

RESERVA RENOVÁVEL DE AQUÍFERO COSTEIRO E DEMANDA HÍDRICA DE ABASTECIMENTO DOMÉSTICO NO NORDESTE SEMIÁRIDO

Francisco Eronildo de Lima de Mélo¹
Filipe da Silva Peixoto²
José Mairton Figueiredo de França³

RESUMO

Este estudo buscou mensurar a reserva renovável do aquífero Dunas bem como a demanda exercida por duas comunidades costeiras e uma bateria de poços de abastecimento doméstico e urbano. Evidenciou-se, através de dados meteorológicos de duas estações, selecionadas por meio do polígono de Thiessen, na aplicação do balanço hídrico que as precipitações dos meses de março, abril e maio contribuem para a recarga hídrica, chegando ao volume de $30,71 \times 10^5$ m³ considerado reserva renovável anual. O volume da demanda corresponde a 5% da recarga renovável, o que demonstra uma boa disponibilidade hídrica, e a necessidade de conservação da qualidade da água dessa importante fonte hídrica. Entretanto, as características hidrodinâmicas do aquífero Dunas tornam-no muito vulnerável à contaminação, enquanto o crescimento demográfico aliado à falta de sistema de coleta, disposição e tratamento de esgoto, produzem um cenário de risco de contaminação da água subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Recursos Hídricos; Abastecimento de água; Aquífero livre.

RENEWABLE RESERVE OF COASTAL AQUIFERS AND WATER SUPPLY DEMAND IN NORTHWEST SEMIARID

ABSTRACT

This study aims to measure removable reserves of the Dunas Aquifer, and study demand from two coastal communities and a battery of wells to water supply to domestic use and urban supply. We evidence through of meteorological data of two station selectorate by Thiessen polygon de Rainfall, that in application of water balance, we identify the precipitation of March, April and May as the contributes to aquifer recharge, reaching a volume of 30.71×10^5 m³, considered an annual renewable reserve. The volume of demand corresponds to 5% of annual renewable recharge, which demonstrates good water availability, and the need to conserve this precious resource. Therefore, hydrodynamics characteristics demonstrate the high vulnerability to contamination, thus, the demographic increase, furthermore, to lack of sewage collect and treatment system cause a risk scenario to groundwater contamination.

KEYWORDS: Water resources management; Water supply; Unconfined aquifer.

¹ Mestre em Geografia pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – PPGeo/UERN. Instituto de desenvolvimento e meio ambiente do RN – IDEMA, email: franciscoeronildopr@gmail.com

² Doutor em Hidrogeologia e Gestão de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará, Professor da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Email: felipepeixoto@uern.br

³ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina, Professor da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Email: mairtonfranca@uern.br

RESERVA RENOVABLE DE ACUÍFERO COSTERO Y DEMANDA DE SUMINISTRO DOMESTICO EN EL NORDESTE SEMIÁRIDO

RESUMEN

Este estudio buscó medir la reserva renovable del acuífero de las Dunas, así como la demanda ejercida por dos comunidades costeras y una batería de pozos destinados al abastecimiento doméstico y urbano. A través de los datos meteorológicos de dos estaciones, seleccionadas mediante el polígono de Thiessen, se evidenció que, al aplicar el balance hídrico, se identificó que las precipitaciones de los meses de marzo, abril y mayo contribuyen a la recarga hídrica, alcanzando un volumen de $30.71 \times 10^5 \text{ m}^3$, considerado como la reserva anual renovable. El volumen de demanda corresponde al 5% de la recarga renovable, lo que demuestra una buena disponibilidad de agua y subraya la necesidad de conservar la calidad de esta importante fuente. Sin embargo, las características hidrodinámicas del acuífero de las Dunas lo hacen muy vulnerable a la contaminación, mientras que el crecimiento demográfico, combinado con la falta de un sistema adecuado de recolección, eliminación y tratamiento de aguas residuales, podría generar un escenario de riesgo para la contaminación de las aguas subterráneas

PALABRAS-CLAVE: Gestión de Recursos Hídricos. Suministro de agua. Acuífero libre.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são a porção de água doce mais substancial e passível de ser explorada no planeta Terra. Estima-se que o volume armazenado de água subterrânea seja de 9,5 milhões de km^3 , representando cerca de 30% do total de água doce em estado líquido (REBOUÇAS, 1997), sendo que a água doce corresponde a apenas 2,5% de toda água existente no planeta, enquanto as águas superficiais e o vapor d'água na atmosfera representam apenas 0,4% (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2007; SHIKLOMANOV; RODDA 2003).

No Brasil, a importância que a água subterrânea tem tido no abastecimento doméstico é demonstrada pelo fato de que a maioria dos municípios fazem uso exclusivo ou parcial, além disso, muitos poços de captação não são oficialmente reconhecidos nos sistemas de monitoramento e cadastro de poços. No país, estima-se que somente cerca 30% dos poços fazem parte dos sistemas de informação oficiais, o que evidencia o grande número de poços irregulares, não outorgados e, geralmente, sem medidas de controle estruturais para prevenir a contaminação da água subterrânea (FOSTER; HIRATA; CUSTÓDIO, 2021).

A conservação e uso das águas subterrâneas são estrategicamente importantes para o Nordeste semiárido. Ab'Saber (2012), ao descrever o semiárido brasileiro, apontou como características um regime climático com período seco prolongado, que as chuvas do semiárido

se dão no final do verão e início do outono meteorológicos, sendo que as temperaturas médias variam entre 25° e 29° C, as máximas chegam a 32,7° C, e precipitações anuais entre 268 e 800 mm.

Por condição latitudinal de frequência e forma de incidência solar, o semiárido nordestino possui um balanço hídrico negativo, pois apresenta uma capacidade de evaporação de cerca de 2.000 mm/ano, ou até maior, a depender de outros fatores variáveis anualmente, como a velocidade dos ventos, enquanto a média pluviométrica gira em torno de 800 mm/ano (MOURA *et al.*, 2007). Assim, a água subterrânea tem grande importância nas áreas de domínio semiárido, pela baixa susceptibilidade à evaporação, ademais, sua fácil acessibilidade, distribuição difusa, baixo custo, progressivo desenvolvimento de tecnologias de captação, e resiliência às secas torna quase indispensável a instalação de poços para uso desse recurso em regiões sob este tipo climático (LLAMAS; CUSTÓDIO, 2003).

