



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Determinação da vulnerabilidade natural do Aquífero Bauru na Bacia Hidrográfica do Rio Itaquê

Determination of natural vulnerability of the Bauru Aquifer in the Itaquê River Hydrographic Basin

Ana Luiza Seresuela Coraça¹; Livia Portes Innocenti Helene² ✉

¹ Faculdade de Tecnologia (FATEC), Jaú, São Paulo.

✉ ana.coraca@fatec.sp.gov.br, livia.helene@fatec.sp.gov.br

Resumo

Palavras-chave:

Contaminação
Susceptibilidade
Águas subterrâneas
Método GOD

Keywords

Contamination
Susceptibility
Groundwater
Method GOD

Este trabalho investigou a vulnerabilidade natural do aquífero Bauru na bacia hidrográfica do rio Itaquê inserida nos municípios de Nova Europa, Gavião Peixoto, Matão e Tabatinga (SP). O sistema aquífero é proveniente do domínio sedimentar da formação Adamantina e possui porosidade granular. Na bacia, apresenta-se como aquífero livre com profundidade do nível d'água variando de 5,2 a 86m e zona não saturada composta predominantemente por Latossolos. Adotou-se o método GOD para avaliar a vulnerabilidade em combinação com o Sistema de Informação Geográfica (SIG). O cálculo da vulnerabilidade foi realizado através da ponderação numérica dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero: G (grau de confinamento do aquífero), O (estrato rochoso), D (profundidade do nível d'água), dados obtidos na interpretação dos perfis construtivos dos poços tubulares do banco de dados do DAEE e do CPRM/SIAGAS. Os resultados alcançados pelo método GOD permitiram identificar quatro classes de vulnerabilidade na bacia: baixa (0,1 a 0,2), média (0,3 a 0,4), média-alta (0,4 a 0,5) e alta (0,5 a 0,6). A classe média apresenta maior abrangência, cerca de 57,9% da área da bacia hidrográfica, sucedida pela média-alta (21,05%) e as classes alta e baixa apresentam mesmo percentual de 10,52%. Os mapas das classes de vulnerabilidade mostraram que as áreas mais vulneráveis a contaminação do aquífero Bauru são aquelas próximas a área de descarga, coincidentes às margens do rio Itaquê e seus afluentes.

Abstract

This study investigated the vulnerability of the Bauru aquifer in the hydrographic basin of the Itaquê River in the municipalities of Nova Europa, Gavião Peixoto, Matão and Tabatinga (SP). The aquifer system comes from the sedimentary domain of Adamantina Formation and has a granular porosity. In the basin, the aquifer contains unconfined groundwater, with water level depth ranging from 5.2 to 86 m, and an unsaturated zone composed predominantly of Oxisols. The GOD method was adopted to assess vulnerability in combination with the Geographic Information System (GIS). The calculation of vulnerability was done through the numerical weighting hydrological parameters of the aquifer: G (degree of confinement of the aquifer), O (rock stratum), D (water level depth), data obtained from the interpretation of the constructive profiles of wells from the DAEE and CPRM/SIAGAS databases. The results achieved by the GOD method allowed the identification of four vulnerability classes: low (0.1 to 0.2), medium (0.3 to 0.4), medium-high (0.4 to 0.5), and high (0.5 to 0.6). The medium class presents the greatest coverage, about 57.9% of the watershed area, followed by medium-high (21.05%) and the high and low classes present the same percentage of 10.52%. The map of vulnerability classes showed that the most vulnerable areas for contamination of the Bauru aquifer are those near the discharge area, coinciding with the banks of the Itaquê River and its tributaries.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30113>

1. INTRODUÇÃO

A demanda pelos recursos hídricos subterrâneos tende aumentar decorrente ao crescimento populacional e econômico. Apesar das águas superficiais possuírem quantidades suficientes para suprir as necessidades no abastecimento, sua distribuição não ocorre de forma homogênea, ocasionando problemas de disponibilidade nas bacias hidrográficas. Diante disso, recorre-se a exploração dos recursos subterrâneos que apresentam vantagens estratégicas, como estabilidade físico-química, sofrem pouca influência climática e não necessitam de grandes investimentos para o aproveitamento (MATSUURA, 2003; VAUX, 2011; ESHTAWI *et al.*, 2016).

