



**RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA  
ASSOCIADOS AO USO E COBERTURA DO SOLO URBANO EM  
APODI – RN**

GROUNDWATER RISK CONTAMINATION ASSOCIATE URBAN LAND USE IN  
APODI – RN

**Filipe da Silva Peixoto<sup>1</sup>, Lucas Matheus Garcia Torres<sup>2</sup>, Isabel Cristina da Silva Ferreira<sup>3</sup>, Júlio César Soares de Souza Filho<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Geógrafo. Doutor em Geologia. Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Central. Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5409-3001>, E-mail: [felipepeixoto@uern.br](mailto:felipepeixoto@uern.br)

<sup>2</sup> Graduando em Geografia. Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Central. Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-3004-320X> E-mail: [lucas-matheus@hotmail.com](mailto:lucas-matheus@hotmail.com)

<sup>3</sup> Graduanda em Geografia. Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Central. Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-3588-9968> E-mail: [isabelferro070@gmail.com](mailto:isabelferro070@gmail.com)

<sup>4</sup> Graduando em Geografia. Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Central. Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-6956-8815> E-mail: [juliofilho@alu.uern.br](mailto:juliofilho@alu.uern.br)

## Resumo

As águas subterrâneas têm sido utilizadas para o abastecimento doméstico na maioria dos municípios Brasileiros, em alguns destes ela é a únicas fontes disponível. A cidade de Apodi-RN se insere nesse quadro, inserida no semiárido nordestino, as águas subterrâneas são recursos estratégicos para o abastecimento urbano, contudo a falta de monitoramento e políticas efetivas para proteção dos mananciais subterrâneos colocam esse recurso eminentemente em risco. Assim, nesse estudo buscou-se o número e tipos de captação e uso das águas subterrâneas, bem como a análise dos riscos potenciais associados ao uso e cobertura do solo urbano. Para isso foram sistematizados dados de 48 poços do Sistema de Informação de águas subterrânea – SIAGAS/CPRM. Por meio deles, foram analisados as captações e uso das águas subterrâneas, bem como aspectos de qualidade e de geometria aquífera, além disso o mapeamento dos riscos por meio da integração de dados no sistema de informação geográfica - SIG revelou que as principais fontes potenciais de contaminação são o aumento do número de fossas sépticas e rudimentares, associados à forte expansão urbana nos últimos 30 anos, sem haver, ao menos, sistemas de coleta e tratamento de esgoto, além dos efluentes domésticos, cemitérios e posto de abastecimento de combustível que também oferecem riscos de contaminação pontuais. O estudo contribuiu para sistematização de informações básicas para o planejamento urbano que considere medidas de proteção para as águas subterrâneas, tendo em conta a necessidade de uso sustentável desse recurso como fonte fundamental para o abastecimento urbano local

**Palavras-chave:** Recursos hídricos. Risco potencial de contaminação. Vulnerabilidade aquífera.

## Abstract

Groundwater has been used for domestic supply in most Brazilian municipalities, in some of these, this is the only available source. The city of Apodi-RN is part of this frame, insert in the context of the semi-arid Northeast, the groundwater is a strategic resource for the urban supply, however, the lack of

monitoring and effective policies to protect underground sources often put this resource at risk. This study sought to characterize the capture and use of groundwater, as well as the analysis of potential risks associated with the use and coverage of urban land. For this, data from 48 wells of the Groundwater Information System – SIAGAS/CPRM. Through them, the abstraction and use of groundwater were analyzed, as well as aspects of quality and aquifer geometry, in addition to the mapping of risks through the integration of data in the geographic information system - GIS revealed that the main potential sources of contamination are the rudimentary septic tanks, associated with the strong urban expansion in the last 30 years, without, at least, sewage collection and treatment systems. In addition to domestic effluents, cemeteries and fuel stations also pose a risk. The study contributed to the systematization of basic information for urban planning that considers protective measures for groundwater, considering the need for sustainable use of this resource as a fundamental source for local urban supply.

**Keywords:** Water resource. Potential contamination risk. Aquifer vulnerability.

## **Introdução**

As águas subterrâneas representam uma importante fonte para múltiplos usos no Brasil. Mais de 50% dos municípios brasileiros utilizam a água subterrânea em maior ou menor proporção para o abastecimento urbano e industrial (REBOUÇAS, 2003). O número de captações da água subterrânea tem crescido, tanto pela necessidade do uso da água frente as condições de escassez. No Brasil, somente 12% 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 (HIRATA et al., 2019).

A captação desse recurso, sobretudo em áreas urbanas, muitas vezes são invisibilizada pela falta de cadastro de poços e monitoramento adequado dos aquíferos. Desse modo, a importância que os aquíferos possuem para suprir múltiplas demandas é quase sempre subdimensionada.

Outras características são inerentes ao aquíferos localizados sobre as cidades, principalmente ligados à influência do uso e ocupação do solo urbanos. Segundo Barrett (1999), nessas áreas, esses reservatórios podem ser considerados como aquífero urbanos, pois pode haver substanciais diferenças na dinâmica da recarga e da quantidade da água nos aquíferos sob às cidades. “The same sources exist in urban areas, but their pathways become more complex and other sources are added, including storm water, potable water supplies, and wastewater or sewage” (BARRETT, 1999, p.3083).

A disposição de abastecimento de água e coleta de esgoto, as condições de cobertura do solo e sua influência na infiltração da água para recarga dos aquíferos, além disso volumes de efluentes domésticos que chegam aos aquífero podem produzir contaminação. Como demonstrou, Peixoto, Cavalcante e Gomes (2021) o risco de contaminação também está associado a própria vulnerabilidade intrínseca do aquífero, somadas à configuração espacial das fontes potenciais dispersas sobre o aquífero.

De uma maneira geral, a vulnerabilidade aquífera é estimada em função do nível estático, condutividade hidráulica, transmissividade, grau de confinamento ou não confinamento do aquífero, tipo de aquífero (meio cárstico, intersticial ou fissural), tipo de litologia e grau de fraturamento das rochas (CIVITA, 1990; AUBRE, 1992; VRBA e ZAPOROZEC, 1994).

A cidade de Apodi – RN, localizada no contexto geológico da Bacia Potiguar, está situada em uma área vulnerável à contaminação, al passo que a cidade possui forte relação com o uso das águas subterrâneas para as demandas urbanas. O número atual de poços é desconhecido, pois não há um cadastro oficial de poços, contudo os poços cadastrados no Sistema de Informação de Água Subterrânea do Serviço Geológico Brasileiro – SIAGAS/CPRM, apresentam dados preliminares a respeito dessas captações. A área de afloramento do aquífero Açu é a mais importante área de recarga desse manancial subterrâneo, sendo o aquífero Açu a mais importante fonte de água para a região Oeste do Rio Grande do Norte. Ao estudar somente uma área de 1320 km<sup>2</sup>, do município de Upanema passando por Apodi, até a fronteira com o estado do Ceará, Melo *et al.*, (2005) estimou o volume de água que compõe a recarga anual, que é da ordem de 54 milhões de m<sup>3</sup>.