No nordestino brasileiro, muitas cidades recorrem às águas subterrâneas para suprir as demandas do abastecimento doméstico. Conforme Cavalcante (1998), na cidade de Fortaleza-CE, as águas subterrâneas são utilizadas, de modo prioritário ou estratégico, por 40 a 60% da população. Enquanto na cidade de Mossoró-RN, 70% do volume de água do abastecimento convencional possui o Aquífero Açu como fonte, suas águas são captadas por poços de profundidades maiores que 600 metros (PEIXOTO *et al.*, 2021).

Evidentemente, as condições geoambientais que condicionam a disponibilidade hídrica natural de ocorrência de aquíferos, possibilitam o abastecimento não só de cidades, como de pequenas comunidades. Particularmente, comunidades difusas e muitas vezes isoladas do ponto de vista do acesso aos serviços básicos, recorrem a formas de autoabastecimento, já que, na grande maioria dos casos, não existe um abastecimento convencional ou alternativo operado pelos prestadores desse serviço. Ademais, no semiárido nordestino, o avanço no abastecimento de água tem ocorrido quase exclusivamente nas grandes e médias cidades, sobretudo os pequenos municípios possuem graves problemas de acesso à água e infraestrutura hídrica.

Além disso, as formas de ocorrência e natureza dos aquíferos influenciam no autoabastecimento de pequenas comunidades. Na zona do nordeste semiárido, os aquíferos costeiros se caracterizam por sua ocorrência livre, ou não confinada, permitindo que as comunidades se autoabasteçam via captação de água por meio de poços rasos, em nível freático subaflorante. De acordo com Mélo *et al.* (2019), a comunidade de Praia do Rosado/Porto do

Mangue-RN, é abastecida por meio de 169 poços, sendo as águas subterrâneas responsáveis por suprir praticamente toda sua demanda hídrica doméstica.

O Sistema Aquífero Costeiro - SAC é constituído por sedimentos não ou fracamente consolidados da Formação Barreiras e Dunas, a primeira, foi depositada em ambiente de regressão marinha, e com variações de níveis intercalados entre areia silte e argila, tendo base conglomerática, portanto, com propriedades hidrodinâmicas variáveis. Enquanto os pacotes de sedimentos bem selecionados por meio da ação eólica formam depósitos homogêneos e isotrópicos de Dunas com espessura média limitada, mas, boa permeabilidade e potencialidade aquífera significativa. Na área de estudo, esse aquífero também pode exercer função de transferência da água infiltrada para o Barreiras subjacente.

Este trabalho buscou mensurar a reserva renovável do aquífero dunas e a demanda exercida pelo abastecimento doméstico. Os dados e informações levantadas trazem subsídios importantes para elaboração de um plano de abastecimento de água no município e para ações que visem a conservação do SAC.

METODOLOGIA

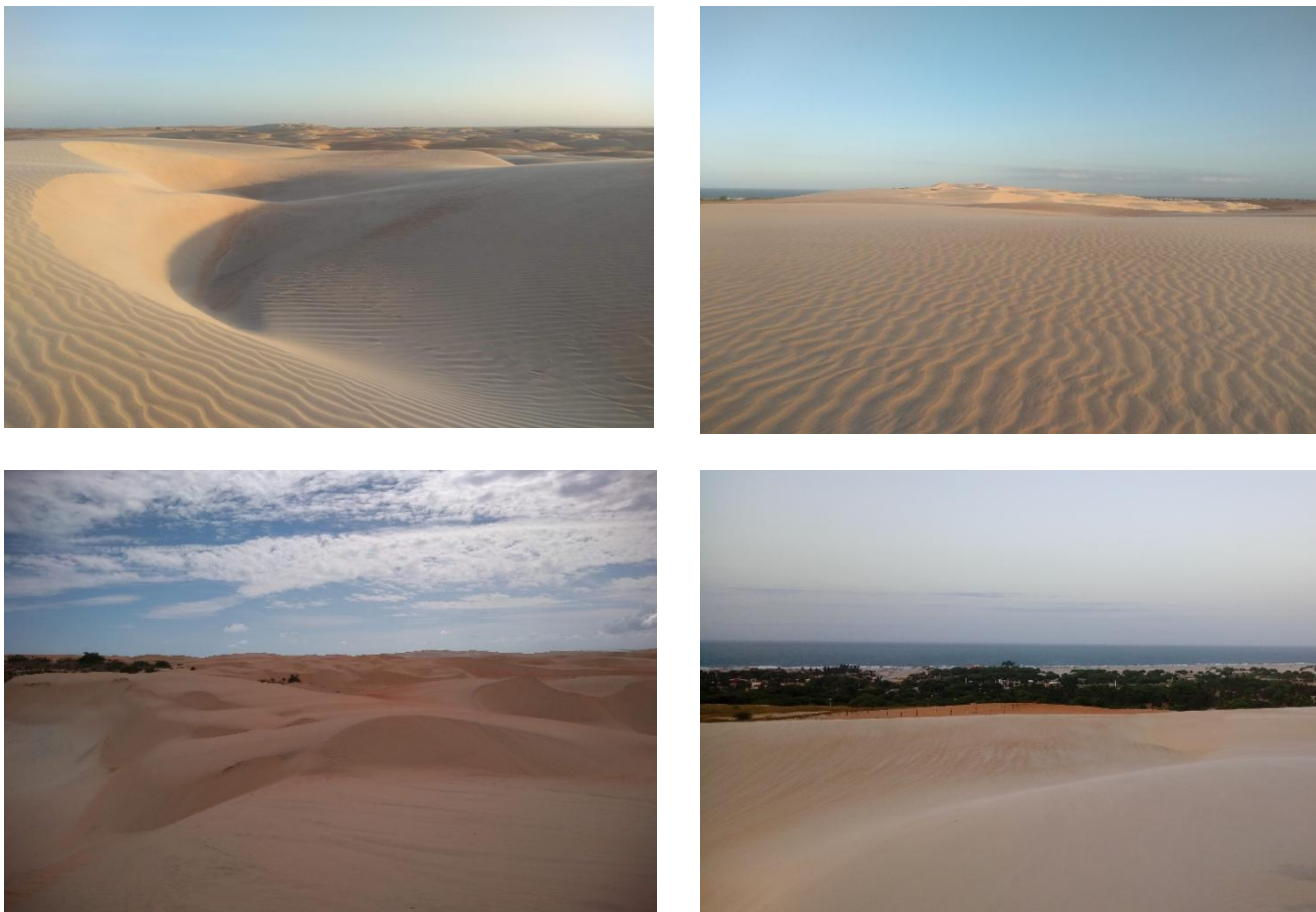
A área de estudo está localizada sobre o aquífero Dunas, no município de Porto do Mangue - RN. Por ser uma área costeira de clima semiárido, destaca-se a produção salinera, associada às características climáticas possibilitam a evaporação acelerada durante praticamente o ano inteiro, favorecendo uma altíssima produção de sal (FELIPE e CARVALHO, 2002)