A ocupação desordenada do território e o despejo de contaminantes no solo tornam mais vulneráveis as águas subterrâneas e configuram ameaças a sua qualidade e disponibilidade (FEITOSA *et al.*, 2008). Tendo em vista o uso crescente desse recurso, grande atenção deve ser voltada a questão da preservação e manutenção da sua qualidade.

É de grande relevância, portanto, a definição da vulnerabilidade das águas subterrâneas em consequência da crescente exploração. A vulnerabilidade dos aquíferos compreende fatores que o tornam suscetíveis à contaminação quando estão diante de uma ocorrência de aporte de cargas contaminantes de origem antrópica. Representa, portanto, a facilidade de os contaminantes ultrapassarem a zona não-saturada do solo e atingirem ao aquíferos (FEITOSA *et al.*, 2008; HIRATA E FERNANDES 2008).

Para determinar a vulnerabilidade de aquíferos, vários métodos podem ser adotados, e sua eficácia depende diretamente da disponibilidade dos dados necessários para a definição dos parâmetros. O método denominado GOD é uma alternativa para estudos que apresentam déficit de informações preliminares, pois utiliza poucos parâmetros para análise da vulnerabilidade (FOSTER *et al.*, 2002).

O método GOD possibilita mapear locais de maior vulnerabilidade natural, o que permite aos órgãos gestores realizar o planejamento da área estudada, a fim de propor ações de controle de poluição e monitoramento da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (RIBEIRO *et al.*, 2011).

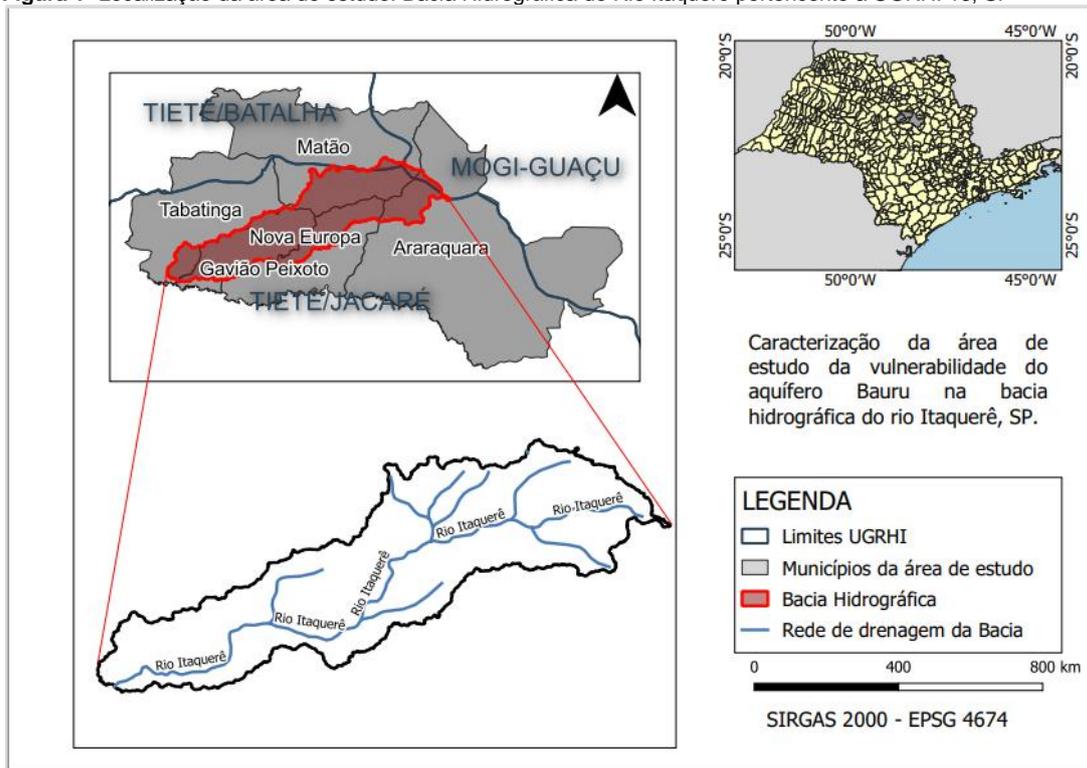
A Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré foi classificada a segunda bacia mais explorada no estado de São Paulo, onde a situação se agrava nos municípios de Gavião Peixoto e Nova Europa que são abastecidos pelo aquífero Bauru (SIGRH, p.16., 2019b). Este aquífero é uma das principais fontes de recurso e exploração subterrânea para abastecimento no estado de São Paulo, devido sua ampla distribuição geográfica, por situar-se em baixas profundidades e apresentar boas condições de potabilidade. Contudo, este aquífero é um dos mais afetados por contaminantes por ser totalmente aflorante e, portanto, apresentar maior suscetibilidade (BARISON, 2003; CETESB, 2010).

