ANDRÉ VIANA

MONITORAMENTO DO AQUÍFERO DUNAS/BARREIRAS EM NATAL–RN

Trabalho de Conclusão do Curso (Artigo Científico) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares

NATAL

2019

ANDRÉ VIANA

MONITORAMENTO DO AQUÍFERO DUNAS/BARREIRAS EM NATAL-RN

Trabalho de Conclusão do Curso (Artigo Científico) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 29 /08 /2015, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Jean Leite Tavares, Dr. - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Mario Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto, Dr. - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Jeronimo Pereira dos Santos, Dr. - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

MONITORAMENTO DO AQUÍFERO DUNAS/BARREIRAS EM NATAL–RN

DUNAS/BARREIRAS AQUIFER MONITORING IN NATAL–RN

André Viana*
Jean Leite Tavares**

RESUMO: O monitoramento é uma ferramenta utilizada para acompanhar o comportamento hidrodinâmico e/ou hidroquímico do aquífero. No monitoramento hidrodinâmico, o Nível Estático é um parâmetro hidráulico fundamental ao entendimento do comportamento da superfície freática. Esta superfície é influenciada pela explotação dos recursos hídricos subterrâneos, condições climáticas de recargas naturais, condições de recarga urbana como perda de água e esgoto pelo sistema de saneamento e impermeabilização do solo pelo uso e ocupação desse. Portanto, esta pesquisa foi realizada com o intuito de analisar o comportamento hidrodinâmico do aquífero Dunas/Barreiras na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, durante o período de 2000 a 2010. Para tal fim, foi analisada a variação do Nível Estático mensal de oito poços tubulares, em relação com a precipitação pluviométrica no período correspondente. Além disso, foi utilizado o método *Groundwater hydraulic confinement; Overlaying strata; Depth to groundwater table* (GOD) para determinar o índice de vulnerabilidade dos poços monitorados. Constatou-se uma relação proporcional entre o nível de precipitação acumulada com o Nível Estático no poço e, consequentemente, demonstrando que o aquífero Dunas/Barreiras é fortemente influenciado por condições de recarga natural, como fatores climáticos de precipitação. Ademais, observou-se que, de modo geral, o nível da superfície freática se elevou durante o período de monitoramento e apresentou índices de baixa a média vulnerabilidade dos poços monitorados.
Palavras-chave: Método GOD. Aquífero Dunas/Barreiras. Comportamento hidrodinâmico.

ABSTRACT: Monitoring is a tool used to monitor the hydrodynamic and / or hydrochemical behaviour of the aquifer. Hydrodynamic monitoring, this Static Level is a fundamental hydrodynamic parameter for understanding phreatic surface behaviour. This surface is influenced by the exploitation of groundwater resources, natural recharge conditions such as climatic conditions, urban recharge conditions such as water and sewage loss by the sanitation system and soil sealing by its use and occupation. Therefore, this research was carried out in order to analyse the hydrodynamic behaviour of the Dunas / Barreiras aquifer in the city of Natal, Rio Grande do Norte, from 2000 to 2010. Thus, the variation of the monthly Static Level of eight tubular wells in relation to rainfall in the corresponding period was analysed. In addition, the Groundwater hydraulic confinement; Overlaying strata; Depth to groundwater table (GOD) method was used to determine the vulnerability index of the monitored wells. It was found a proportional relationship between the level of accumulated rainfall and the Static Level in the well and consequently demonstrating that the Dunas / Barreiras aquifer is strongly influenced by natural recharge conditions such as precipitation and climatic factors. In addition,

* Aluno do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.
** Professor Dr. do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

it was observed that in general the groundwater level increased during the monitoring period and presented low to medium vulnerability indexes in the monitored wells.
Keywords: GOD Method. Aquifer Dunas/Barreiras. Hydrodynamic behaviour.

1 INTRODUÇÃO

O consumo dos recursos hídricos vem aumentando significativamente no mundo, isso se deve ao crescimento populacional, agrícola e industrial, experimentados a partir da segunda metade do século XX (FREEZE; CHERRY, 1979). Dados que evidenciam o referido aumento, demostram que o consumo total de água no mundo passou de aproximadamente $2x10^3$ km^3/ano em 1960 para $5,3x10^3$ km^3/ano em 2005 (TUNDISI, 2006).

Á água subterrânea é considerada uma importante fonte de recursos hídricos, pois, constituem o maior volume de água doce que ocorre na Terra na forma líquida, da ordem de 10,3 milhões de km^3, enquanto os rios e lagos acumulam cerca de 104 mil km^3 (FEITOSA *et al*., 2008). Além disso, a água subterrânea possui menores custos para exploração e transporte, localizada próxima a grandes centros urbanos, principalmente os situados sobre as bacias sedimentares.

Diante do aumento do consumo dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente nos centros urbanos, é necessário instituir medidas de proteção legais. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), entrou em vigor através da Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) com o objetivo de assegurar a sociedade água em qualidade e quantidade adequados, utilizando os recursos hídricos de forma racional e integrada, visando o seu uso sustentável.

A proteção dos aquíferos subterrâneos surge como uma necessidade urgente, e se apresenta como um dos principais focos de investimentos dos poderes públicos, no que se refere às políticas ambientais e de gestão hídrica (RIBEIRO *et al*., 2009). O objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), proposto pelas Nações Unidas na Agenda de Sustentabilidade 2030, visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos, de modo universal, além de melhorar a qualidade da água e reduzir a poluição (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2016).

O monitoramento representa uma ferramenta essencial para a compreensão da dinâmica dos sistemas aquíferos, podendo ser qualitativo e/ou quantitativo. Bem como, fornece informações fundamentais para o planejamento e uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

A análise quantitativa do aquífero é fundamental para gerenciar os recursos e reservas hídricas, principalmente aos efeitos ocasionados pela explotação de água subterrânea por um longo período de tempo. Todavia, o sistema aquífero também está sujeito à sazonalidade da precipitação e evapotranspiração, devido as alterações naturais do clima e atividades antrópicas como o uso e ocupação do solo. Este monitoramento quantitativo consiste na medição periódica do Nível Estático (NE) em poços tubulares, com o objetivo de obter a distribuição espacial das cargas hidráulicas e observar a dinâmica da superfície freática ao longo do aquífero.

Em zonas urbanas, há impermeabilização da superfície impede a infiltração e percolação da água meteórica, reduzindo a recarga natural do aquífero. Entretanto, em uma área urbanizada, a recarga tende a ser maior do que em uma área sem impermeabilização, devido às perdas pela rede de água e esgoto, irrigação de jardins, entre outros (FOSTER; SHILTON, 1999).

O município de Natal–RN, possui um sistema de abastecimento público de água misto, com águas subterrâneas do aquífero Dunas/Barreiras e águas superficiais das lagoas de Jiqui e Extremoz. Dentre os poços perfurados para o abastecimento da rede, alguns foram desativados

e, por um período de tempo foram utilizados como poços de monitoramento para medição do Nível Estático. Este artigo tem como objetivo principal analisar o monitoramento quantitativo do aquífero Dunas/Barreiras, utilizando dados de medições de Nível Estático em poços de monitoramento. Essas medições foram realizadas pela equipe técnica da Gerência de Hidrogeologia e Perfurações (GHP) da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Os dados fornecidos apresentam as medições mensais no período de 2000 a 2010, na zona urbana de Natal, Rio Grande do Norte.

Para essa análise, serão elaborados gráficos relacionando a evolução do nível estático nos poços de monitoramento ao longo do tempo e compará-los com o regime pluviométrico no mesmo período. Ademais, serão analisadas as linhas de tendência do Nível Estático durante o período de monitoramento dos poços. Os poços também serão correlacionados estatisticamente, utilizando o Coeficiente de Correlação de Pearson e, por fim, será avaliada a vulnerabilidade do aquífero à agentes contaminantes no local do poço de monitoramento, aplicando o método GOD (FOSTER; HIDRATA, 1988).

Como produto final (Apêndice A), o resultado da vulnerabilidade do aquífero à agentes contaminantes será apresentado na forma de Mapa de Vulnerabilidade (Apêndice B). Este mapa poderá ser utilizado pela companhia de abastecimento e órgãos governamentais de gestão, de modo a auxiliar na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, quanto a exploração e manutenção de áreas de preservação nas áreas vulneráveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção irá discutir a localização, geologia e os poços na área de estudo.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo será realizado na cidade de Natal–RN (Mapa 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada da cidade, no ano de 2010, era de 803.739 habitantes. O abastecimento da população é realizado pela CAERN, a qual fornece água para o sistema público de abastecimento, por meio de fontes mistas de recursos hídricos. Tais fontes são: águas superficiais – Lagoa do Jiqui e Lagoa de Extremoz – e águas subterrâneas, com poços perfurados e explotados desde os anos 70, distribuídos em várias captações ao longo da zona urbana.