No entanto, tal fato, dificulta as condições de abastecimento e produção da agricultura familiar, sendo a água subterrânea, a principal fonte hídrica disponível. Desse modo, o SAC mais particularmente o aquífero Dunas possui o principal potencial hídrico para o abastecimento, não somente pela reserva hídrica, mas pela grande renovabilidade de suas águas, caracterizada pela alta permeabilidade e taxa de infiltração.

O aquífero Dunas ocorre até uma faixa de 10 km paralela à orla que se alarga até 2 km e, se interrompe nas fozes dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. As dunas têm alturas médias de 20 metros e podem ser classificadas em duas gerações, uma mais antiga com idade possivelmente pleistocênica se encontram interiorizadas, edafizadas ou recobertas por dunas

da geração seguinte (MISTRETTA, 1984). As dunas mais recentes apresentam dinâmica eólica ativa, portanto são dunas móveis, modeladas pelos ventos alísios de direção NO - SE, geralmente, com morfologia de dunas barcanas e barcanóides (Figura – 1).

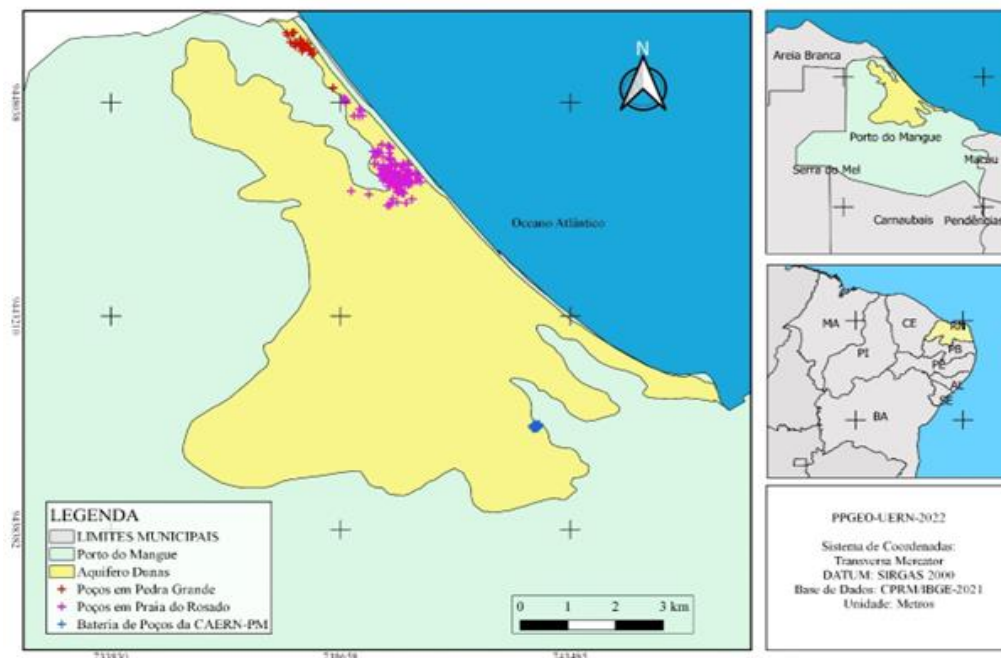
Figura 1: Campo de dunas Barcanas em Praia do Rosado



Fonte: (Autores, 2024).

O cálculo de reserva renovável foi realizado para toda a extensão do aquífero estudado, enquanto o cadastro de poços, bem como a identificação dos tipos de captação foram realizados nas duas principais comunidades localizadas na área de estudo, Pedra Grande e Praia do Rosado, sendo esta última dividida em dois núcleos de ocupação (Figura 2).

Figura 2: Localização da área de estudo



Fonte: (Autores, 2024)

O campo de dunas possui aproximadamente 50 km², sendo constituídas por areias finas a médias, bem selecionadas pela ação eólica. Na área de estudo elas ocorrem, no setor da comunidade de Praia do Rosado, separadas em dois níveis, num primeiro nível, com altitudes de 10 a 15 metros encontram-se dunas frontais, já altamente modificadas e parcialmente fixadas pela ocupação, enquanto, no outro nível, encontram-se sobrepostas ao tabuleiro litorâneo, com altitudes de 70 a 80 metros. Na localidade de Pedra Grande elas possuem características de Dunas fixas, já bastante antropizadas, sobrepostas à Formação Barreiras. A altitude varia de 10 metros próximo a praia, deslocando-se 300 metros a sudoeste da linha de praia a altitude chega até 70 metros na área mais elevada dessa comunidade.

O aquífero Dunas é responsável pelo abastecimento hídrico de duas comunidades litorâneas (Pedra Grande e Praia do Rosado) e da sede do município de Porto do Mangue, que não faz parte da área de estudo. As duas comunidades possuem diversas semelhanças, ambas se originaram há cerca de 250-300 anos, e ambas possuem como principal atividade econômica a pesca e captura de crustáceos. Dados da Secretaria de Saúde do município de Porto do Mangue, mostram que Pedra Grande possuía em 2020 uma população fixa de 100 habitantes distribuídos por 41 famílias, porém, há na comunidade uma grande quantidade de moradias de

veranistas, enquanto em Praia do Rosado, no mesmo ano, se contabilizavam 631 moradores, totalizando 213 famílias.

