos hídricos se caracteriza de maneira integrada através de seus elementos naturais e técnicos inseridos dentro de cada Subsistema.

A própria dinâmica da água se caracteriza de forma sistêmica e cíclica e o mesmo paradigma de análise deve ser utilizado para o estudo dos recursos hídricos. Trata-se de uma totalidade baseada em subsistemas que possuem elementos naturais e técnicos, os quais se comunicam funcionalmente através de relações de *Input* e *Output* de água (CHRISTOFOLETTI, 1999).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da discussão realizada, ficou constatado que para se entender a estrutura hídrica do estado do Rio Grande do Norte dentro de uma perspectiva holística, é preciso adotar uma

abordagem de caráter sistêmico, uma vez que essa estrutura é caracterizada pela inseparabilidade de subsistemas naturais e técnicos que se comunicam funcionalmente.

Dentre os três subsistemas identificados, destacam-se as condições de clima e precipitação, sistemas de aquíferos e bacias hidrográficas bem como poços tubulares, açudes, barragens, adutoras e carros-pipa. Tais subsistemas integrados representam a estrutura física e funcional dos recursos hídricos do RN, sendo os dois primeiros formados por elementos naturais e o terceiro por elementos técnicos. Essa relação sistêmica é caracterizada por *inputs* e *outputs* de água, por meio de precipitação, evaporação, afloramento, fluxo pluvial, captação e transporte. Assim, os diferentes elementos que compõem cada subsistema apresentam diferenciadas formas, funções e processos no contexto de cada território.

Diante do exposto, sugere-se que a gestão dos recursos hídricos no RN seja pensada numa ótica sistêmica, onde cada um dos elementos existentes passe a ser considerado de forma integrada na tomada de decisões para a resolução de problemas estruturais e conjunturais. Ações setoriais, que abrangem apenas uma parte do problema, deverão ser tomadas dentro de um contexto sistêmico, assim a disponibilidade dos recursos hídricos será gerenciada a partir de um cenário regional territorial. Nessa perspectiva, políticas de combate à seca terão maior eficácia dentro do cenário regional contemporâneo crítico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos**: informe 2016. Agência Nacional de Águas. Brasília/DF: ANA, 2016.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O espaço urbano**. São Paulo/SP: Editora Ática, 1989.

BERTRAND, Georges; BERTRAND, Claude. **Uma geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. PASSO, Messias M. dos. (Org.). Maringá/PR: Massoni, 2009.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). **Características dos sistemas de adutores e integrados**. Natal/RN: CAERN, 2017.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo/SP: Edgard Blücher. 1999.

COSTA, Waldir Duarte. O aquífero infra-barreiras na região costeira do Rio Grande do Norte. **Revista Águas Subterrâneas**. Suplemento dos Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas ano 2000. ISSN 2179-978. São Paulo/SP, 2000.

DEPARTAMENTO DE NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS (DNOCS). **Fichas técnicas dos reservatórios:** Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_estado.php?sigla_estado=RN> Acesso em: 17 de Outubro de 2015.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; PEREIRA, Vitor Hugo Campelo. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 35, n. 3, p. 488-506, 1 dez. 2015. Goiânia/GO,

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. São Paulo/SP: Editora Edgard Blücher LTDA, 1988.

GUERRA, Antônio Teixeira; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Novo dicionário Geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (GOVRN). Portal do governo do RN – Operação Vertente. Disponível em: < <http://www.rn.gov.br> > Acesso em: 2 Dez. 2017.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). **Anuário estatístico 2015**. Natal/ RN: IDEMA, 2015.

LUCENA, Leandson Roberto F. de; ROSA FILHO, Ernani Francisco da; BITTENCOURT, André Virmond Lima. A potenciometria do aquífero barreiras no setor oriental da bacia do rio Pirangi-RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais. **Revista Águas Subterrâneas**. Vol. 18, n.1. p. 19-28. 2004. ISSN 2179-9784. São Paulo/SP.

MELO, José Geraldo de. **Os efeitos do desenvolvimento urbano, industrial e agrícola no processo de recarga e na qualidade das águas subterrâneas do RN**. Natal: SERHID/RN, 2006.

MENDONÇA, Francisco. Geografia socioambiental. **Terra Livre**. n 16. 1º Semestre de 2001. p. 139-158. 2001. ISSN 2674-8355. São Paulo/SP.

MOLLE, François. **Manual do pequeno açude, por François Molle e Eric Cadier**.: Recife/PE, SUDENE, 1992.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; MONTENEGRO, Suzana M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In.: GHEYI, Hans Raj; PAZ, Vital Pedro da Silva; MEDEIROS, Salomão de Sousa; et al. (editores). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande/PB: Instituto Nacional do Semiárido (INS), 2012.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; MARTINS, Getúlio. Águas de abastecimento. In.: PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo (Org.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri/SP: Manole, 2005.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Revista Estudos Avançados**. Vol. 11 n. 29. p. 127-154, 1997. São Paulo/SP.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE (SEMARH). **Situação volumétrica de Reservatórios do RN**. Disponível em <sisistemas.searh.rn.gov.br/monitoramentovolumetrico> Acesso em: 20 Outubro de 2015.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE (SEMARH). **Situação volumétrica de Reservatórios do RN**. Disponível em <sisistemas.searh.rn.gov.br/monitoramentovolumetrico> Acesso em: 21 Agosto de 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO (CPRM). **Noções básicas sobre poços tubulares**: cartilha informativa. Recife/PE: CPRM, 1998.

SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO (CPRM). **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**: total de poços cadastrados e atualizados até 14/08/2018. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> Acesso em: 17 Abr. 2018.

TRAVASSOS, Ibrahim Soares; SOUZA, Bartolomeu Israel de; SILVA, Anieres Barbosa da. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.7, n.1, p. 147-164, 2013. ISSN: 1982-3878. João Pessoa/PB

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos/SP: RiMa, IIE, 2003.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. **Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar; Trecho Upanema-Afonso Bezerra**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Natal/RN, 2006.

VILELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo/SP: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

Recebido em Janeiro de 2019

Aprovado em Setembro de 2019

Publicado em Dezembro de 2019