Mapa 1 – Mapa de localização dos poços monitorados

Fonte: Elaboração própria em 2019.

A análise do monitoramento do aquífero será realizada com base nos dados de Nível Estático dos poços da CAERN que estão desativados, esses poços foram utilizados para monitoramento do aquífero.

O quadro 1 apresenta as coordenadas geográficas com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) dos poços de monitoramento utilizados no estudo.

Quadro 1 – Coordenadas dos poços pertencentes à Rede de Monitoramento

Poço Tubular	**Coordenadas UTM 25 M**	
	X	Y
PT 02 Lagoa Nova II	255752	9354763
PT 01 - R4	253780	9357592
PT 01 Quintas	252235	9357733
PT 14 Parque dos Coqueiros	247364	9362265
PT 25 Lagoa Azul	249580	9367184
PT 26 lagoa Azul	248963	9367626
PT 17 Novo Campo	256027	9352386
PT 02 Cidade da Esperança	252022	9355343

Fonte: Elaboração própria em 2019.

Para uma melhor representatividade do aquífero, tais poços devem possuir uma distribuição espacial abrangente, infelizmente, no caso da zona norte, não é observado uma boa distribuição espacial desses poços.

Segundo a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo As, caracterizado como tropical chuvoso, do tipo quente e úmido, com verão seco e inverno bastante intenso. De acordo com Barros *et al*. (2013), a média de temperatura diária de 24,4ºC, com amplitude térmica média de 8,4ºC, e oscilação média diária entre 21,8ºC e 30,2ºC; a umidade relativa do ar é homogênea e estável, com média anual de 79,3%. O município apresenta uma precipitação média anual de 1656,3 mm (MANIÇOBA *et al.* 2017).

2.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a Folha Natal SB.25-V-C-V da Carta Geológica do Brasil[1](FONSECA, 2012), no município de Natal–RN, foram identificadas as seguintes litologias (Mapa 2):

a) **Recifes arenosos:** arenitos com cimentação carbonática com bioclastos, com linhas de recifes paralelamente à costa atual.
b) **Depósitos litorâneos praiais:** areias quartzosas, ricas em bioclastos e, localmente, minerais pesados.
c) **Depósitos eólicos litorâneos não-vegetados:** areias quartzosas, com formas de dunas diversas (frontais,barcanoides, parabólicas), podendo transicionar a dunas vegetadas.
d) **Depósitos eólicos litorâneos vegetados:** areias quartzosas, com películas de óxidos de ferro e matéria orgânica em decomposição, com formas de dunas residuais ou lençóis arenosos.
e) **Depósitos aluvionares de canal:** areias quartzosas, ocasionalmente conglomeráticas.
f) **Depósitos flúvio-marinhos:** areias finas, siltes e argilas finamente laminadas ricas em carbonatos e matéria orgânica.
g) **Depósitos marinhos e continentais:** arenitos dispostos discordantemente sobre o Grupo Barreiras ou depósitos aluvionares antigos.
h) **Depósitos arenosos e areno-argilosos:** coberturas arenosas a areno-argilosas inconsolidadas. Localmente podem apresentar fragmentos de quartzo e/ou seixos de arenito remobilizados.
i) **Depósitos aluvionares antigos:** arenitos conglomeráticos e conglomerados com seixos de quartzo e fragmentos de diversas rochas, incluíndo arenitos ferruginosos do Grupo Barreiras.

[1] Serviço Geológico do Brasil (CPRM)

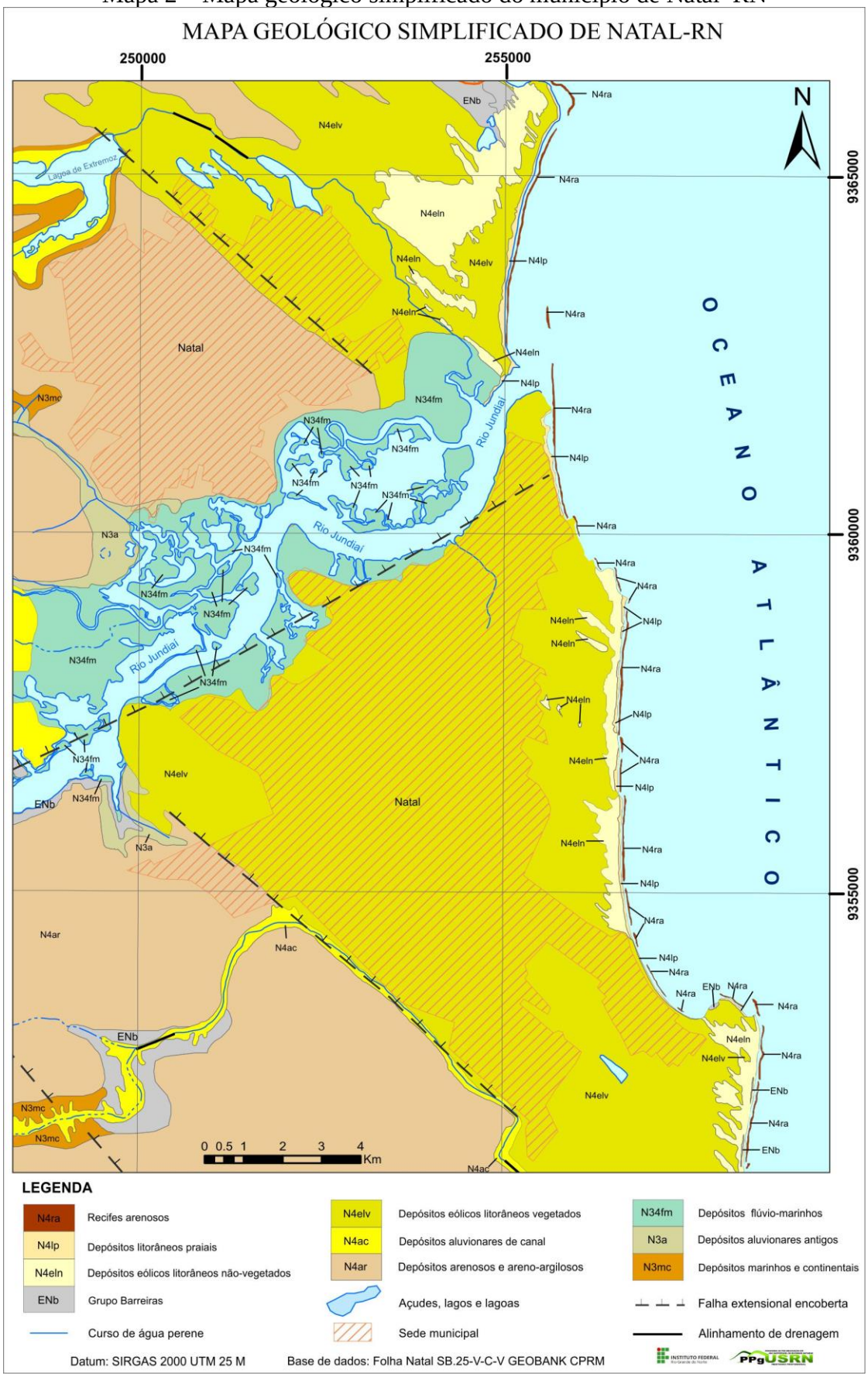
j) O **Grupo Barreiras** de idade Paleogeno/Neogeno apresenta conglomerados a arenitos conglomeráticos e subordinadamente arenitos e argilitos.

2.3 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Quanto a hidrogeologia, de acordo com Melo (1990), ficou caracterizada a existência de dois aquíferos:

a) Aquífero Dunas, livre, de idade Quaternária. composto por sedimentos inconsolidados de areias quartzosas, abrangendo a maior parte da superfície de Natal–RN.
b) Aquífero Barreiras, semi confinado, de idade Terciária, está sotoposto a cobertura dunar, aflorando apenas nas bordas e margens de rios. Os sedimentos do aquífero Barreiras podem ser divididos em duas unidades faciológicas: a unidade inferior constituída por arenitos de granulação fina a grossa, e uma unidade superior por arenitos finos intercalados com argilitos e siltitos.
c) Os aquíferos Dunas e Barreiras podem ser considerados como um sistema único, pois apresentam uma conexão hidráulica por drenança vertical descendente.