O relevo é do tipo ondulado em ambas as comunidades, mas Pedra Grande está situada numa área de cerca de 70 metros de altitude, já a Praia do Rosado na sua área mais habitada tem elevação abaixo de 15 metros. Essa diferenciação de altitude gera particularidades no acesso à água nas duas localidades. Em Pedra Grande o nível freático é mais profundo, os poços apresentam profundidades mínimas de 20 metros para atingir a zona saturada, haja visto que a comunidade está assentada sobre Dunas fixadas, sobrepostas ao Barreiras.

Em Praia do Rosado, o aquífero Dunas subaflorante permite acesso à água por meio de captações com profundidades inferiores a 10 metros, portanto, sem grande investimento técnico, pois suas águas chegam mesmo a aflorar no período chuvoso em forma de ressurgências ou fontes de contato. Semelhante ao que Cavalcante (1998) apontou no aquífero Dunas na cidade de Fortaleza-CE em que os poços instalados apresentavam profundidades entre 10 e 15 metros e vazão média de aproximadamente 6 m³/h. Como as dunas formam um meio homogêneo e isotrópico, as propriedades hidrogeológicas são muito similares na costa setentrional nordestina brasileira.

Estudos de Cavalcante (1998), e Guimarães Junior e Pereira (2011) apontaram que esses aquíferos possuem grande capacidade de infiltração, que corresponde a cerca de 15% dos totais precipitados sobre eles. O que os tornam fontes importantes de recurso hídrico, pois a depender da área, espessura e regime de chuvas, podem disponibilizar reservas renováveis relevantes para o abastecimento doméstico.

O aquífero Dunas aqui estudado fornece água para a zona urbana do município de Porto do Mangue, para a comunidade de Praia do Rosado, provavelmente, se comporta como um aquífero de transferência na comunidade de Pedra Grande, pois os poços lá localizados apresentam profundidades superiores a 20 metros, este fato evidencia uma possível exploração de água do aquífero Barreiras, sotoposto ao Dunas na referida localidade.

Por anos, considerou-se o aquífero Barreiras sendo constituído apenas por sua Formação homônima e individualizada em relação ao sistema Dunas da porção hidroestratigráfica mais superior. Porém, em determinados contextos eles podem ser considerados como um sistema único, denominado de Sistema Dunas-Barreiras, sendo os sedimentos eólicos caracterizados por elevadas taxas de infiltração e constituindo-se como importante zona de recarga para o aquífero Barreiras (MELO; FIGUEREDO 1990; SILVA *et al.*, 2014).

ESTIMATIVA DE RESERVAS RENOVÁVEIS

A caracterização das reservas hídricas de um corpo aquífero passa pela expressão do balanço hídrico, que utiliza o princípio da conservação de massa explicitando a dinâmica do ciclo hidrológico e da distribuição intra-anual da pluviometria.

De acordo com a equação 1:

$$P - ETR - R - I = \Delta S \quad (\text{Eq. 1})$$

O balanço hídrico é calculado em função da:

P = Precipitação média anual (mm);

ETR = Evapotranspiração real média anual (mm);

R = Deflúvio (mm);

I=Infiltração(mm).

Foi considerada a adaptação de Castany (1975) aplicada a ocorrência de aquíferos livres, nos quais a principal fonte de recarga é a precipitação. Desse modo Castany (1975), partindo da equação geral do balanço hídrico, propõe a aplicação da equação 2:

$$PPT = ES + ETR + I \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

PPT = Precipitação (mm);

ES = Escoamento superficial (mm);

ETR = Evapotranspiração real (mm);

I = Infiltração (mm).

Essa equação é particularmente importante para quantificação de reservas, contudo ela deve ser analisada criticamente para as características hidrogeológicas e climatológicas da área de estudo, adequando a metodologia para resultados mais próximos a realidade.

As estimativas de capacidade de recarga do aquífero, foram feitas com base em dados pluviométricos. Considerados aqui os cálculos da reserva reguladora ou renovável (Rr), que segundo Silveira *et al.* (2016, p. 645), trata-se do “volume de água que participa do ciclo hidrológico anual, obedecendo as flutuações sazonais do nível freático e calculada através de um balanço entre a recarga anual do aquífero e suas perdas de volume naturais ou induzidas”. Por meio da adaptação da equação 2, e considerando a abstração da evapotranspiração real, e

do escoamento superficial, pois este pode ser considerado insignificante por conta da alta capacidade de infiltração pluvial nas Dunas, durante o evento de precipitação. Utilizou-se a seguinte equação 3 para caracterização da reserva renovável.

$$R_r = (TI \times P) \times A \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

R_r= Reserva renovável

TI= Taxa de infiltração (15%)

A= Área do aquífero

P= Precipitação

Para os valores históricos de precipitação foi necessária a obtenção de dados climatológicos acessados através da plataforma hidroweb 2.0 operada pela Agência Nacional de Águas (ANA). A princípio foram sistematizados séries históricas de 9 estações pluviométricas com pelo menos 35 anos próximas à área de estudo. Após isso, foram projetados polígonos de Thiessen por meio das coordenadas geográficas em um sistema de informação geográfica operacionalizado pelo software *Qgis*, versão 3.10 - *A Coruña*.

Segundo Rodrigues *et al.* (2011) o método de Thiessen permite afirmar que em qualquer ponto de uma bacia a precipitação é a mesma medida no posto mais próximo. Logo, pode-se aplicar em outro ponto as médias apontadas por estações de coleta de dados localizados a meias distâncias, independentemente da direção do ponto estudado.

Por meio da poligonização, foi possível identificar as estações mais próximas e as que mais representavam as precipitações na área de estudo. Foram elas, as estações localizadas nos municípios de Areia Branca - RN e Pendências - RN, as quais na verdade limitavam-se no centro da área de estudo, assim ambas foram consideradas para normalizar e dar maior precisão aos dados históricos de pluviosidade (**Tabela 1**).