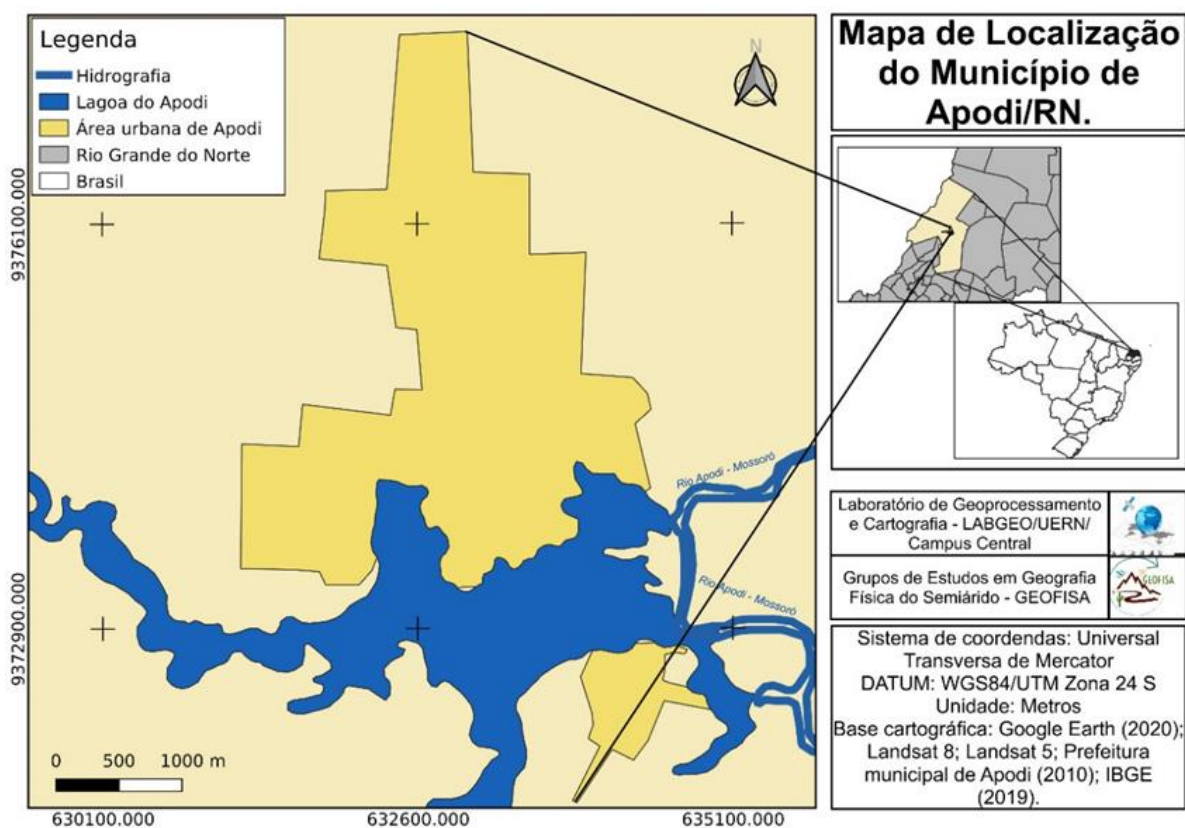
A área urbana do município de Apodi tem passado por uma constante e acelerada expansão, aumentando assim, o número de fonte potenciais de contaminação, se espraiando por uma área de 9,7 km<sup>2</sup> inserida na área de recarga do aquífero Açu. Essa situação condiciona riscos consideráveis à qualidade da água, podendo comprometer a disponibilidade desse importante recurso para o abastecimento doméstico local. As fontes potenciais de contaminação podem ser classificadas segundo a sua característica espacial de disposição sobre ou no solo, a saber, segundo Vrba (2002): Pontuais - quando o impacto ocorre em um lugar específico, a partir de onde as contaminantes pode se propagar em forma de pluma; Multipontuais – quando várias fontes que possuem proximidade tendem a contaminar um mesmo local extenso, fossas sépticas em concentrações urbanas ou mesmo rurais são exemplos desse tipo de fonte de contaminação; Difusas – as fontes de contaminação difusas ou não pontuais atuam em uma área extensa, de maneira que a atuação do contaminantes tende a ser constate em toda área, esse tipo fonte está frequentemente associada a atividade de agricultura irrigada que utilizam insumos agrícolas químicos a base de nitrogênio e agrotóxicos.

Dito isto, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização da captação e uso das águas subterrâneas, bem como a análise dos riscos potenciais associados ao uso e cobertura do solo urbano. Os resultados consistem em dados e informação sistematizadas para subsidiar o gerenciamento dos aquíferos urbanos, associadas a políticas de uso do solo urbano que contribuam para a conservação da água subterrânea e seu uso racional.

## **Materiais e Métodos**

A cidade de Apodi se encontra inserida no município homônimo as margens do Rio Apodi-Mossoró no estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). O município possui uma população estimada em 35.904 habitantes e no censo de 2010 a população urbana foi de 17.531 habitantes (IBGE, 2021).

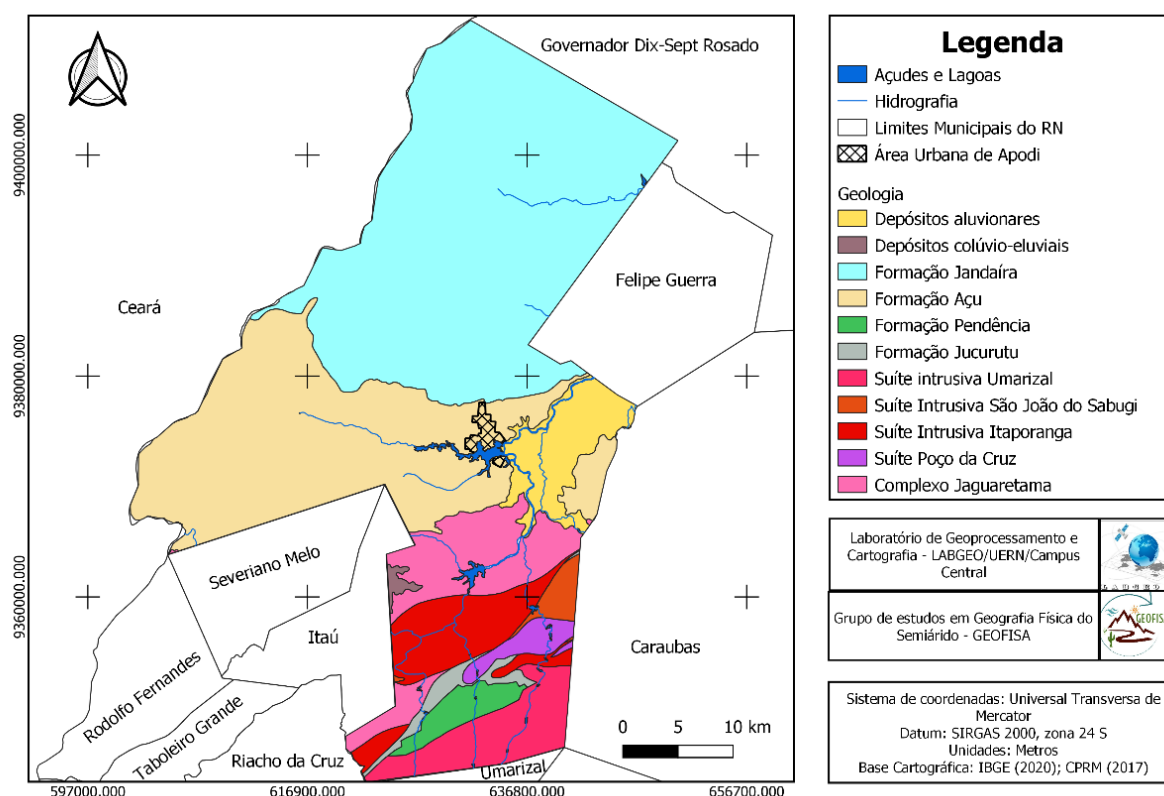
Figura 1: Localização da área urbana do município de Apodi-RN.



Fonte: Autores (2022)

A área do município está inserida no contexto geológico da província Borborema, mais precisamente na borda da bacia sedimentar do Apodi (Figura 2). Na área urbana, o contexto hidrogeológico e lito-estratigráfico constituem ocorrência de aquíferos livres a semiconfinados presentes no aquífero Açu, enquanto o aquífero Aluvionar possui ocorrência livre. O clima semiárido quente (Bs) (KOPPEN e GEIGER, 1928). Com temperatura média anual é de 27,9°C, com precipitação média anual de 767 mm concentrada no mês de março, apresentando temperatura média de 21°C sendo o mês de novembro, mais quentes do ano (IDEMA, 2013). O relevo da borda de bacia é marcado por uma Cuesta estrutural formada pelo contato litológico entre a Formação Jandaíra e a Formação Açu, com declive suave entre 20 e 30°. Os solos são de predominância Cambissolos, Argilssolos e Neossolos litólicos, sendo que, na área do sítio urbano, há majoritariamente Argissolos e Neossolos flúvicos.