Mapa 2 – Mapa geológico simplificado do município de Natal–RN



Fonte: Adaptado de Fonseca (2012).

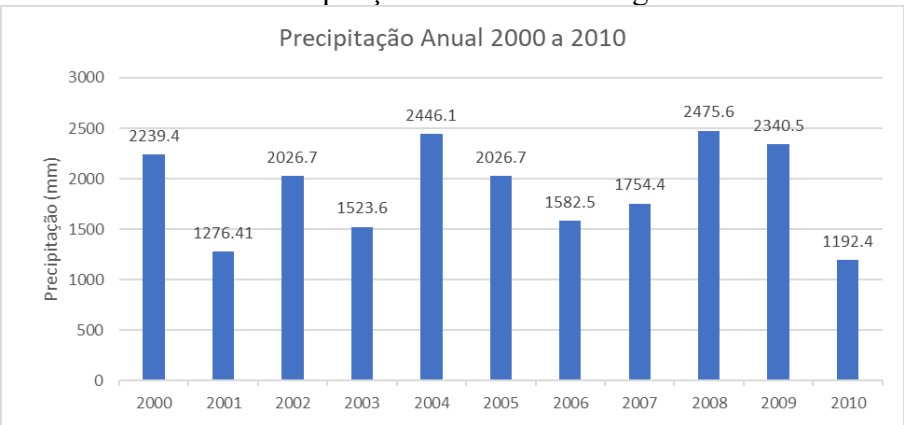
2.4 DADOS UTILIZADOS

Esta seção irá discorrer sobre os dados utilizados no estudo.

2.4.1 **Dados de Precipitação**

Os dados de precipitação utilizados no estudo correspondem ao volume apurado na estação Pluviométrica de Natal, localizada na Universidade Federal do Rio grande do Norte (UFRN). A estação supracitada é monitorada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). A EMPARN monitora estações pluviométricas em todo o Estado do Rio Grande do Norte e publica o Boletim Diário das precipitações em seu endereço eletrônico. Para o estudo em tela, serão analisadas as precipitações acumuladas mensalmente do período de 2000 a 2010. O gráfico 1 apresenta a precipitação anual acumulada para esse período.

Gráfico 1 – Precipitação acumulada na região de Natal



Fonte: Elaboração própria em 2019.

O quadro 2 apresenta a precipitação anual na estação pluviométrica de Natal – UFRN e a classificação do ano de acordo com a EMPARN. Esta classificação considera ano muito seco entre 0 e 1185,77 mm; ano seco entre 1185,77 mm a 1581,7 mm; ano normal entre 1581,7 mm a 2015,2 mm; ano chuvoso entre 2015,2 mm a 2263,51 mm; e muito chuvoso a partir de 2263,51 mm.

Quadro 2 – Precipitação pluviométrica anual acumulada

Ano	**Precipitação anual**	**Classificação**
2000	2239.4	Chuvoso
2001	1276.5	Seco
2002	2026.7	Chuvoso
2003	1523.6	Seco
2004	2446.1	Muito chuvoso
2005	2026.7	Chuvoso
2006	1582.5	Normal
2007	1754.4	Normal
2008	2475.6	Muito chuvoso
2009	2340.5	Muito chuvoso
2010	1192.4	Seco

Fonte: EMPARN (2019).

2.4.2 **Dados de Nível Estático**

A Gerência de Hidrogeologia e Perfurações da CAERN realiza o monitoramento do Nível Estático em poços tubulares desativados e Piezômetros, localizados em Estações de Tratamento de Esgotos. Para esse estudo, foram selecionados os poços tubulares que possuem mais dados de nível estático registrados, sendo 8 desses com medições mensais no período de 2000 a 2010. E dentre eles, cinco estão localizados na zona sul e três estão na zona norte de Natal – RN. A média dos dados de Nível Estático, durante o período de monitoramento dos poços, serão aplicadas no método para determinação do índice de vulnerabilidade.

2.4.3 **Dados dos Perfis Litológicos dos poços de monitoramento**

Para a aplicação do método GOD, além do nível de água ou nível estático do poço, é necessário conhecer a litologia da zona saturada e insaturada do poço tubular, para determinação do confinamento do aquífero e sua natureza composicional. Essas informações encontram-se nos perfis litológicos dos poços anexadas ao artigo.

2.5 METODOLOGIA UTILIZADA

A análise do monitoramento quantitativo do aquífero Dunas/Barreiras no município de Natal–RN, será realizada nas seguintes etapas:

a) Elaboração das curvas de evolução dos Nível Estático (NE) dos poços monitorados, comparando-as com a precipitação pluviométrica mensal no período correspondente. Para comparação, além dos gráficos serão analisadas as tabelas referentes ao NE dos poços que estão anexadas ao artigo em conjunto com a classificação climática anual da EMPARN;
b) Análise das curvas de tendência gerada a partir do NE, para observar o comportamento do aquífero durante o período analisado;
c) Verificação do grau de correlação entre a flutuação do NE em diferentes poços, será utilizado o Coeficiente de correlação de Pearson (Quadro 3), proposta por Devore (2006).

Quadro 3 – Coeficiente de Correlação de Pearson.

r	Definição
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Devore (2006)

d) Aplicação do Método GOD (FOSTER; HIDRATA, 1988) para determinação do índice de vulnerabilidade dos poços monitorados. O método GOD é um dos mais utilizados na determinação da vulnerabilidade. Tal método atribui índices entre 0 e 1 para os seguintes parâmetros:

1. **Gi**: Índice de confinamento do aquífero;
2. **Oi**: Índice da litologia na zona insaturada;

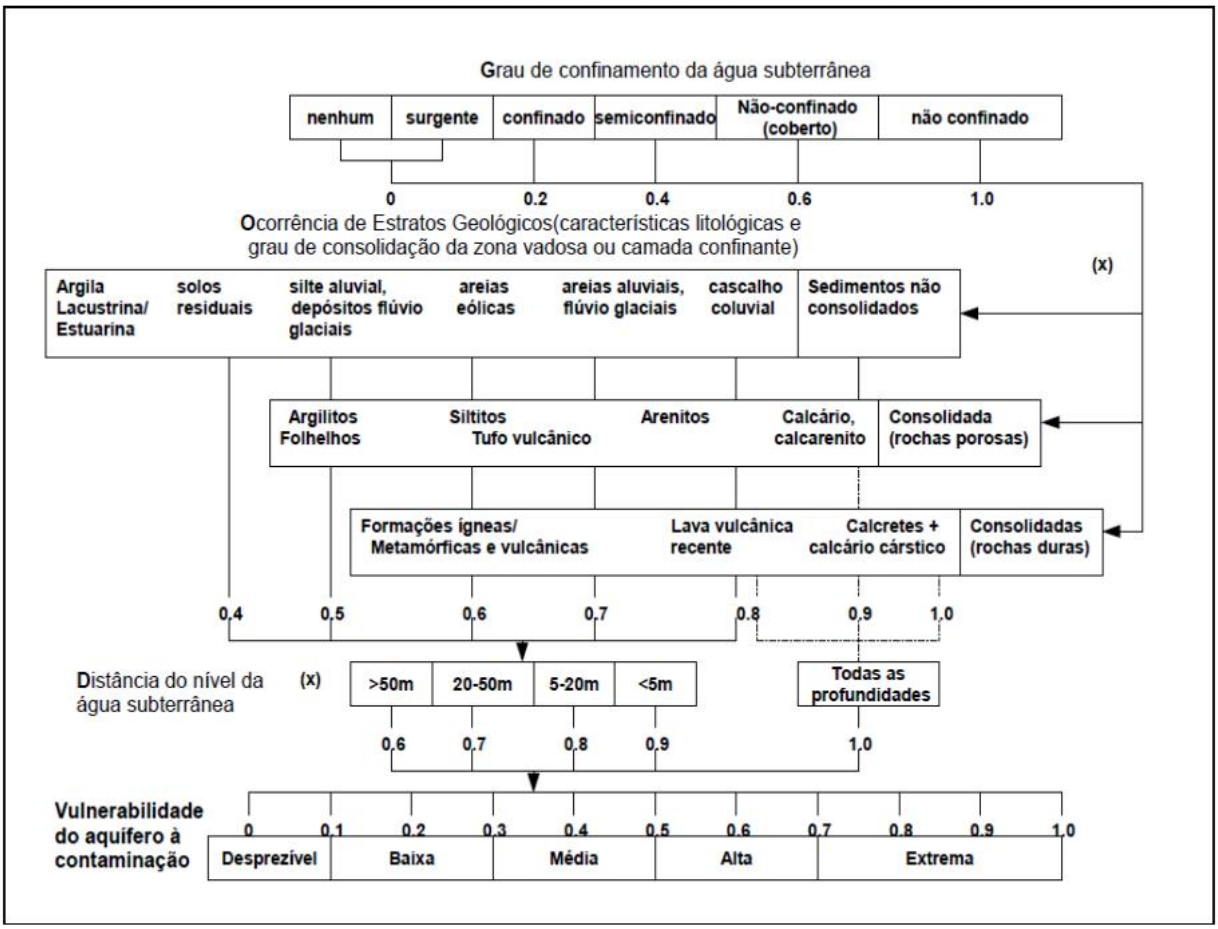
3. **Di**: Índice da profundidade do nível de água ou da base do confinamento do aquífero.