Tabela 1: Estações utilizadas para mensurar a precipitação

Estação	Latitud e (Y)	Longitu de (X)	Código da estação	Média histórica anual (mm)
Areia Branca	- 4.95	- 37.13	437012	620,0
Pendências	- 5.25	- 36.72	536028	608,0

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021), sistematizado pelos autores.

A estação Areia Branca de código 00437012, possui série histórica completa de 72 anos entre 1911 e 1989, enquanto a estação Pendências de código 00536028, apresenta série histórica

de 59 anos entre 1934 e 1994. Os dados diários de chuvas foram tabulados no *Software Excel 360*, para cálculo da média de cada mês. As médias mensais foram então distribuídas em climogramas em quadro que representavam os totais médios mensais de cada estação (Tabela 1 e Figuras 3 e 4).

Figura 3: Pluviometria média mensal da estação Areia Branca

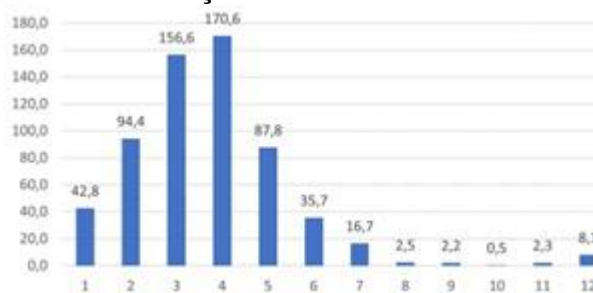
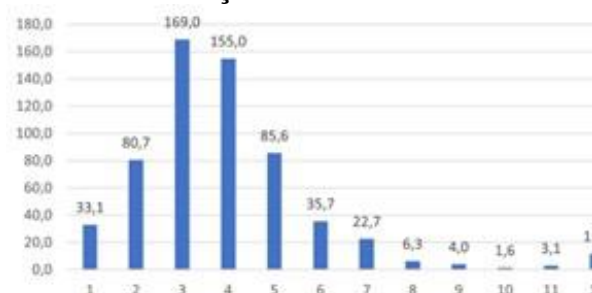


Figura 4: Pluviometria média mensal da estação Pendências



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021), sistematizado pelos autores

Os meses de março a junho são considerados por Cavalcante (1998) e Gomes (2013) como os meses chuvosos cujo período representa o maior potencial de recarga pluvial dos aquíferos na zona costeira do nordeste setentrional, já que as precipitações no mês de fevereiro, pouco excedem o limite do volume de capacidade de campo dos solos. Ademais, para efeito do cálculo de recarga renovável, na área de estudo, foi considerado que o mês de junho não possui uma precipitação substancial, conforme poderá se evidenciar nas figuras 3 e 4. Assim, foram considerados os meses de março a maio, pois, as médias da pluviometria local apontam precipitações abaixo de 35 mm no mês de junho, valor que não alcança 50% da média de cada um dos 3 meses anteriores.

LEVANTAMENTO DE FONTES DE CAPTAÇÃO

O trabalho de campo para o levantamento das captações e uso da água foi realizado entre 14 de setembro e 12 de novembro de 2020. Em análise prévia das captações nas bases do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS/CPRM e da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte – SEMARH-RN, notou-se que havia apenas 1 poço na área correspondente a Praia do Rosado, e não havia nenhum poço em Pedra Grande.

Contudo, por meio do trabalho de campo foi possível compor um cadastro de poços com um total de 240 entre poços tubulares rasos e poços escavados nas duas comunidades, sendo 34 localizados na comunidade de Pedra Grande e 206 em Praia do Rosado. A bateria de 18 poços, operada pela Companhia de Água e Esgoto do RN – CAERN está localizada numa área conhecida localmente como “Fazenda”, que fica distante aproximadamente 5 km à sudoeste da cidade de Porto do Mangue.

Para a composição do cadastro de poços, foi elaborada uma ficha cadastral, notando a localização geográfica de cada poço com um receptor GPS Garmin modelo Etrex’10, além de informações obtidas *in loco* com os proprietários dos poços sobre profundidade, tipo de revestimento, número de famílias que se abastecem de cada poço. Adicionalmente, foi realizada observação prévia sobre as fontes potenciais de contaminação da água subterrânea captada.

As coordenadas de cada poço foram registradas em tabelas impressas, posteriormente digitalizadas, e convertidas em formato CSV para elaboração de mapas de pontos, em ambiente SIG. Os procedimentos de geoprocessamento, bem como a produção dos mapas temáticos foram realizados no Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN/Campus Central.

ESTIMATIVA DAS DEMANDAS

Das 18 captações constituintes da bateria de poços, 2 encontram-se desativados os demais operam em regime de rotatividade, segundo informações da CAERN diariamente 3 poços ficam de reserva, caso haja necessidade, eles entram eventualmente em operação.

A estimativa da quantidade de água explotada da bateria de poços que abastece a zona urbana do município levou em consideração as vazões oferecidas pelas bombas instaladas em cada poço. Através de visita em campo verificou-se que todas as bombas possuem vazões de 2,3 m³/h. Como os poços são rasos, convém adotar uma capacidade de vazão próxima da máxima para cada bomba, aqui foi calculado a exploração baseada numa vazão de 2 m³/h. Os 13 poços funcionam diariamente com regime de exploração de 12 horas. A estimativa do volume de exploração diária consiste na aplicação da equação 4.

$$Vd = QxNxRe \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

Vd = volume diário de exploração

Q = vazão média dos poços

N = número de poços

Re = Regime de exploração

Para calcular a demanda hídrica das duas comunidades, foi utilizado como parâmetro a estimativa de Von Sperling (2005), conforme disposto no (Tabela 2):

Tabela 2: Parâmetros para cálculo de demanda

Porte da Comunidade	Faixa de População (habitantes)	Consumo <i>Per capita</i> (L/hab.dia)
Povoado Rural	< 5.000	90 a 140
Vila	5.000 a 10.000	100 a 160
Pequena Localidade	10.000 a 50.000	110 a 180
Cidade Média	50.000 a 250.000	120 a 220
Cidade Grande	> 250.000	150 a 300

Fonte: Von Sperling (2005)

Classifica-se como “Povoado Rural” as comunidades com populações inferiores a 5.000 habitantes. Para o cálculo de demanda, foi utilizado o consumo *per capita* de 140 (L/hab.dia). A cota máxima de consumo foi adotada em função da população flutuante nas comunidades, já que ambas contam com casas de veranistas, que frequentam as comunidades principalmente aos finais de semana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESERVA RENOVÁVEL E SUA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

As reservas renováveis ou reservas reguladoras são muito importantes pois se trata do volume de água que se infiltrou no solo em um dado período, geralmente 12 meses, e que atingiu o nível freático do aquífero através das áreas de recarga. Como o aquífero Dunas é do tipo livre a reserva renovável contribui de forma contínua para sua sustentabilidade, por meio das precipitações pluviométricas.