Figura 2: Geologia do município de Apodi



Fonte: Autores, 2022.

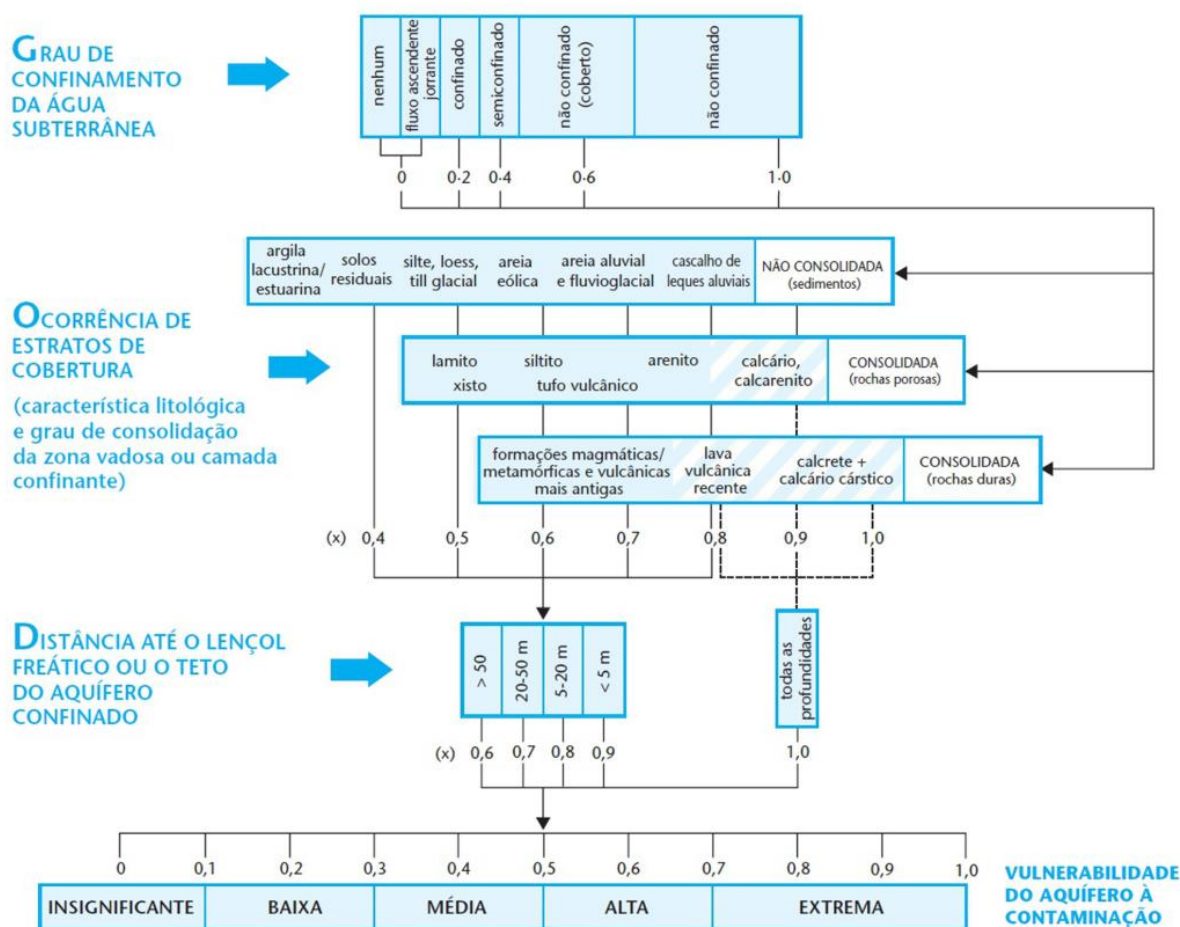
### Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos foram consistidos nas etapas de levantamento de dados secundários, por meio da aquisição de bases cartográficas de geologia, hidrográfica e de poços cadastrados pelo Sistema de Informação sobre Água Subterrânea – SIAGAS. Os poços foram compilados em um cadastro para a cidade de Apodi, constando dados de tipo de poço, usos da água subterrânea, e aspectos construtivos que envolveu o tipo de captação (poço manual ou poço tubular) e profundidade. Alguns desse poços (10) possuem perfis construtivos e litológicos, 6 desses, mais precisamente (P24, P28, P26 P29, P25 e P14) foram utilizados para produzir uma geometria aquífera, a partir de um alinhamento ONO–ESE.

A vulnerabilidade aquífera foi delimitada para a área total do município de Apodi, considerando a variabilidade litológica e a susceptibilidade do aquífero de ser percolado por substâncias potencialmente contaminantes. Assim, a própria localização do sítio urbano sobreposto ao mapa de vulnerabilidade aquífera demonstra o risco potencial as fontes de contaminantes no meio urbano podem engendrar. Foi aplicada a metodologia GOD, proposta por Foster et al., (2006) para analisar a vulnerabilidade aquífera com base nos critérios de grau de confinamento, ocorrência de estratos de cobertura, e nível freático (Figura 3).



Figura 3: Workflow para aplicação do modelo GOD de vulnerabilidade aquífera



Fonte: Foster et al., (2006).

Para a produção do mapa de vulnerabilidade foi realizada análise multicritério com base na litologia, cobertura sobre o aquífero e nível estático. Para tanto, foi adotado nível estático médio de 35 m para o aquífero açu, de 15 m para o aquífero Aluvionar, para o aquífero Jandaíra, adota-se o valor de 1,0 na variável (D) de acordo com a metodologia para o tipo de rocha encontrada na área. Para o sistema cristalino-fissural, e depósitos colúvio-eluviais, como não houve poços cadastrados nessas feições, para o nível freático foi adotado o mesmo valor do aquífero Açú, 0,7 que corresponde a níveis entre 20 e 50 m.

De acordo com os dados levantados, os valores do índice GOD estão dispostos na tabela 1. O índice é calculado conforme a multiplicação dos valores adotados em cada parâmetro.

Tabela 1: Valores utilizados para os parâmetros de vulnerabilidade aquífera.

Unidades hidrogeológicas	G	O	D	G x O x D
Açu	1,0	0,8	0,7	0,56
Jandaíra	0,6	0,6	1,0	0,36
Aluvião	1,0	0,7	0,8	0,56
Cristalino	0,6	0,6	0,7	0,25
Depósitos colúvio-eluvial	0,6	0,4	0,7	0,16

Fonte: Autores, adaptado de Foster et al., (2006)

Os riscos associados ao uso e cobertura do solo urbano consistem, sobretudo em diversas fontes de contaminação ligadas a falta de controle de diversos tipos de efluentes. Nas cidades, as fontes contaminantes podem ser de diversas origens, contudo as mais comuns são provenientes de efluentes domésticos. Esses tipos de fontes estão presentes no meio urbano de Apodi, dispersando-se espacialmente de forma multipontual.

Segundo Peixoto e Cavalcante (2019) “O risco potencial de contaminação tem sido calculado por meio de estimativas de carga poluente com o auxílio de dados demográficos, de densidade de fontes específicas de poluição e de proximidade de fontes potenciais a poços captação” (p. 30). Esse tipo de risco pode ser entendido como a soma entre a vulnerabilidade aquífera e o potencial de contaminação que de efluentes produzidos a partir das ocupações e condições sanitárias das residências. Somado a isto, serviços espaços com funções de abrigar serviços como postos de abastecimento de combustíveis, cemitérios e lixões também são classificados como fonte potencial de contaminação da água subterrânea, pois produzem substâncias que além de degradar a qualidade da água, podem afetar a saúde humana.

Não particularmente para a cidade de Apodi, os efluentes domésticos são os mais frequentes tipos de contaminantes. Diversas cidades brasileiras com densidades populacionais similares não possuem serviço de coleta de esgoto. A cidade conta apenas com serviço de abastecimento de água operado pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte – CAERN. Todas as residências possuem, portanto, meio alternativos de deposição das águas servidas, destinadas a tanques sépticos, fossas rudimentares valas, ou depositados a céu aberto e corpos hídricos. Desse modo, toda a área de ocupação que é eminentemente residencial, juntamente com os serviços que são desempenhados na parte comercial que podem produzir substâncias potencialmente contaminantes.