Após a determinação do índice de cada parâmetro, esses deverão ser multiplicados, conforme a equação 1, a seguir:

Equação 1 : **Índice de Vulnerabilidade GOD = Gi * Oi * Di**

A figura 1 apresenta a metodologia desenvolvida por Foster e Hidrata (1988) e o grau de vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Figura 1 – Método GOD de avaliação da vulnerabilidade à contaminação do aquífero



Fonte: Adaptado de Foster *et al*., 2002.

e) Representar em mapa a vulnerabilidade à contaminação dos poços de monitoramento utilizando técnicas de sistema de informações geográficas (SIG) através do software ArcGis 10.5.
f) Gerar conhecimento para subsidiar medidas de planejamento, gestão, controle e prevenção dos recursos hídricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção irá discorrer sobre os resultados e discussão.

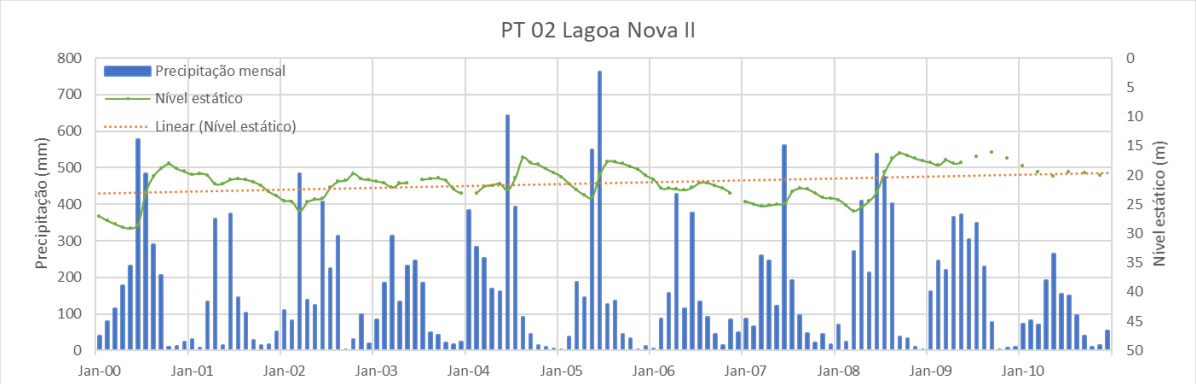
3.1 RELAÇÃO DOS NÍVEIS ESTÁTICO DOS POÇOS COM A PRECIPITAÇÃO

Esta seção irá discorrer sobre a relação dos níveis estático dos poços com a precipitação.

3.1.1 **Poço tubular 02 Lagoa Nova II**

O poço tubular (PT) 02 Lagoa Nova 02 está localizado na zona sul de Natal–RN. O poço apresentou variação anual dos NE bastante heterogênea. O ano 2000, considerado um ano chuvoso, apresentou a maior variação de NE, com o NE máximo em 29,19 e NE mínimo em 18,01 metros de profundidade, com variação total de 11,18 metros; já o ano de 2010, considerado um ano seco, apresentou a menor variação, com o NE máximo em 20,27 e NE mínimo em 18,44 metros de profundidade, com uma variação total de apenas de 1,83m. De acordo com a linha de tendência do NE, observa-se que o nível do aquífero subiu no decorrer do monitoramento entre 2000 e 2010 (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Relação dos NE do PT 02 Lagoa Nova II com a precipitação

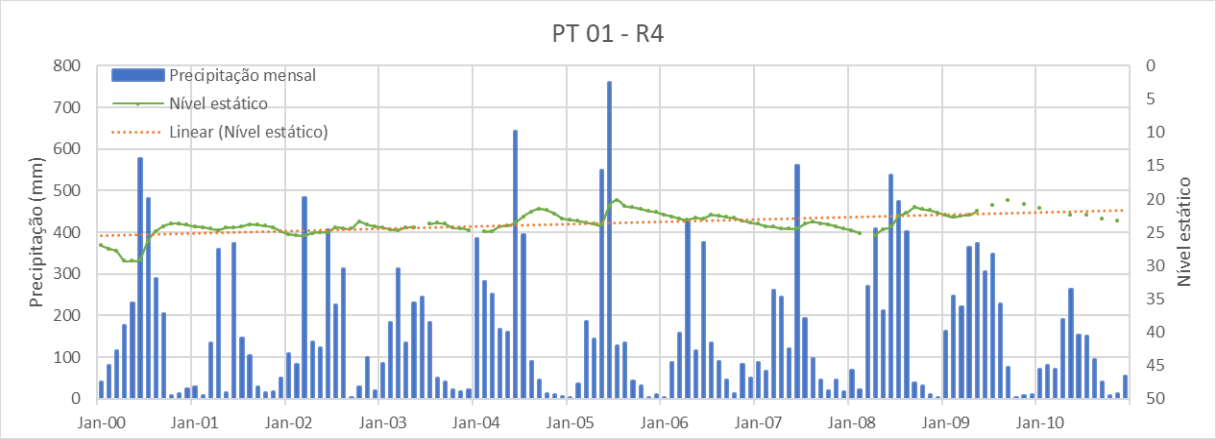


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.2 **PT 01 – R4**

O poço tubular PT 01 - R4 está localizado na zona oeste de Natal–RN. O poço apresentou a maior variação de NE no ano 2000, considerado um ano chuvoso, teve o seu NE máximo em 29,33 e o mínimo com 23,72 metros de profundidade, apresentando uma variação total de 5,61 metros. O ano de 2003, classificado como ano seco, apresentou a menor variação para o poço, com o NE máximo em 24,70 e NE mínimo com 23,66 metros de profundidade e uma variação total de 1,04 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, observa-se que o nível do aquífero subiu no decorrer do monitoramento entre 2000 e 2010 (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Relação dos NE do PT 01-R4 com a precipitação

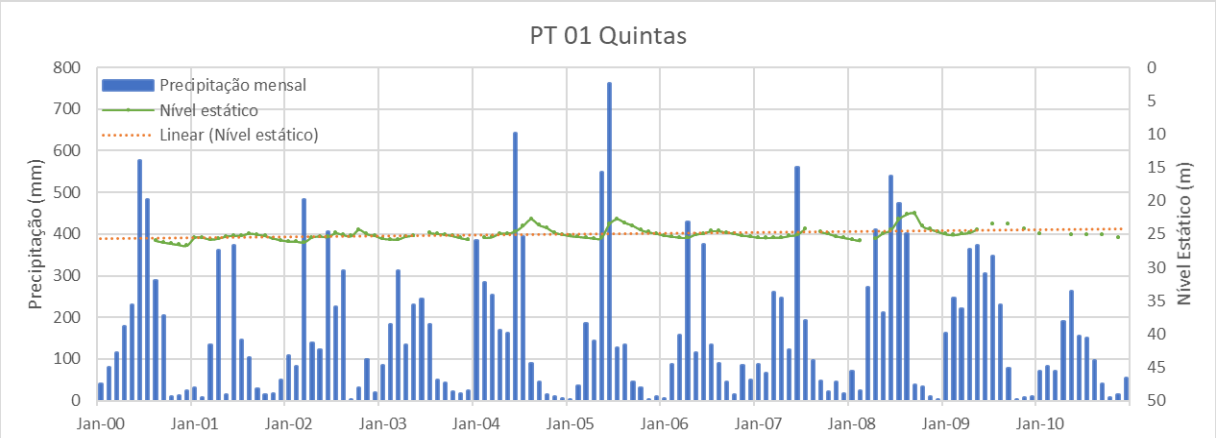


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.3 **PT 01 Quintas**

O poço tubular PT 01 Quintas está localizado na zona oeste do município de Natal–RN. O monitoramento nesse posso iniciou-se em agosto do ano 2000, e apresentou uma linha de evolução do NE muito homogênea ao longo do período de monitoramento. A maior variação dos NE ocorreu no ano de 2008, considerado um ano muito chuvoso. Nesse ano, o NE máximo foi 26,04 e o NE mínimo 21,91 metros de profundidade, apresentando uma variação total de 4,13 metros. Já o ano de 2010, considerado um ano seco em relação as precipitações, apresentou a menor variação de NE, com NE máximo de 25,48 e NE mínimo de 24,91 metros de profundidade, com uma variação total de 0,57 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, observa-se que o nível do aquífero manteve-se quase constante no decorrer do monitoramento de 2000 a 2010 (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Relação dos NE do PT 01 Quintas com a precipitação