Diante da dependência do recurso hídrico subterrâneo e da necessidade de manutenção da sua qualidade, este estudo teve como objetivo principal apresentar a vulnerabilidade do aquífero livre Bauru na bacia hidrográfica do rio Itaquerê, um dos principais rios que atravessam os municípios de atenção quanto a utilização do aquífero na Bacia hidrográfica Tietê-Jacaré.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange os municípios de Tabatinga, Nova Europa, Gavião Peixoto, Matão e Araraquara estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Itaquerê, sediada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI – 13, Tietê-Jacaré (figura 1). A bacia hidrográfica possui área total de 445,13 km² e população estimada segundo IBGE, em 2020, de 11.355 habitantes no município de Nova Europa, cidade que está totalmente inserida na bacia. O Rio Itaquerê é um dos principais afluentes no Rio Jacaré-Guaçu na Bacia hidrográfica do rio Tietê possuindo 55,56 km de extensão.

Figura 1 - Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Itaquerê pertencente a UGRHI 13, SP



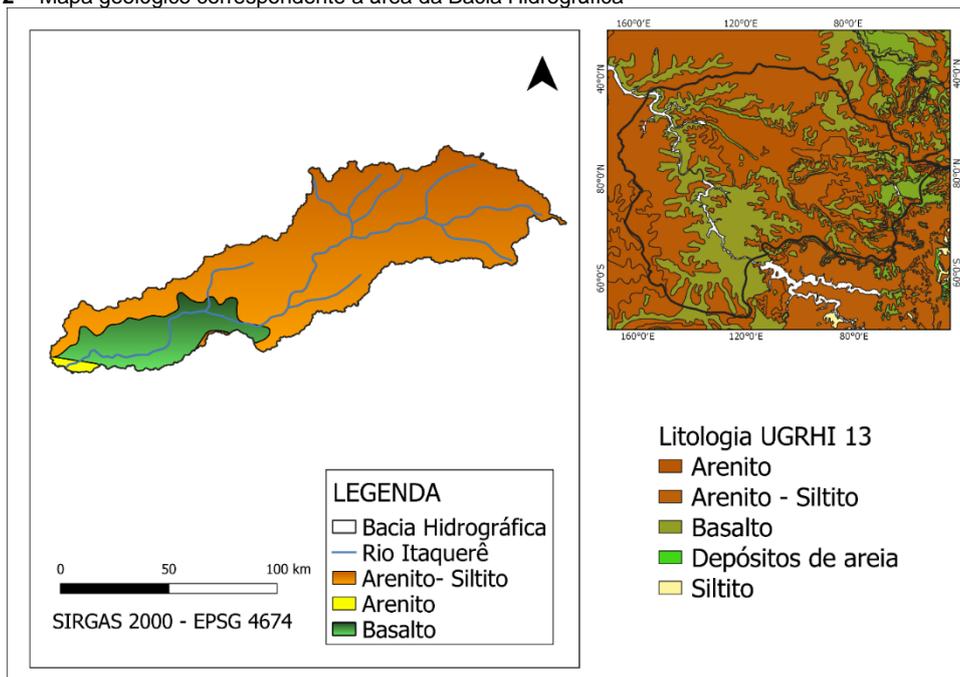
Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DATAGEO, 2011; IBGE, 2020.