Eilers (2004 p. 02) afirmou que, o conhecimento da taxa de alimentação de um sistema aquífero é um subsídio necessário para a tomada de medidas visando o aproveitamento sustentado das águas subterrâneas. Com suporte dessas informações podem ser adotadas medidas de uso, buscando um aproveitamento correto do recurso hídrico. De acordo com o

mesmo autor, a estimativa de recarga de água subterrânea é um fator chave em estudos de disponibilidade, gestão e modelagem dos recursos hídricos subterrâneos.

O conceito de recarga pode ser definido de diferentes maneiras, dependendo do contexto hidrogeológico estudado. Normalmente, recarga é definida como o fluxo descendente de água que, ao infiltrar, alcança o sistema aquífero, provocando uma adição ao volume do reservatório subterrâneo (LERNER *et al.* 1990).

A recarga dos aquíferos ocorre no momento em que o solo recebe uma quantidade de água superior à sua capacidade de absorção (capacidade de campo). A partir desse ponto, a água segue um fluxo descendente pela ação da gravidade e parte dela chega aos sistemas aquíferos. A recarga é influenciada pela porosidade, profundidade e tipo do aquífero (FETTER, 1994).

O Governo do Distrito Federal, através da Resolução nº 16, de 18 de julho de 2018 definiu, que:

Reserva renovável: reserva reguladora que representa o volume de água em um tempo de circulação restrito (geralmente equivalente a um ciclo hidrológico = 12 meses), que anualmente realimenta o sistema aquífero a partir das áreas de recarga. (Art. 1, Parágrafo XIV)”

Em aquíferos livres, ou não confinados, a recarga hídrica tende a ocorrer, principalmente por meio das chuvas. Vasconcelos (1999, p. 174) coloca que “A quantificação da recarga de águas subterrâneas através do balanço hídrico é um processo estimativo, uma vez que utiliza valores médios de séries históricas na equação de balanço de massa”. Portanto, no semiárido, a distribuição pluviométrica mensal permite identificar uma distribuição anual das chuvas e períodos do ano quando a recarga dos aquíferos ocorre devido ao superávit hídrico temporário. Sobretudo em um clima semiárido, é importante caracterizar o período de recarga, tendo em vista o objetivo de mensurar a recarga hídrica sustentável dos aquíferos e de outros reservatórios, utilizando dados de precipitação para mensurar esse aporte hídrico.

Na área estudada, as médias anuais são de 614,3 mm, tendo um período chuvoso com acúmulos de mais de 80 % entre os meses de fevereiro a maio, com um pico de precipitações nos meses de março e abril, ultrapassando os 160 mm, nesse período ocorre a recarga mais significativa dos aquíferos locais (Figura 3).

Este padrão já foi apontado por Ferreira (2019), que ao estudar o regime pluviométrico de Areia Branca/RN, mostrou que nos meses de março e abril as precipitações no município podem acumular chuvas torrenciais maiores que 50 mm.

De julho até dezembro ocorre o período de estiagem, no qual as chuvas estão praticamente ausentes ou com acúmulos mensais bem abaixo dos 20 mm, portanto, somente os meses de março, abril e maio foram considerados no cálculo da recarga. O mês de fevereiro, apesar de apresentar uma média pluviométrica acima de 80 mm, não foi considerado, pois, para que a recarga aconteça é necessário que o solo atinja a capacidade de campo. Essa pode ser conceituada como uma quantidade de água necessária para preencher os poros dos solos ou sedimentos até que haja quantidade de água suficiente para o movimento vertical por meio da força da gravidade, enquanto a distribuição das chuvas em fevereiro, geralmente não ultrapassa a capacidade de campo Castany (1975).

A soma das médias pluviométricas dos meses considerados para mensurar a recarga é de 412,3 mm, total que corresponde a 67,1 % do que chove no ano, contudo, 15% desse total foi considerado para mensurar efetivamente a recarga hídrica renovável do aquífero Dunas.

Considerando a área de 49.6 Km² e multiplicada pela pluviometria média dos meses, 137,4 mm durante os meses de março a maio, sendo a taxa de infiltração de 15%, o volume de recarga é de 30,71 x 10⁵ m³ (Tabela 3).

Tabela 3: Volumes médios mensais de precipitação considerados para a recarga renovável

Meses	Março	Abril	Maió	Totais
Precipitação média (mm)	162,79	162,78	86,70	421,27
Precipitação de recarga* (mm)	24,41	24,41	13,00	61,82
Volume de recarga renovável (m ³)	1213011,30	1212943,62	646013,26	3071968,18

* 15 % do total pluviométrico, segundo Cavalcante (1998) e Guimarães Junior e Pereira (2011)

Fonte: Agência Nacional de Águas (2021), sistematizado pelos autores.

A recarga calculada ocorre através da infiltração da água da chuva por meio da percolação a partir do topo do aquífero Dunas. As águas são captadas no aquífero Dunas, ou mesmo no aquífero Barreiras quando há a transferência da água para esta unidade hidrogeológica subjacente. Ao se aferir a reserva renovável, se faz também necessário discutir e comparar ao volume atual de demanda do aquífero, considerando que este é responsável pelo

abastecimento da zona urbana de Porto do Mangue e das comunidades litorâneas de Pedra Grande e Praia do Rosado.

FONTES DE CAPTAÇÃO E DEMANDAS HÍDRICAS

As fontes de captação de água nas comunidades estudadas são predominantemente poços tubulares, em sua maioria feitos de forma adaptada, com material de revestimento de PVC, além de poços escavados do tipo cacimba revestidos com material de alvenaria. Cabe ressaltar que esses poços são construídos sem conhecimento técnico e com materiais, em sua maioria não adequados, à revelia de qualquer recomendação das NBRs n° 12244/1992 e 12212/1992 da ABNT (1992a; 1992b), que estabelecem os requisitos para a construção segura de poços de captação de água.