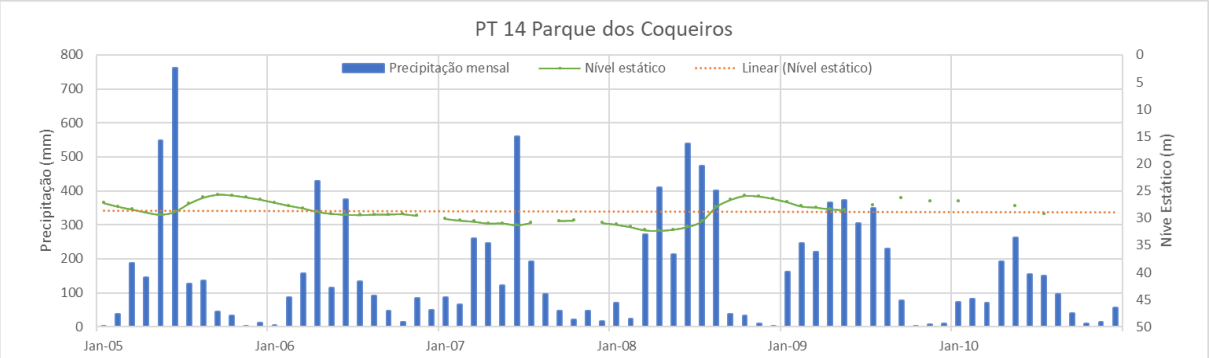
Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.4 **PT 14 Parque dos Coqueiros**

O poço tubular PT 14 Parque dos Coqueiros está localizado na zona norte do município de Natal–RN. Esse poço possui dados de monitoramento de janeiro de 2005 a julho de 2010. O ano de 2008 apresentou a maior variação de NE, considerado um ano muito chuvoso, registrou NE máximo de 32,31 e NE mínimo de 25,91 metros de profundidade, com uma variação total de 6,4 metros. Já o ano de 2007 apresentou a menor variação de NE, considerado um ano normal, apresentou NE máximo de 30,97 e NE mínimo de 30,12 metros de profundidade, com

uma variação de apenas 0,85 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, percebe-se que o nível do aquífero permaneceu constante no decorrer do monitoramento de 2005 a 2010 (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Relação dos NE do PT 14 Parque dos Coqueiros com a precipitação

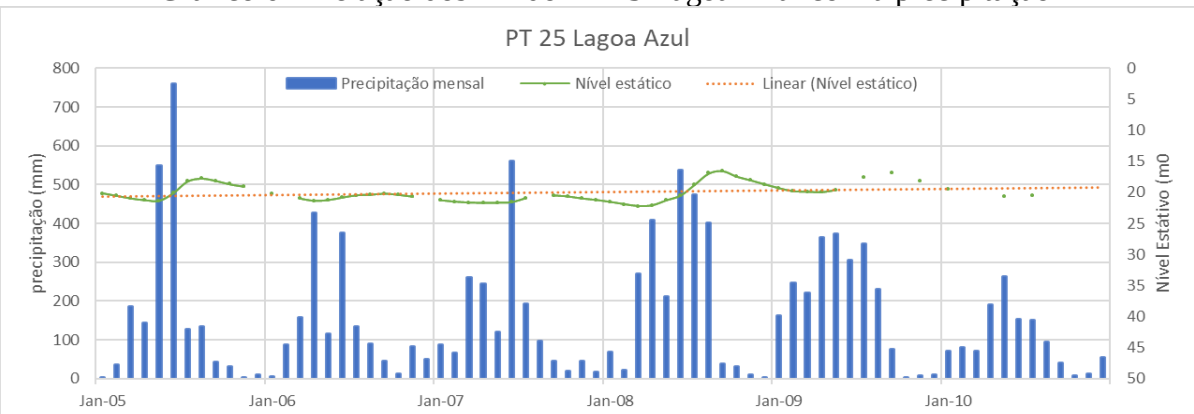


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.5 **PT 25 Lagoa Azul**

O poço tubular PT 25 Lagoa Azul, localiza-se na zona norte da cidade de Natal–RN. O poço possui dados de monitoramento no período de janeiro de 2005 a julho de 2010. O ano de 2008, considerando um ano muito chuvoso, apresentou a maior variação de NE, com NE máximo de 22,23 e NE mínimo de 16,53 metros de profundidade, apresentando uma variação total de 5,7 metros. Já os anos de 2006 e 2010 apresentaram a menor variação de NE, ambos com variação total de 1,18 metros. Este registrou NE máximo de 20,63 e NE mínimo de 19,45 metros de profundidade. Aquele apresentou NE máximo de 21,38 e NE mínimo de 20,2. O ano de 2006 foi classificado como normal, porém, muito próximo de ser classificado como um ano seco. O ano de 2010 foi classificado como seco. De acordo com a linha de tendência do NE, observa-se que o aquífero apresentou um ligeiro aumento em seu nível durante o decorrer do monitoramento entre 2005 e 2010 (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Relação dos NE do PT 25 Lagoa Azul com a precipitação



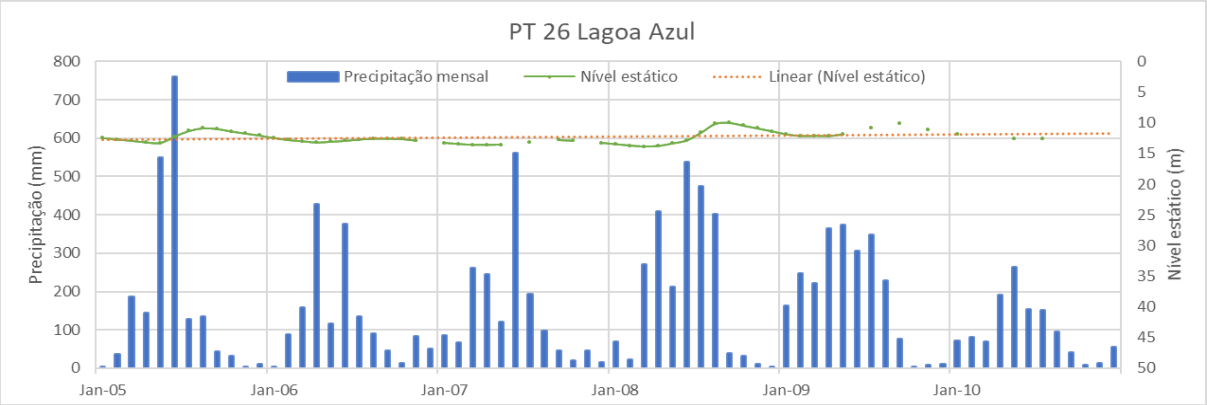
Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.6 **PT 26 Lagoa Azul**

O poço tubular PT 26 Lagoa Azul está localizado na zona norte da cidade de Natal–RN. O poço apresenta registros de monitoramento de janeiro de 2005 a agosto de 2010. O ano de 2008, considerado muito chuvoso, apresentou a maior variação de NE, com NE máximo de 13,88 e NE mínimo com 9,97 metros de profundidade, apresentando uma variação total de 3,91

metros. O ano de 2006, considerado normal, porém muito próximo de ser classificado como seco, apresentou a menor variação de NE, com NE máximo de 13,24 e NE mínimo de 12,49 metros de profundidade, apresentando uma variação total de 0,75 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, percebe-se o aquífero apresentou um ligeiro aumento em seu nível durante o monitoramento de 2005 a 2010 (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Relação dos NE do PT 26 Lagoa Azul com a precipitação