Para identificação espacial e tipológica dessas fontes, foram identificadas as multipontuais, que se trata de toda a superfície construída da cidade, buscando identificar a evolução estrutura citadina nos entre os anos de 1990 e 2020. As fontes multipontuais, são também consideradas as mais frequentes e que oferecem maior risco de contaminação, pois, como a cidade não possui sistema de coleta e tratamento de esgoto, todo o efluente produzido é destinado aos sistemas estáticos de esgotamento sanitário, virtualmente, fossas sépticas e rudimentares. Além disso, foram considerados os postos de gasolina e os cemitérios como potenciais fontes pontuais e difusas de contaminação, respectivamente.

A descrição da hidrogeologia local foi realizada por meio do estudo e representação em perfil das características litológicas de perfis construtivos de poços do SIAGAS, esses foram previamente selecionados e avaliados quanto a qualidade descritiva do perfil. Com base nesse critério, foi possível utilizar os dados de apenas 6 poços, pois no restante as informações foram consideradas incompletas.

O posicionamento geográfico dos poços permitiu que fosse realizado um perfil com a direção NW – SE, caracterizando sobretudo 2 unidades: as aluviões e o aquífero Açu, que é o manancial de maior expressão aflorante na cidade. Enquanto a qualidade da água dos poços foi caracterizada quanto a condutividade elétrica, visando identificar aspectos qualitativos básicos,

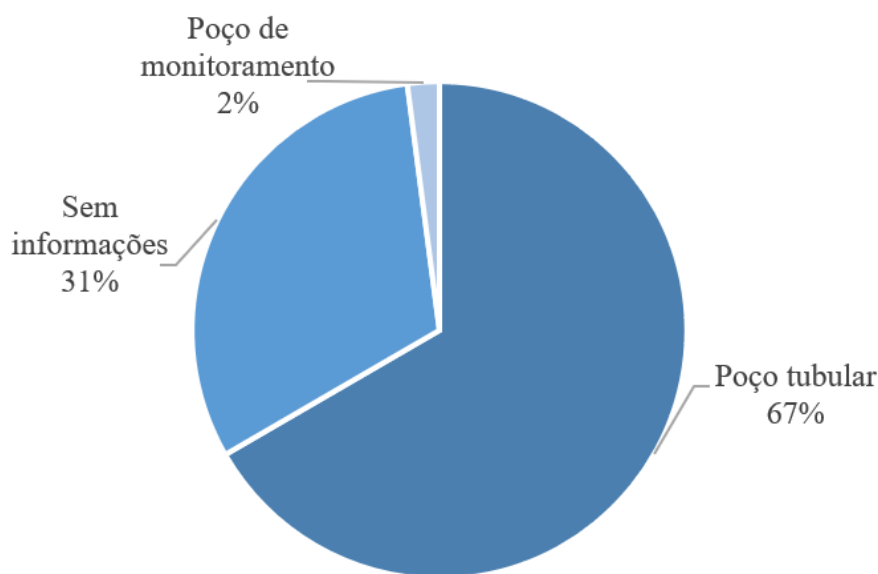
os quais estão relacionados com restrições de uso, sobretudo no semiárido, onde grande quantidade de poços possui águas com salinidade inadequada à usos mais nobres.

## Resultados e discussão

### Captação das águas subterrâneas e seus usos múltiplo

Ao todo, foram encontrados 48 poços no sistema SAGAS na área urbana do município de Apodi, sendo a maioria, poços tubulares, no entanto, chama a atenção a falta de informação básica em algumas fichas, pois 31% dos poços não possuem essas informações (Figura 4). Essa situação demonstra a necessidade de realização de um cadastro de poços, acrescentando novos poços (tubulares e escavados) na área de estudo e checando as informações no cadastro sistematizado a partir dos dados do SIAGAS. No âmbito desse debate, previamente adotado por instituições e organismos internacionais, uma agenda de eventos, realizados nas últimas três décadas. Esse fato pode ser observado, por meio da pauta da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio/92), que teve como um dos seus principais documentos a Agenda 21, um plano de ação formulado com a participação de todos os países presentes na Conferência para ser adotado em escala global, nacional e local.

**Figura 4:** Tipos de poços

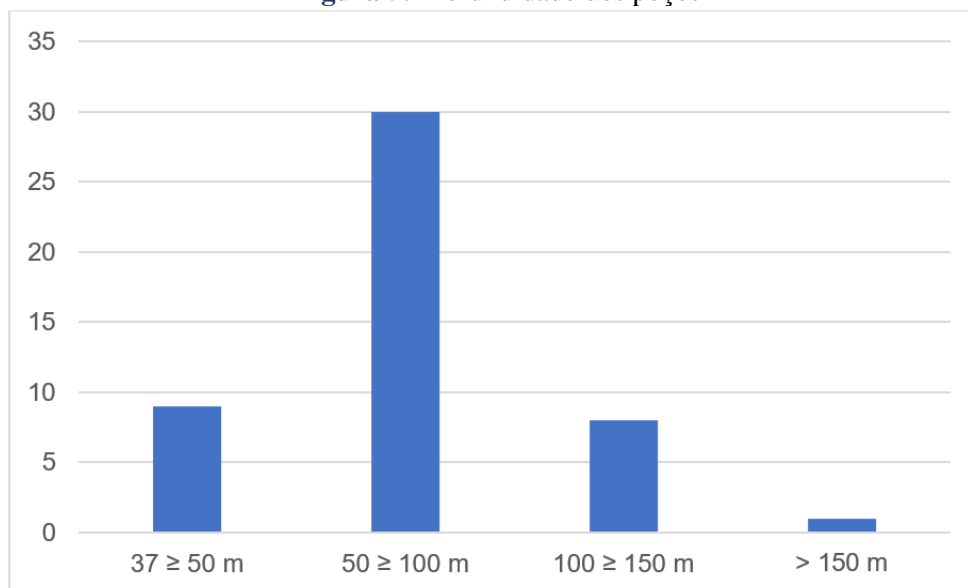


Fonte: SIAGAS (2020) sistematizado pelos autores.

Os dados de profundidade foram elaborados a partir de 48 poços locado na área de estudo. A maioria dos poços possuem profundidade entre 50 e 100 m, estando relacionados ao caráter aflorante do Aquífero Açú, apenas 1 poços possui profundidade acima de 150 m (Figura 5). em geral, os poços com profundidade acima de 100 m possuem menores valores de condutividade elétrica, confirmado a boa qualidade das águas do aquífero Açú para o abastecimento urbano.



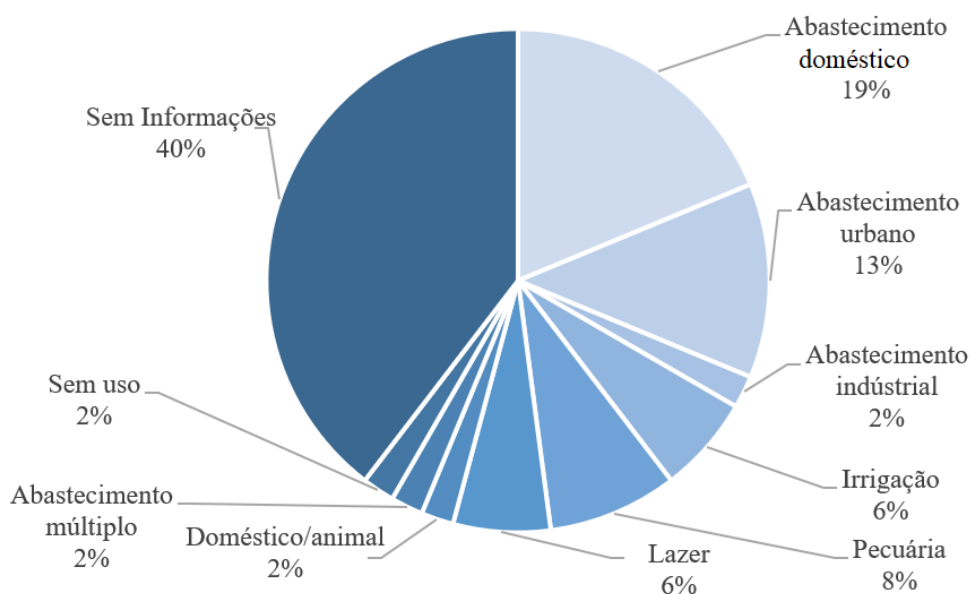
Figura 5: Profundidade dos poços



Fonte: SIAGAS (2000), sistematizado pelos autores.