Na comunidade de Pedra Grande, todos os pontos d'água são poços tubulares, em Praia do Rosado predominam os poços tubulares, mas também se encontram poços manuais (Figuras 4 e 5).

Figura 4: Poço tubular com revestimento de PVC convencional.



Fonte: Autores (2020)

Figura 5: Poço manual do tipo cacimba.



Fonte: Autores (2020)

Nas duas comunidades os poços são construídos nas proximidades das residências. Tal situação se dá pelo fato de que as comunidades não dispõem de serviços de abastecimento de água convencional, além disso, em razão da hidrogeologia local, os poços perfurados em qualquer ponto oferecem água que suprem demandas domésticas individuais. Portanto, com

finalidade de baratear os custos com tubulações para adução, os poços são perfurados próximos às moradias.

Essa prática pode prejudicar a qualidade da água, visto que, embora as águas do aquífero Dunas sejam predominantemente de boa qualidade, a exposição a poluentes e a alta capacidade de infiltração do aquífero facilitam a percolação de contaminantes. Nesse contexto, os dispositivos estáticos de esgotamento sanitário, como as fossas sépticas e rudimentares, utilizadas alternativamente à não disponibilidade de coleta e tratamento de esgoto, são as principais fontes de contaminação, podendo aumentar drasticamente os níveis de nitrato, inviabilizando a água para o consumo humano e indicando o risco de contaminação microbiológica (PEIXOTO e CAVALCANTE, 2021)

A própria ANA (BRASIL, 2012) destacou os crescentes problemas ligados à qualidade da água no Nordeste, além do descompasso entre a oferta e demanda de água, este problema é agravado pelo desperdício urbano e pela sua má utilização.

As duas comunidades são frequentadas por veranistas que possuem residências nas localidades, tal característica permite afirmar que nas comunidades há população flutuante. Por isso, foi adotado um consumo máximo por habitante de acordo com o porte da comunidade definido por Von Sperling (2005) (Tabela 4).

Tabela 4: Quantidade explorada no Aquífero Dunas - Porto do Mangue RN

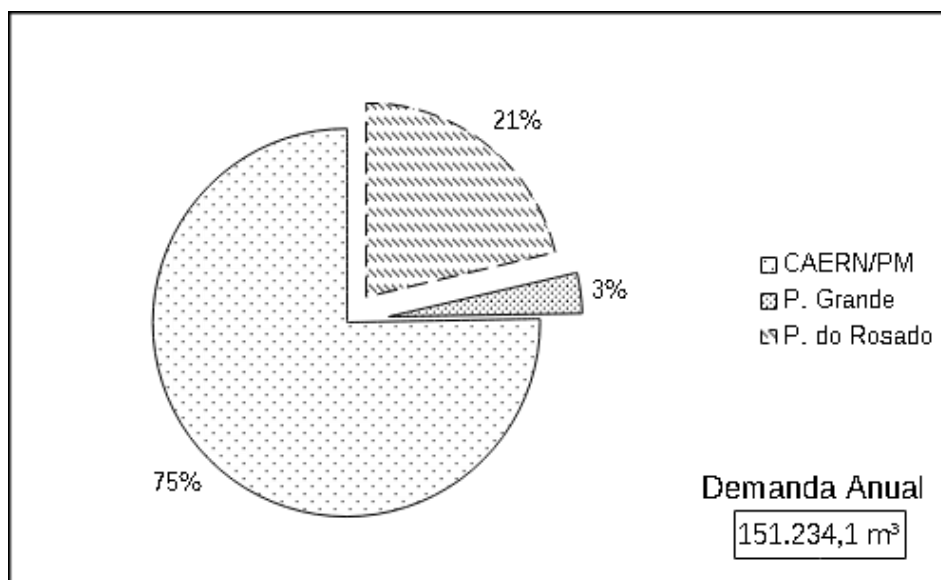
Local de exploração	Demanda diária (m ³)	Demanda Mensal (m ³)	Demanda Anual (m ³)	Proporção da recarga renovável utilizada
Poços da CAERN (Bateria de poços)	312,0	9.360,0	113.880,0	3,7%
Pedra Grande	14,0	420,0	5.110,0	0,2%
Praia do Rosado	88,3	2.650,0	32.229,5	1,0%
Totais	414,3	12.430,2	151.234,1	4,9%

Fonte: Autores (2022)

A maior parte da água do aquífero Dunas é explorada por meio da bateria de poços. O volume dessa demanda foi calculado na tabela 2, nela, mostra-se a quantidade de água explorada pela bateria de poços da CAERN, com uma demanda anual de $113,8 \times 10^3 \text{ m}^3$, em seguida, a demanda suprida pelos poços nas comunidades de Praia do Rosado ($32,2 \times 10^3 \text{ m}^3$) e de Pedra

Grande ($5,1 \times 10^3 \text{ m}^3$). A figura 6 expõe as demandas anuais exercidas pelos pontos de captação da área estudada.

Figura 6: Estimativas de demanda



Fonte: Autores (2022)

De acordo com os dados obtidos, é notório que a demanda exercida pelo município é muito pequena se comparada ao potencial hídrico de recarga do aquífero. As águas exploradas do aquífero Dunas representam cerca de 5% da reserva renovável revelando uma boa disponibilidade hídrica, e a necessidade de conservação desse precioso recurso, tão importante para o município de Porto do Mangue.

CONCLUSÃO

O aquífero Dunas em Porto do Mangue, possui uma área de 49,6 km². Este aquífero supre as demandas hídricas da zona urbana do município e das suas comunidades litorâneas, Pedra Grande e Praia do Rosado, que demandam um volume de aproximadamente $151,2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. O regime de recarga ocorre sob condições climáticas semiáridas, com médias anuais de 615 mm, a reserva renovável foi mensurada em $30,71 \times 10^5 \text{ m}^3$, valor muito superior à atual demanda que chega a 5% desse volume. Os dados demonstram um bom potencial hídrico do aquífero Dunas, contudo esse precioso recurso precisa ser conservado para que a sua disponibilidade não seja afetada, principalmente pela contaminação da água.