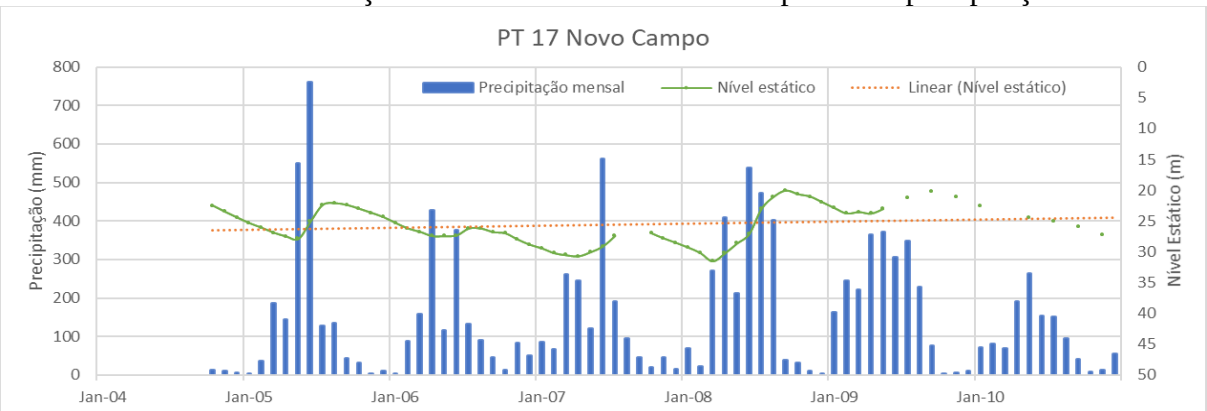


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.7 **PT 17 Novo Campo**

O poço tubular PT 17 Novo Campo está localizado na zona sul da cidade de Natal–RN. Esse poço apresenta registros de monitoramento de outubro de 2004 a novembro de 2010. O ano de 2008, considerado um ano muito chuvoso, apresentou a maior variação de NE, com NE máximo de 30,22 e NE mínimo de 20,07 metros de profundidade, com uma variação total de 10,15 metros. O ano de 2004 apresentou a menor variação, todavia, não pode ser considerado, pois apresentou resultados apenas para os meses de outubro, novembro e dezembro, não sendo representativo para o referido ano. Sendo assim, o ano de 2010 apresentou a menor variação de NE, classificado como um ano seco, apresentou NE máximo de 25,87 e NE mínimo de 22,58 metros de profundidade, com uma variação total de 3,29 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, percebe-se o aquífero apresentou um ligeiro aumento em seu nível durante o monitoramento no final de 2004 a 2010 (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Relação dos NE do PT 17 Novo Campo com a precipitação

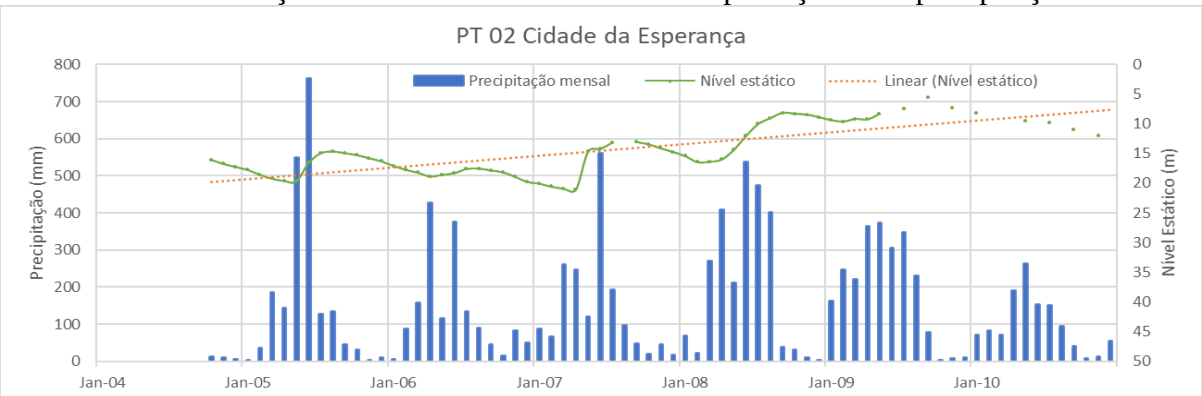


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.1.8 **PT 02 Cidade da Esperança**

O poço Tubular PT 02 Cidade da Esperança está localizado na zona oeste da cidade de Natal–RN. Esse poço apresenta registros de monitoramento de outubro de 2004 a novembro de 2010. O ano de 2008 apresentou a maior variação de NE, considerado um ano muito chuvoso, registrou NE máximo de 16,48 e NE mínimo de 8,18 metros de profundidade, com uma riação total de 8,3 metros. O ano de 2006 apresentou a menor variação de NE, considerado um ano normal, porém, muito próximo de ser classificado como ano seco, apresentou NE máximo de 19,78 e NE mínimo de 17,1 metros de profundidade, apresentando variação total de 2,68 metros. De acordo com a linha de tendência do NE, observa-se um aumento no nível do aquífero durante o monitoramento no final de 2004 a 2010 (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Relação dos NE do PT 02 Cidade da Esperança com a precipitação



Fonte: Elaboração própria em 2019.

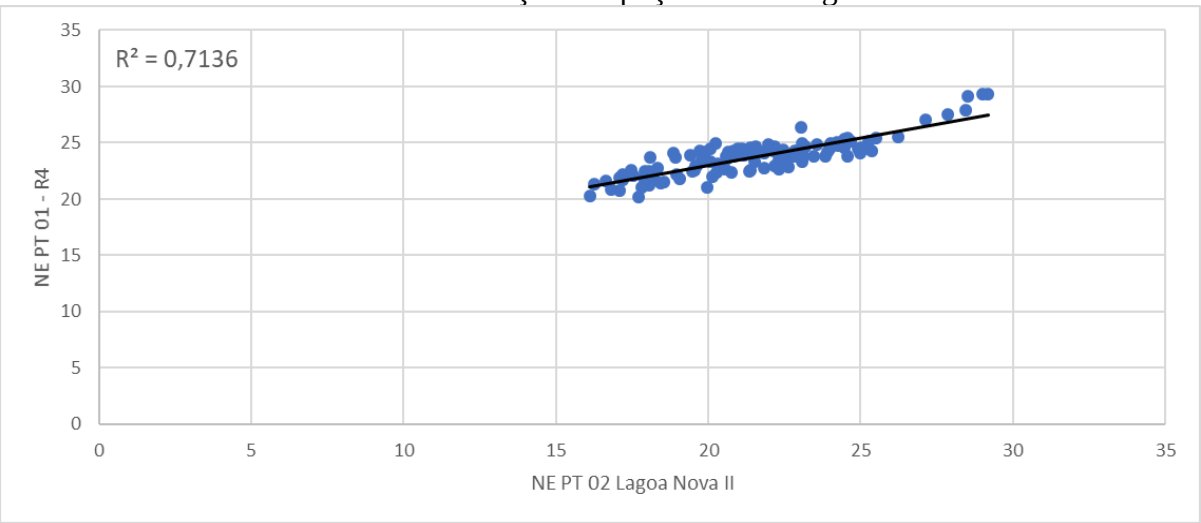
3.2 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS NE DOS POÇOS

Esta seção irá discorrer sobre o coeficiente de correlação de Pearson entre os níveis estático dos poços.

3.2.1 **Coeficiente de Correlação dos poços PT 02 Lagoa Nova II x PT 01 – R4**

Esses poços foram correlacionados pois ambos possuem registros de monitoramento do NE de janeiro de 2000 a novembro de 2010. Os poços estão a uma distância de 3.448 metros. O Coeficiente de Correlação de Pearson apresentou uma correlação forte, com o valor de r: 0,844 (Gráfico 10).