A maioria dos usos das águas subterrâneas, com 19% da totalidade dos poços, é direcionada para abastecimento doméstico individual. O uso para abastecimento urbano, ou seja, para a rede convencional de distribuição de água, correspondem a 13%. Os usos para atividades de pecuária e de irrigação apresentam os valores 8% e 6%, respectivamente. Já o abastecimento de outros setores, como por exemplo o lazer, correspondem a 6%. O abastecimento múltiplo, industrial doméstico/animal correspondem igualmente a 2% cada um. 40% dos poços não possuem informações sobre o uso das águas (Figura 6).

Figura 6: Usos da água dos poços.



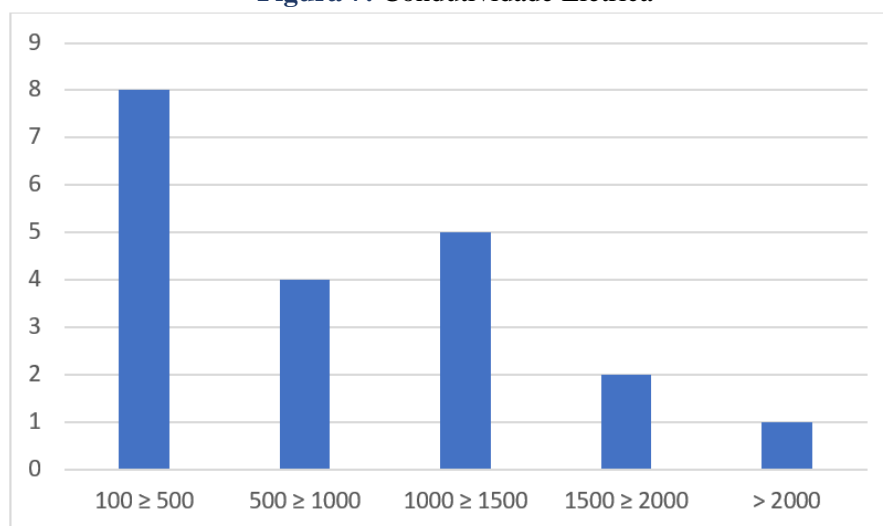
Fonte: SIAGAS (2000), sistematizado pelos autores

A qualidade das águas subterrâneas no semiárido frequentemente está comprometida por causa do excesso de sais dissolvidos na interação água-rocha, principalmente nos sistemas aquíferos fraturados em rochas do embasamento cristalino. Segundo Melo et al., (2005) O

aquífero Açu na, faixa adjacente ao contato com as rochas cristalinas apresenta salinidade alta, com sólidos totais dissolvidos entre 1.000 e 2.000 mg/L. A condutividade elétrica – Ce, é um importante parâmetro de qualidade da água, nesse sentido. A Ce é facilmente medida, in situ, mensurando a facilidade de a água conduzir eletricidade, assim, por meio deste, se tem outros parâmetros relevantes e proporcionalmente correlativos, como a salinidade e os sólidos totais dissolvidos - STD.

A variação da CE (Figura 7) se dá entre 100 e 2.070  $\mu\text{s/cm}$ , com média 867,38,  $\mu\text{s/cm}$ , mediana 915  $\mu\text{s/cm}$  e um desvio padrão 140,7. A água possui, portanto, o valor médio que constata a boa qualidade da água do aquífero Açu, entretanto 4 (22,2%) poços possuem valores de Ce acima de 1.500  $\mu\text{s/cm}$ , considerada o limite para potabilidade conforme Kemker (2015) (tabela 1). É importante ainda ressaltar que valores acima de 2000 ( $\mu\text{S/cm}$ ), em águas naturais de aquífero sem depósitos com quantidades elevadas de sais, podem estar associados contaminação por efluentes de natureza doméstica, choro e efluentes industriais (PEIXOTO E CAVALCANTE, 2019).

Figura 7: Condutividade Elétrica



Fonte: SIAGAS (2000), sistematizado pelos autores.

### Vulnerabilidade e riscos de contaminação da água subterrânea

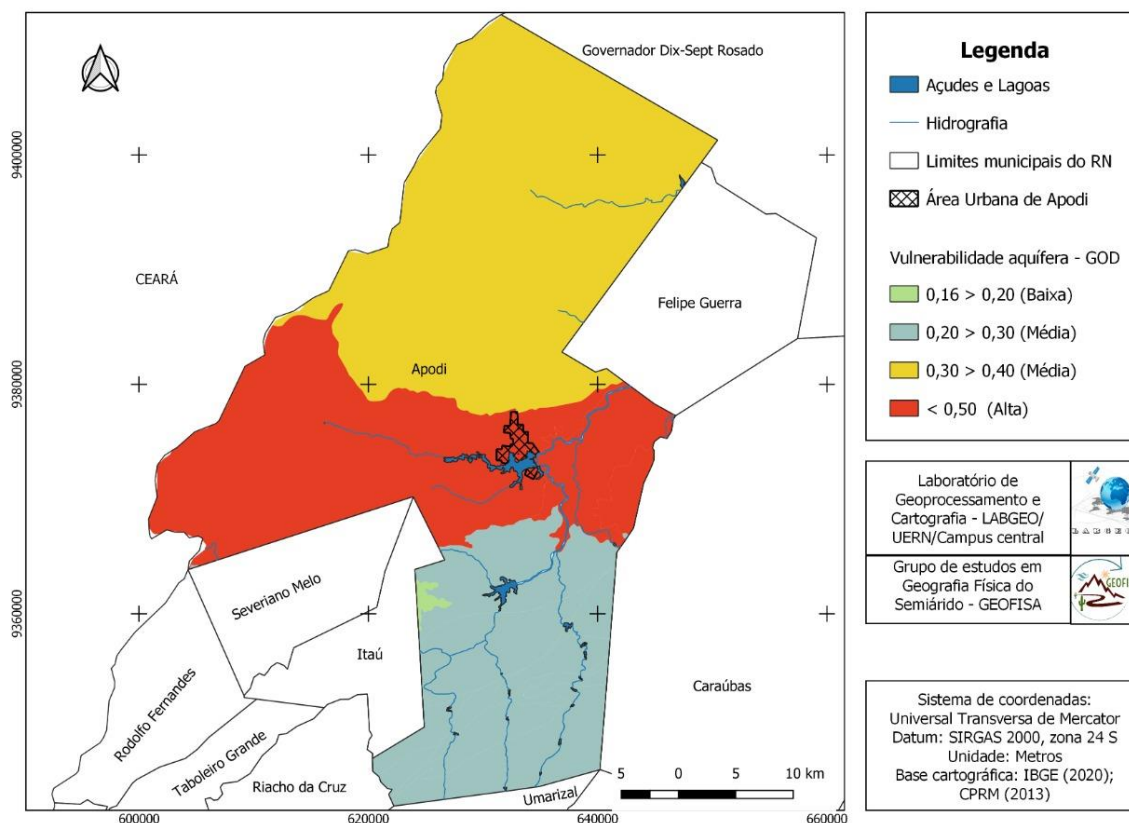
As condições intrínsecas a hidrogeologia que influenciam na transmissibilidade da água na estrutura do aquífero, além da facilidade de acesso do nível freático por um determinado contaminante são variáveis importantes para caracterizar a vulnerabilidade aquífera. Dentre as muitas metodologias de se calcular, o índice GOD, oferece por meio de mapeamento multicritério calculados parametricamente, respostas claras e que necessitam de poucos dados para serem elaboradas.