É muitíssimo importante que o município busque identificar, por meio de um cadastro de poços, monitoramento e auxilie os moradores nos procedimentos de licença para concessão ou dispensa de outorgas dos poços com finalidade doméstica. é imperioso que se evite a construção desordenada de fontes de exploração. Também se faz necessário adequar os poços aos padrões construtivos técnicos, para se evitar a contaminação do aquífero a partir deles.

O aquífero Dunas, devido suas características hidrodinâmicas intrínsecas, é muito vulnerável à contaminação, desse modo, a ocupação de áreas sem sistemas adequados de coleta, disposição e tratamento de esgoto, oferecem um risco elevado para a contaminação da água subterrânea.

REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial; 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.212**: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, p. 5, 1992a. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.212-Projeto-de-Po%C3%A7os-Para-Capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%81guas-Subterr%C3%A2neas.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.244**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, p. 6, 1992b. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.244-Construc%C3%A3o-de-po%C3%A7o-para-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-subterr%C3%A2nea.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2022.

BRASIL. ANA, Agência Nacional de Águas. **Questão da Água no Nordeste**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/669/4/A%20quest%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua%20no%20Nordeste.pdf> Acesso em: 11/02/2021

CASTANY, G. **Prospeccion y exploracion de las aguas subterraneas**. Barcelona: Omega, 1975.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. 1998. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Programa de Pós -Graduação em Hidrogeologia e recursos Minerais, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, SP.

EILERS, V. H. M.; Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico. **Águas Subterrâneas**, n. 1, p. 231 – 242. jan.2004.

FELIPE, J. L. A.; CARVALHO, E. A. **Economia do Rio Grande do Norte: estudo geohistórico e econômico**. João Pessoa: Grafset 1, 2002.

FERREIRA, J. C. V. **Relação praia-falésia de São Cristóvão, Ponta do Mel - Areia Branca (Litoral Setentrional) e Cacimbinha - Tibau do Sul (Litoral Oriental), RN - Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação e Geografia, UFRN, Natal, RN.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

FOSTER, S., HIRATA, R. Custodio, E. Waterwells: how can we make legality more attractive? **Hydrogeol Journal**. n. 29, p. 1365–1368, 2021.

GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos**. 2013, Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Gaduação em Geologia, UFC, 2013, 212p.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Resolução nº 16**. 2018. Define as disponibilidades hídricas dos aquíferos das diferentes unidades hidrográficas (UHs) do Distrito Federal e dá outras providências. 2018.

link:https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/resolucoes_adasa/Resolucao_n16_2018_Disponibilidade_aguas_subterraneas.pdf. Acessado em 13 de março de 2022.

GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; PEREIRA, R. Capacidade de Infiltração nas Dunas de Natal – Capital do RN. 2011. Natal. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 19ª ed. Natal, 2011, p. 57 – 69.

LERNER, D. N. Groundwater Recharge in Urban Areas., **Atmospheric Environmental**, v. 24B, n. 1, p. 29 – 33. 1990,

LLAMAS, R. CUSTÓDIO, E. **Intensive use of groundwater: challenge and opportunities**. Lisse, The Netherlands: Swets & Zeitlinger B.V. 2003.

MÉLO, F. E. L.; FERREIRA, I. C. S.; OLIVEIRA, M. L. S.; SILVA, N. H. S.; PEIXOTO, F. S. Fontes Potenciais de Contaminação da Água Subterrânea na Comunidade de Praia do Rosado – Porto do Mangue/RN. 2019. In: **Congresso de Economia & Gestão**, 16ª ed. Anais. Mossoró: Edições UERN, 2019.

MELO, J. G., FIGUEREDO, E. M. Comportamento hidráulico e vulnerabilidade do sistema aquífero Dunas/ Barreiras à poluição na área de Natal (RN). **Águas Subterrâneas**, v. 13 n. 1. p. 98 – 110. 1990.

MISTRETTA, G. **Monografia do Aquífero Jandaíra da bacia Potiguar**. 1984, Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Hidrogeologia e recursos Minerais, USP, São Paulo, SP.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. **Clima e Água de Chuva no Semi-Árido**. EMBRAPA. 2007.

PEIXOTO, F. S. CAVALCANTE, I. N. Sewage static system influence on the concentrations of nitrogen compounds in unconfined aquifers. **Eng. Sanit. Ambient.** n. 2 v. 26, p. 273 – 281, dez. 2021.

PEIXOTO, F. S. TORRÊS, L. M. G. SILVA, I. C. F.; SILVA, A. M. S. A city on waters: use and quality of the groundwater in Mossoró-RN. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 12, 294 - 307, 2021. DOI:10.26895/geosaberes.v12i0.1114

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

RODRIGUES, C. M.; MOREIRA, M.; GUIMARÃES, R. C. **Apontamentos para as aulas de hidrologia**. Évora: Departamento de Engenharia Rural. 2011.

SHIKLOMANOV, I. A. RODDA, J. C. **World water resources at the beginning of the twenty-first century**. Cambridge: Cambridge University, 2003.

SILVA, L. R. D.; LUCENA, L. R. F.; VIEIRA, M. M.; NASCIMENTO, A. F. Estimativa de parâmetros hidráulicos do aquífero Barreiras-RN a partir de análise computacional de imagens de lâminas delgadas. **Águas Subterrâneas**. v. 28, n. 2, p. 1- 16, abr. 2014.

SILVEIRA, R. N. C. M; COSTA, R. N. T; PEIXOTO, F. S; SOUSA, H. G; CAVALCANTE, I. N; OLIVEIRA, R. M. Reservas Hídricas Subterrâneas e Contribuição à Gestão dos Recursos Hídricos em Aluviões no Semiárido. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 35, n. 4, p. 642-651, fev. 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global environmental outlook: GEO-4**, Malta: Valleta, 2007, 508 p.

VASCONCELOS, M. S. **Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza - CE**. 1999. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de pos-Graduação em Hidrogeologia e Recursos Minerais, USP. São Paulo, SP.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto**. 3 ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.