Gráfico 10 – Coeficiente de Correlação dos poços PT 02 Lagoa Nova II x PT 01 – R4

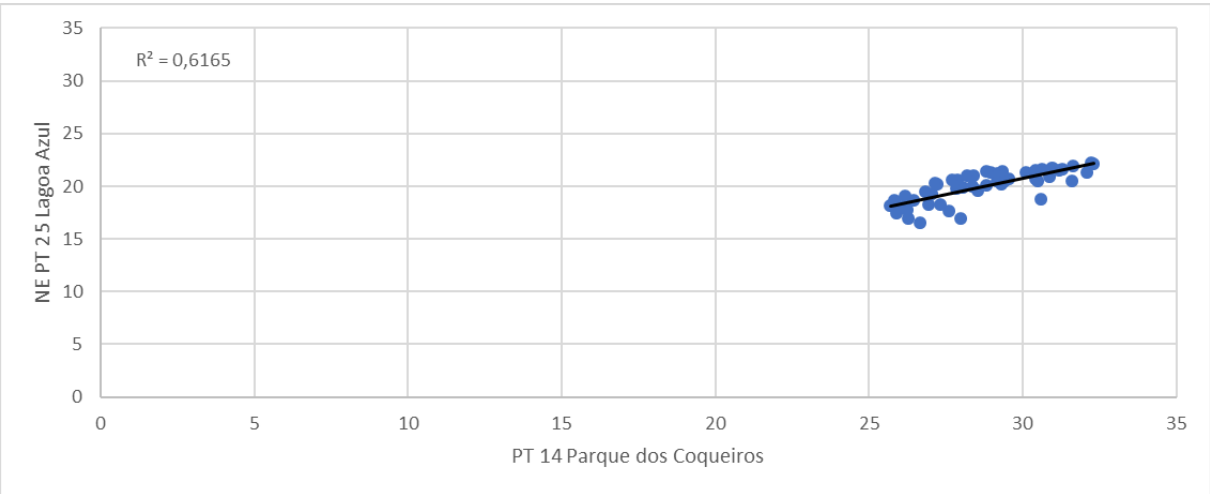


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.2.2 **Coeficiente de Correlação PT 14 Parque dos Coqueiros x PT 25 Lagoa Azul**

Os poços foram correlacionados pois ambos apresentam registros de monitoramento do NE de janeiro de 2005 a julho de 2010. Os poços estão a uma distância de 5.355 metros. O Coeficiente de Correlação de Pearson apresentou uma correlação forte, com o valor de r: 0,785 Gráfico 11).

Gráfico 11 – Coeficiente de Correlação dos poços PT 14 P. dos Coqueiros x PT 25 Lagoa Azul

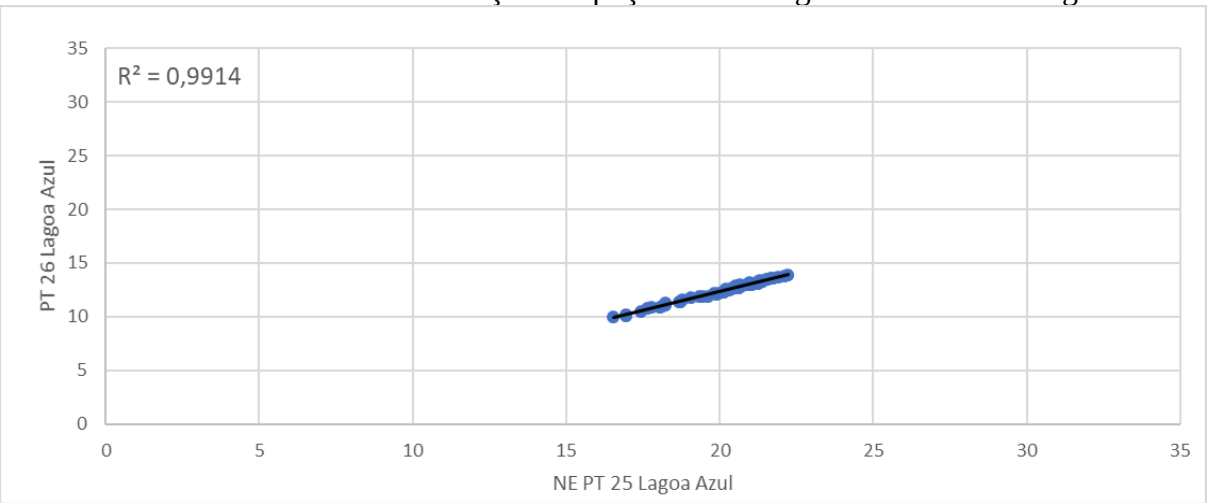


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.2.3 **Coeficiente de Correlação PT 25 Lagoa Azul x PT 26 Lagoa Azul**

Esses poços foram correlacionados pois ambos possuem registros de monitoramento do NE de janeiro de 2005 a julho de 2010. Os poços estão a uma distância de apenas 736 metros. O Coeficiente de Correlação de Pearson apresentou uma correlação muito forte, com o valor de r: 0,995 (Gráfico 12).

Gráfico 12 – Coeficiente de Correlação dos poços PT 25 Lagoa Azul x PT 26 Lagoa Azul

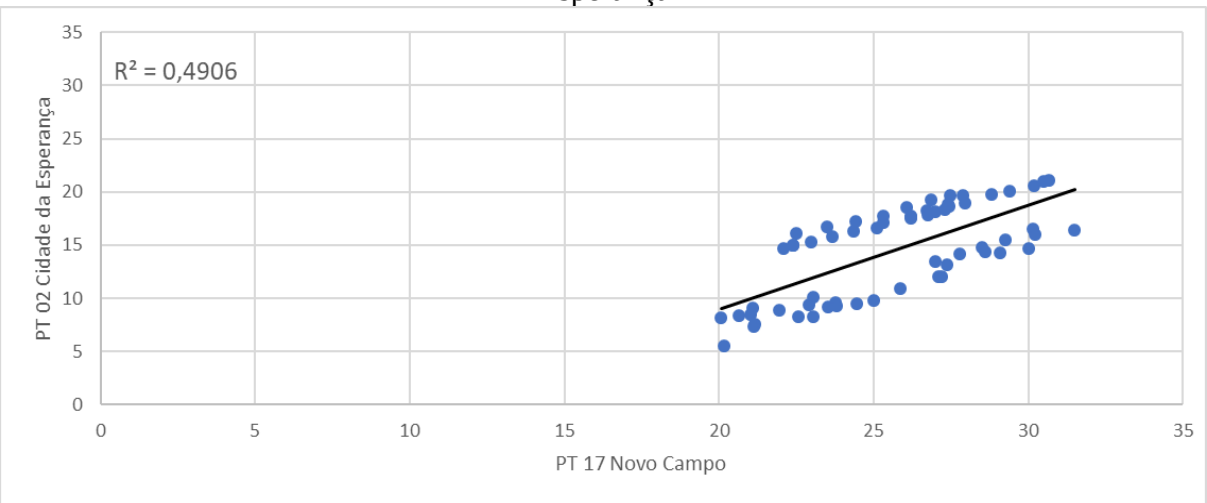


Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.2.3 **Coeficiente de correlação PT 17 Novo Campo x PT 02 Cidade da Esperança**

Esses poços foram correlacionados pois ambos possuem registros de monitoramento do NE de outubro de 2004 a novembro de 2010. Os poços estão a uma distância de 4,995 metros. O Coeficiente de Correlação de Pearson apresentou uma correlação forte, com o valor de r: 0,700 (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Coeficiente de Correlação dos poços PT 17 Novo Campo x PT 02 C. da Esperança



Fonte: Elaboração própria em 2019.

3.3 VULNERABILIDADE DOS POÇOS MONITORADOS

A aplicação do método GOD nos poços resultou na tabela 1, a qual demonstra o índice de Vulnerabilidade dos poços de monitoramento.

Tabela 1 – Índice de vulnerabilidade dos poços de monitoramento

Poço Tubular	Tipo de Aquífero (G)	LITOLOGIA (O)	Profundidade do topo do aquífero (D)	Índice	Vulnerabilidade
PT 02 Lagoa Nova II	0,70	0,73	0,71	0,36	Média
PT 01 - R4	0,70	0,78	0,73	0,39	Média
PT 01 Quintas	0,65	0,50	0,73	0,24	Baixa
PT 14 Parque dos Coqueiros	0,70	0,73	0,73	0,37	Média
PT 25 Lagoa Azul	0,65	0,60	0,70	0,27	Baixa
PT 26 lagoa Azul	0,75	0,75	0,85	0,48	Média
PT 17 Novo Campo	0,73	0,70	0,73	0,37	Média
PT 02 Cidade da Esperança	0,75	0,70	0,83	0,43	Média

Fonte: Elaboração própria em 2019.

Com base nos resultados da Tabela 4, denota-se que os poços: PT 01 Quintas e PT 25 Lagoa Azul apresentaram índice de vulnerabilidade baixo, apresentando valores de 0,24 e 0,27 respectivamente. Os dois poços apresentam camadas de argila na zona insaturada, diminuindo assim a permeabilidade local, consequentemente, dificultando a percolação da água meteórica e agentes contaminantes.