Esse índice tem sido empregado de forma frequente em vários estudos na América Latina, e demonstram os setores dos aquíferos mais vulneráveis, em termos gerais, à contaminação vindas de diversas atividades que configuram o uso e cobertura da terra.

O índice GOD foi aplicado ao município de Apodi, demonstrando que a parte mais vulnerável é justamente a porção que serve como suporte vital para o abastecimento da sede municipal. Apesar da proximidade do Rio Apodi-Mossoró, a cidade é abastecida totalmente por água subterrânea, haja vista que a qualidade da água do referido rio é muito inferior se

comparada as águas subterrâneas captadas. Contudo, a área de captação e a expansão física da cidade ocorre na vulnerabilidade aquífera considerada alta, ou seja, o índice GOD maior que 0,50 se apresenta na faixa central do município, correspondendo à zona de afloramento do aquífero Açú (Figura 8).

**Figura 8:** Vulnerabilidade Aquífera do município de Apodi

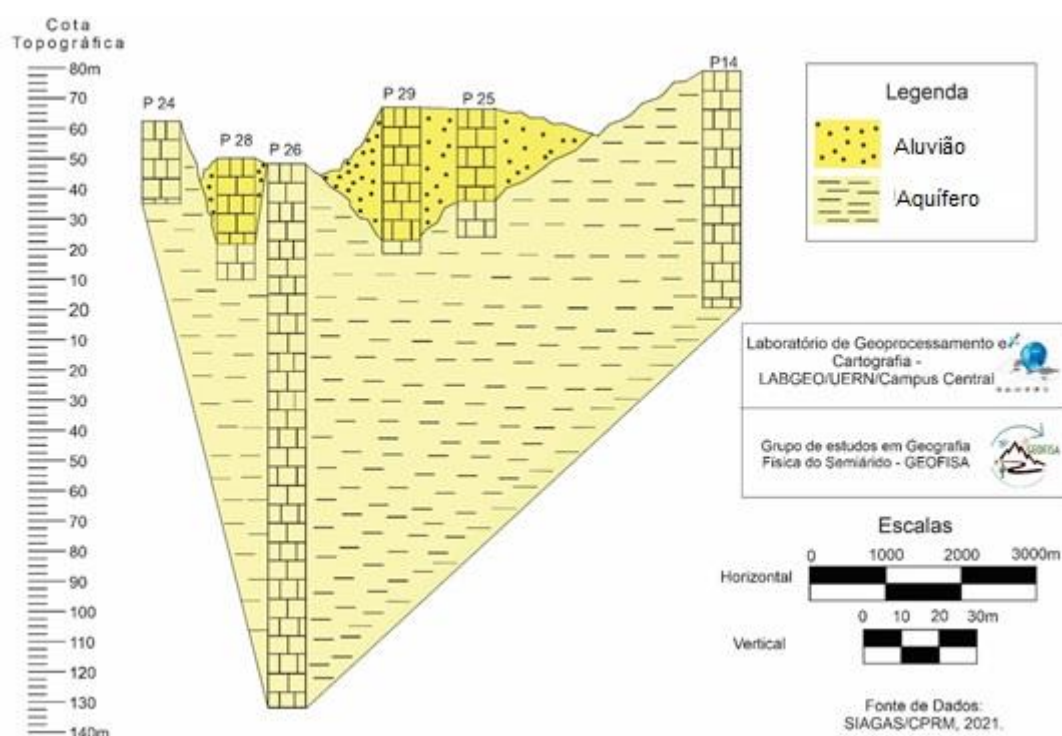


Fonte: Autores (2022).

O aquífero Jandaíra e o cristalino foram considerados com vulnerabilidade média, e apenas um depósito testemunho da Formação Açú próximo a sul da área foi considerado como vulnerabilidade baixa, por apresentar material majoritariamente argiloso. Além disso, a aluvião também é considerada de alta vulnerabilidade, pois em geral o nível freático se encontra abaixo de 10 m.

Na área urbana do município, o sistema hidrogeológico é composto por aluvião, margeando a lagoa do Apodi, e sobreposto ao aquífero Açú, formando por vezes um sistema Aluvião-Açú, no qual, alguns poços captam águas de ambos os aquíferos, como é o caso dos poços 28, 29 e 25 (Figura 9). Na área de estudo a aluvião possui espessura entre 20 e 50 metros. De um modo geral essa consiste, segundo Diniz Filho et al., (2014) em depósitos de canal e os depósitos de planície de inundação, que formam aluviões mais recentes, estando ligados ao canal ativo do rio, enquanto aluviões antigos, também chamados depósitos cenozoicos de paleocascalheiras, correspondem aos depósitos que formam patamares mais elevados que a planície fluvial ativa do rio, formando assim os terraços fluviais. Mistretta (1984) também apontam para a heterogeneidade granulométrica desses depósitos, que apresentam litologia bastante variável, com sedimentos clásticos ocasionalmente grosseiros com matriz argilosa, por vezes ricas em matéria orgânica.

Figura 9: Perfil hidrogeológico



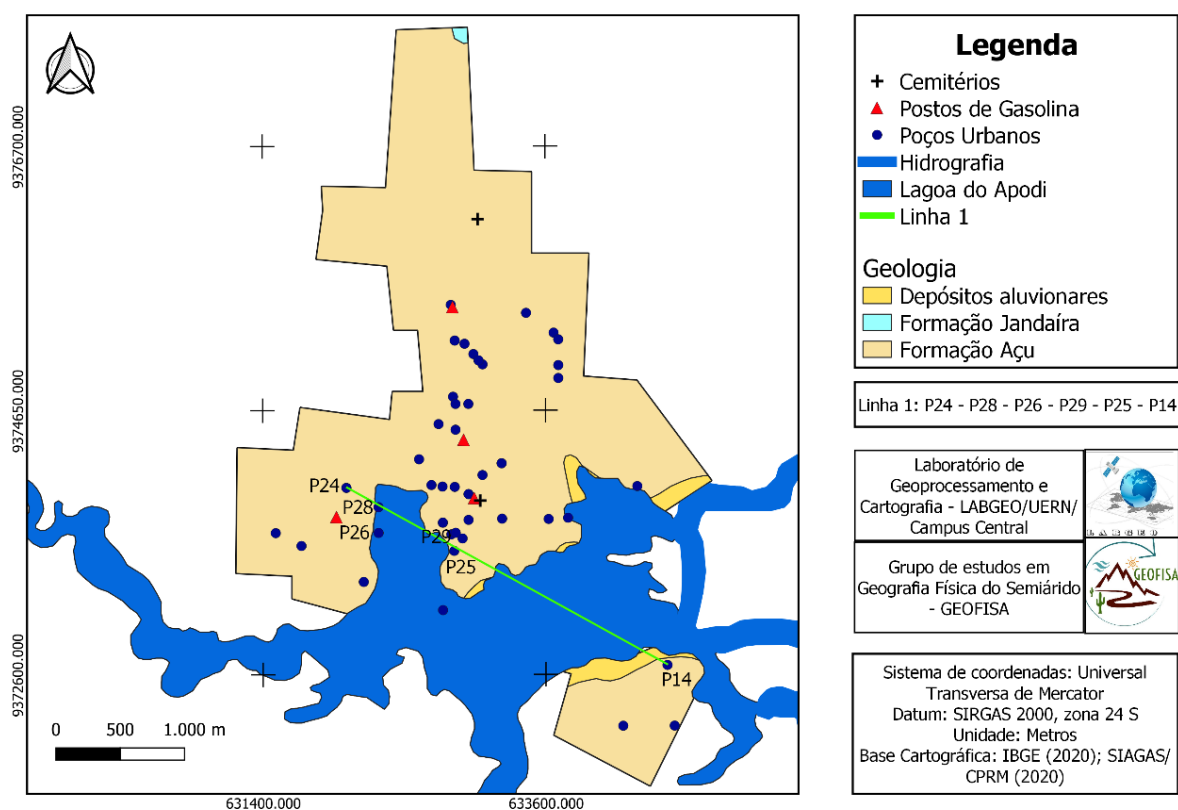
Fonte: Autores (2022)

Estudos realizados especificamente nas áreas de recarga mostram que nessas áreas o comportamento do aquífero Açú é característico de aquífero livre a semiconfinado mais localizados, segundo Carvalho Junior e Melo (2000). Contudo, de um modo geral o aquífero Açú é essencial para o abastecimento urbano. Isso é facilmente comprovado por meio dos parâmetros hidrogeológicos como condutividade hidráulica de (K) que varia entre 10<sup>-4</sup> e 10<sup>-7</sup> m/s, com média de 10<sup>-5</sup> m/s (GURGEL e MELO, 2002), e vazão específica que varia entre 0,44 até 1,11 l/s/m (LIMA et al., 2006).

O aquífero Açú, se encontra aflorante na maior parte da área urbana. Com base nos perfis construtivos, não é possível apontar a profundidade deste na área, pois não há registros do embasamento cristalino nos poços que foram trabalhados. Entretanto, as propriedades hidrodinâmicas permitem mensurar a vulnerabilidade, aliado a grande quantidade de fontes multipontuais de poluição, representada pelas fossas rudimentares e fossas sépticas, as quais recebem todo efluente gerado pelos habitantes da cidade de Apodi. Ao passo que a cidade se espalha sobre o aquífero, sem normas ou medidas de controle do uso do solo cresce, portanto, o risco de contaminação, que, no entanto, precisa ser investigado mais a fundo, sobretudo com o monitoramento da qualidade da água.

Além das fontes multipontuais, os postos de gasolina e os cemitérios também atuam como fontes potenciais de contaminação, porém com efluentes de naturezas diferente das fossas sépticas ou rudimentares (Figura 10).

Figura 10: Localização dos poços na área urbana de Apodi e fontes potenciais de contaminação

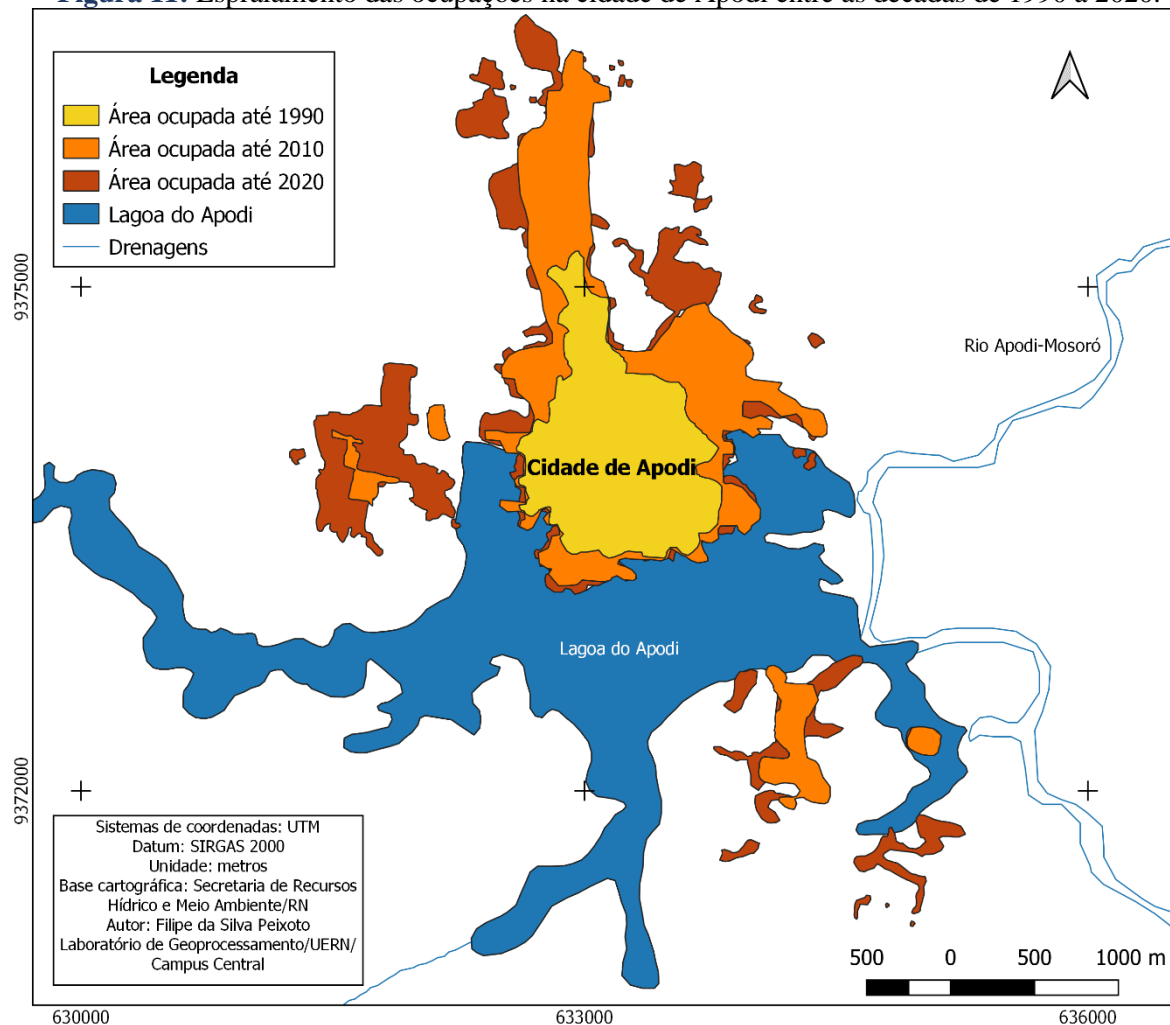


Fonte: Autores, 2021.

A expansão da área urbana, preocupa sobretudo no volume de efluente que está sendo incorporado diretamente no sistema aquífero Aluvião-Açu. Entre os anos de 1990 e 2020 houve um crescimento horizontal da cidade, o maior crescimento tem ocorrido nos últimos 10 anos (Figura 11). A expressão espacial desse fenômeno tem promovido uma expansão da estrutura física da cidade, sobretudo o incremento de novas áreas residenciais, algumas delas, fomentadas por políticas públicas de habitação. Sobre isso, Benevides e Oliveira (2021) colocam que o Programa Minha Casa Minha Vida. Começou a atuar em 2009, estimulou a produção e aquisição de novas unidades habitacionais para a população de renda baixa e média.



**Figura 11:** Espreadimento das ocupações na cidade de Apodi entre as décadas de 1990 a 2020.



Fonte: Autores, 2021.

A área urbana do município cresceu substancialmente também em ocupação. A estimativa de crescimento da ocupação urbana foi de 126 % entre 1990 e 2010, e de 62% entre 2010 e 2020. Estima-se, portanto, que o aumento do volume e dispersão de efluentes domésticos, além de postos de gasolina, cemitérios e outros tipos de fontes potenciais de contaminação, podem estar comprometendo a qualidade da água para o abastecimento da população. De acordo com a NBR 13.969/1997, a quantidade de fossas sépticas deve respeitar o limite de 1000 unidades de fossas sépticas/km<sup>2</sup>. Além disso, fossas rudimentares têm comprometido a qualidade da água em aquíferos livres, sendo o nitrato e patógenos microbiológicos os principais contaminantes associados a essas fontes (PEIXOTO e CAVALCANTE, 2021). Todo esse quadro está associado a uma ocupação e uso do solo sem planejamento, sem ao menos implantar um sistema de coleta de esgoto. Além disso outros problemas associados aos anseios imobiliários em detrimento da efetivação das políticas de proteção ambiental, principalmente quanto às áreas de preservação no entorno da Lagoa do Apodi, preconizada pelo Código florestal Lei nº 12.651 de 2012. Ademais, a cidade não deu efetividade ao Plano Diretor Municipal – PDM, instituído em 2006, pela lei Nº 479/2006. O PDM, que é um instrumento básico da política de desenvolvimento urbano, define em seu Art. 5º que

O Plano Diretor Municipal de Apodi é regido pelos seguintes princípios:

I - Configuração de diretrizes de ordenamento territorial baseada em opções exequíveis e passíveis de aplicação no horizonte temporal de sua abrangência, em médios e longos prazos.