Os poços PT 02 Lagoa Nova II, PT 01-R4, PT 14 Parque dos Coqueiros e PT 17 Novo Campo apresentaram índices de vulnerabilidade média, com valores variando entre 0,36 a 0,39. As características litológicas desses poços na zona insaturada são representadas por camadas de arenitos com matriz argilosa e caulinítica, ou seja, apesar de em sua maioria ser composta por arenitos, a matriz de menor granulometria diminui a capacidade de percolação das águas meteóricas.

Os poços PT 26 Lagoa Azul e o PT 02 Cidade da Esperança apresentaram índices de vulnerabilidade média, porém, com índices 0,48 e 0,43, respectivamente. Tais valores são os mais próximos ao limite vulnerabilidade alta, que, de acordo com o método GOD, é 0,5.Através de imagens de sensoriamento remoto, observa-se que o poço PT 26 Lagoa Azul está distante 200 metros da Lagoa Azul, além de situar-se em uma área pouco urbanizada; já o poço PT 02 Cidade da Esperança localiza-se ao lado de uma lagoa de captação de águas pluviais na Cidade da Esperança e a uma distância de 200 metros do campo de dunas da Zona de Proteção Ambiental (ZPA) 01. Os dois poços também apresentarem camadas litológicas de arenitos na zona insaturada, que propiciam a rápida recarga do aquífero e, consequentemente a rápida percolação de agentes contaminantes.

Devido a limitada quantidade de informações sobre os poços quanto à sua distribuição espacial na área pesquisada, utilizou-se técnicas de geoprocessamento para interpolar os índices de vulnerabilidade, com o objetivo de gerar o Mapa de Vulnerabilidade dos poços monitorados (Mapa 3). O método de interpolação utilizado foi Ponderação pelo Inverso da Distância IDW, pois apresentou os melhores resultados.

Mapa 3 – Mapa de vulnerabilidade dos poços monitorados

Fonte: Elaboração própria em 2019.

4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Uma rede de monitoramento é fundamental para o conhecimento do comportamento hidrodinâmico do aquífero, auxiliando no planejamento e gestão para exploração e preservação, com o objetivo de utilizá-lo de modo sustentável.

Foi possível verificar que as curvas de variação do nível estático resultantes do monitoramento apresentam uma configuração similar, permitindo verificar a reação do Nível Estático dos poços em resposta às precipitações pluviométricas. Diante dos resultados, verificou-se que, no período monitorado, o nível de água subterrânea é diretamente relacionado às precipitações pluviométricas, ocorrendo as maiores variações do NE em anos chuvosos e muito chuvosos, e as menores variações do NE em anos secos ou normais, com precipitação próxima a classificação de ano seco.

Analisando a curva de tendência do NE, infere-se que nos poços monitorados, de um modo geral, o nível de água da superfície freática subiu durante o período de 2000 a 2010. O processo de recarga das águas subterrâneas se mostrou maior do que o da retirada. Isso se deve a recarga urbana, como a possível perda por vazamentos no sistema de abastecimento. Ressalta-se também a contribuição das águas superficiais das Lagoas de Jiqui e Extremoz que entram na rede de abastecimento público da cidade.

Correlacionando as curvas de variação do NE dos poços, por meio do Coeficiente de correlação de Pearson, nota-se que não há dispersão significativa, apresentado correlação forte e muito forte. Observa-se ainda que quanto menor a distância entre os poços, maior será o grau de correlação, provavelmente devido a semelhança na geologia do local.

Os poços de monitoramento apresentaram índices de vulnerabilidade média e baixa. Tal fato deve-se ao sistema aquífero Dunas/Barreiras ser considerado livre e semi-confinado, apresentando camadas de siltitos e argilitos que contribuem para diminuição da permeabilidade, principalmente na formação Barreiras de unidade faciológica superior. Conclui-se ao finalizar este trabalho que, quanto a exploração dos recursos hídricos do aquífero Dunas/Barreiras durante o período monitorado, manteve um uso sustentável desse recurso natural.

Recomenda-se a imediata manutenção da preservação no entorno dos poços de monitoramento, principalmente os localizados em áreas classificadas como de vulnerabilidade média com índices maiores que 0,4 como o poço PT 02 Cidade da Esperança, pela proximidade com a importante área de recarga do município de Natal, denominada de ZPA 01 e do poço PT 26 Lagoa Azul, localizado em uma região de pouca urbanização que apresenta pouca antropização do solo. Ademais, o aquífero demonstrou ser influenciado pela recarga natural, de modo que, é importante a preservação de áreas para infiltração das águas meteóricas até a zona saturada do aquífero.

REFERÊNCIAS

BARROS, J.D.; FURTADO, M.L.S.; COSTA, A.M.B.; MARINHO, G.S.; SILVA, F.M. Sazonalidade do vento na cidade de Natal–RN pela distribuição de *weibull*. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, n. 2, ed. esp., p. 78-92, jul./dez. 2013.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 20 dez. 2017.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE**. Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal**: Zona Norte. Natal, 1998.

DEVORE, J. L**. Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. São Paulo: Thomson Pioneira, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Monitoramento Pluviométrico**. 2019 . Disponível em: http://189.124.130.5:8181/monitoramento/monitoramento.php. Acesso em: 2 jun. 2019.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia**: Conceitos e Aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM – LABHID. 812 p.

FONSECA, V. P. da *et al*. **Folha Natal SB.25-V-C-V**: carta geológica - escala 1:100.000. 2012 . Disponível em http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17786. Acesso em: 27 maio 2019.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. ***Groundwater pollution risk evaluation****: the methodology using available data*. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater Quality Protection**: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. Washington, D.C, The World Bank, 2002.

FOSTER, S.; MORRIS, B.; CHILTON, J. 1999. *Ground- water in urban development: a review of link-ages and concerns*. *In*: ELLIS, J.B.(Org.). ***Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality***. IAHS Publ., 1999. p.3-12.

FREEZE, R. A.; E CHERRY, J. A. ***Groundwater***: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey. 1979.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama da cidade de Natal–RN**. Disponível em:https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/natal/panorama. Acesso em: 15 abr. 2019.

MANIÇOBA, R.M.; SOBRINHO, J.E.; GUIMARÃES, I.T.; JUNIOR, E.G.C.; ZONTA, J.H. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, n.4, p.1110-1119, ago. 2017.

MELO, J. G.; FIGUEREDO E. M. Comportamento hidráulico e vulnerabilidade do sistema aquífero Dunas/Barreiras a poluição na área de Natal–RN. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 13. n.1, 1990.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo**: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2016 . Disponível em: https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030. Acesso em: 25 maio 2018.

RIBEIRO, W. C. **Governança da água no Brasil**: uma visão interdisciplinar. São Paulo: Annablume, 2009.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 24-35, junho/agosto 2006

APÊNDICE A – PRODUTO FINAL

Como esse Artigo Científico foi elaborado no âmbito de um mestrado profissional, atendendo a Portaria CAPES n. 60/19, buscou-se trazer contribuições para atual discussão sobre a utilização dos recursos hídricos no município de Natal–RN. Nesse município, às demandas da sociedade quanto a utilização dos recursos hídricos de modo sustentável é cada vez mais pública e notória, devido a contaminação do aquífero Dunas/Barreiras por efluentes domésticos.

Alinhado com o objetivo do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável dos Recursos Naturais, este produto final visa auxiliar a utilização sustentável dos recursos hídricos, fundamental a qualidade de vida dos habitantes e ao desenvolvimento industrial e agrícola de Natal–RN.

Como produto final, será disponibilizado a produção técnica do Mapa de Vulnerabilidade nos poços monitorados no município de Natal–RN. Este mapa foi desenvolvido através do índice de vulnerabilidade desenvolvido pelo método GOD (FOSTER;HIDRATA, 1988). O método GOD é um dos mais utilizados na determinação da vulnerabilidade em países em desenvolvimento. Tal método atribui índices entre 0 e 1 para os seguintes parâmetros:

a) **Gi**: Índice de confinamento do aquífero;
b) **Oi**: Índice da litologia na zona insaturada;
c) **Di**: Índice da profundidade do nível de água ou da base do confinamento do aquífero.

O mapa de Vulnerabilidade tem como objetivo principal demonstrar as regiões do município de Natal–RN, em que o aquífero Dunas/Barreiras é mais vulnerável à contaminação. Tal mapa poderá ser utilizado como produto técnico de referência ou ferramenta para os órgãos de gestão e de abastecimento público de água, de modo a auxiliar nas tomadas de decisões, ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos quanto a sua exploração e preservação.

APÊNDICE B – MAPA DE VULNERABILIDADE DOS POÇOS MONITORADOS

Fonte: Elaboração própria em 2019.