II - Expansão do tecido urbano e o adensamento das ocupações no território municipal de modo progressivo ao longo do tempo, tendo por referência e limitação:

- a) As características ambientais.
- b) O provimento das infraestruturas urbanas.
- c) A oferta de equipamentos e serviços urbanos.

Dentre estes, outros elementos que prezam pela conservação, e equilíbrio ambiental no PDM, a esgotamento sanitário foi colocado como um instrumento essencial para promoção do desenvolvimento urbano de modo sustentável, contudo, atualmente não há serviço de coleta de esgoto e por consequência também não há serviço de tratamento do efluente doméstico produzido.

### **Considerações finais**

A captação e uso das águas subterrâneas, bem como a análise dos riscos potenciais associados ao uso e cobertura do solo urbano foram caracterizados de modo produzir uma série de informações importante para a conservação dos recursos hídricos locais, e porque não, regionais, já que a cidade de Apodi se encontra em um contexto ambiental de alta vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas, além de ser a área de afloramento do aquífero mais importante para o abastecimento da população do Oeste Potiguar.

A captação da água subterrânea foi caracterizada a partir de um cadastro de poços composto por meio da sistematização de dados do SIAGAS. Constam 48 poços na área urbana, dentre os quais 32 são tubulares, contudo, 14 não possuíam informação técnica dessa natureza e 1 poço de observação. A maioria desses poços se encontra em uma profundidade entre 50 a 100 m. Quanto ao uso da água, apesar de 40% dos poços não possuírem informação sobre o uso, foi possível constatar que 19% são destinados ao abastecimento doméstico individual e 13% destinados ao abastecimento urbano no sistema convencional. A Qualidade da água possui pouca restrição de usos, quanto à salinidade, pois a maioria das águas possui valores de CE até 500 ms/m, enquanto somente 3 poços excedem 1.500 ms/m.

O risco de contaminação das águas subterrâneas se articula com informações sobre a vulnerabilidade aquífera intrínseca, que estabelece as áreas de afloramento do aquífero Açu, juntamente com as aluviões como as mais vulneráveis, dada suas características hidrodinâmicas que favorecem a infiltração e permeabilidade de efluentes para o nível freático. Assim, algumas fontes potenciais de poluição puderam ser diagnosticadas, e todas elas estão associadas às atividades no sítio urbano: 4 postos de gasolina, 2 cemitérios e inúmeras fossas sépticas e rudimentares que recebem o efluente doméstico. Os postos de gasolina, cemitérios e fossas sépticas são dispositivos que precisam ser bem controlados, realizadas as devidas manutenções, e intervenções caso estes estejam efetivamente contaminando a água subterrânea. Quanto a fossas rudimentares, estas são frequentemente o dispositivo mais utilizado, principalmente pela facilidade da construção, contudo diferentemente das fossas sépticas elas não possuem nenhum tipo de mecanismo de atenuação do contaminante, sendo a principal fonte potencial de contaminação.

Associado ao aumento dessas fontes, a expansão urbana nos últimos 30 anos, tem aumentado o risco e pressão sobre as águas subterrâneas. As diretrizes estabelecidas pelo plano diretor municipal, claramente não estão sendo aplicadas, haja visto a falta de serviços de esgotamento sanitário e expansão da cidade sobre as margens da lagoa do Apodi, ocupando, conseqüentemente, também áreas de recarga do sistema aluvião-açu.

Esse trabalho foi elaborado com umas bases de dados secundárias e configura-se como resultado preliminar. Contudo, foi possível levantar e discutir uma série de informações relevante para gestão das águas subterrâneas locais. Recomenda-se, no entanto, que seja realizado realize um cadastro de poços atualizado as informações aqui levantadas, além de estudos sobre a relação do uso e cobertura do solo e contaminação das águas subterrâneas, bem como o monitoramento da qualidade da água.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da Bolsa via Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq, ao aluno Lucas Matheus Garcia Torres.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. **NBR 13.969**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

AUBRE, F. **Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité des eaux**. Paris: département de l'eau, 1992.

BARRET, M. H.; HISCOCK, K. M.; DEPLEY, S.; LERNER, D. N.; TELLAN, J. H.; FRENCH, M. J. Maker Spicies for Identifying Urban Groundwater Recharge Sources: a review and case study in Nottingham, UK. **Water Resource**, [s.l.], v.33, n.14, p.3083-3097, ago. 1999.

BENEVIDES, H. J.; OLIVEIRA, J. P. O Espaço urbano e o Programa Minha Casa Minha Vida. **Pensar Geografia**, Mossoró, v.4, n.2, p.110-118, fev. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Código Florestal, **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 28 de nov. de 2015.

CARVALHO JUNIOR, E. R.; MELO, J. G. Comportamento hidrogeológico do aquífero Açú na região de Apodi-RN. **Anais...** I Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza: ABAS, 2000. p.1-23.

CIVITA, M. La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: assessment of aquifer vulnerability to contamination. **Anais...** 1 st Conv. Naz. Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Technologie e Obiettivi, Marano sul Parano des Sciences et Génie, 1990.

DINIZ FILHO, J.; STEIN, P.; MELO JÚNIOR, G.; SRIVASTAVA, N. K. Aspectos hidrogeológicos de um setor rural nos municípios de Assú e Carnaubais/RN. **Águas Subterrâneas**, v.28, n.2, p.53-67, 2014.

GURGEL, C. A. P.; MELO, J. G. Caracterização hidrogeológica do aquífero Açú na região norte de Caraúbas – RN. **Anais**. IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, Recife: ABAS, p.249-260, 2002.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S.; VILLAR, P.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento** - [São Paulo]: Instituto Trata Brasil, 2019, 35 p.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE – IDEMA. **Perfil do seu município: Apodi**. v.10 p.1-23, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000016659.PDF>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

KEMKER, C. Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids. **Fundamentals of Environmental Measurements**. Fondriest Environmental, Inc. 3 março, 2014. Disponível em: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds>. Acesso em: 25 ago. 2021.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA, E. A. et al., Mapeamento hidrogeológico das folhas sb.24-x-b/-x-d-Areia Branca/Mossoró. **Anais**, XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba: ABAS, 2006. p.1-13.

MELO, J. G. et al. Fatores condicionantes na recarga do aquífero Açú na borda sudoeste da bacia Potiguar (RN). **Águas Subterrâneas**, v.19, n.2, p.105-122, 2005.

MISTRETTA, G. **Monografia do aquífero Jandaíra da bacia Potiguar**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1984. v.1, 252 p.

PEIXOTO, F. S. CAVALCANTE, I. N. Sewage static system influence on the concentrations of nitrogen compounds in unconfined aquifers. Technical Article, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, n.26, v.2, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190342>.

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE, I. N. Vulnerabilidade aquífera e risco de contaminação da água subterrânea em meio urbano. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v.19, n.2, p.29-40, 2019. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-142384. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gusp/article/view/142384>. Acesso em: 24 ago. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE APODI. **Lei nº 479/2006**, institui o Plano Diretor Municipal de Apodi, nos termos do artigo 182, § 1º da Constituição Federal, do capítulo III da Lei nº 10.257/2001, de 10 de julho de 2001-Estatuto da Cidade, e, do artigo 6º, inciso VII, da Lei Orgânica de Apodi e estabelece os instrumentos básicos para a Gestão da Política Urbana do município. Disponível em:

<http://rn.portaldatransparencia.com.br/prefeitura/apodi/iframe.cfm?pagina=abreDocumento&arquivo=33E205518949>. Acesso em: 24 de agosto de 2021.

REBOUÇAS, A. C. (Org.) et al. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras, 2003.

VRBA, J. E. ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. Alli, 1994.

VRBA, J. The impact of aquifer intensive use on groundwater quality. In: LLAMAS, R. CUSTÓDIO, E. **Intensive use of groundwater: challenger and opportunities**. Lisse, The Netherlands: Swets & Zeitlinger B.V. 2003, p.113-132.

Submissão: 02/2022

Aceite: 02/2022