2.1 GEOLOGIA E PEDOLOGIA

Em termos geológicos, a estratigrafia da bacia é composta por depósitos de sedimentos pertencentes aos grupos São Bento e Bauru, que são rochas da formação Serra Geral e das formações Adamantina, Caiuá, Santo Anastácio e Marília. Dentre as formações geológicas que fazem parte do grupo Bauru, a Formação Adamantina é aflorante na área de estudo (SOARES *et al.*, 1980).

A área é predominantemente constituída por rochas cretáceas sedimentares compostas por arenitos finos de matriz argilosa na formação Adamantina, e na formação Serra Geral é composta por rochas ígneas e sedimentares mesozoicas oriundas de derrames basálticos (figura 2) (DAEE, 1979; PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994).

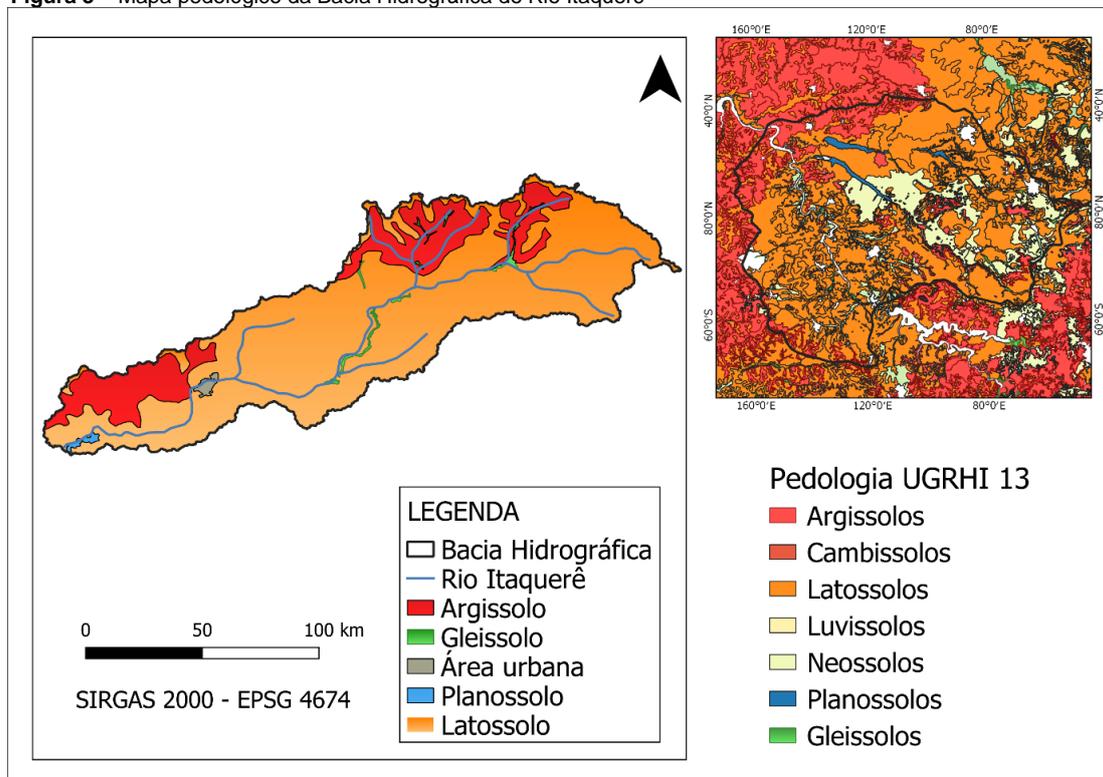
Figura 2 - Mapa geológico correspondente a área da Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DATAGEO, 2017.

Nessa região é preponderante o surgimento de Latossolos e Argissolos (figura 3), estes tipos de solos normalmente são localizados em relevos plano a suave ondulado, sendo considerados profundos, porosos, bem drenados e permeáveis mesmo quando apresentam elevadas quantidades de argila na sua composição (DAEE, 1976; TEIXEIRA *et al.*, 2000; TAVARES *et al.*, 2017).

Figura 3 – Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itaquerê



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DATAGEO, 1999.

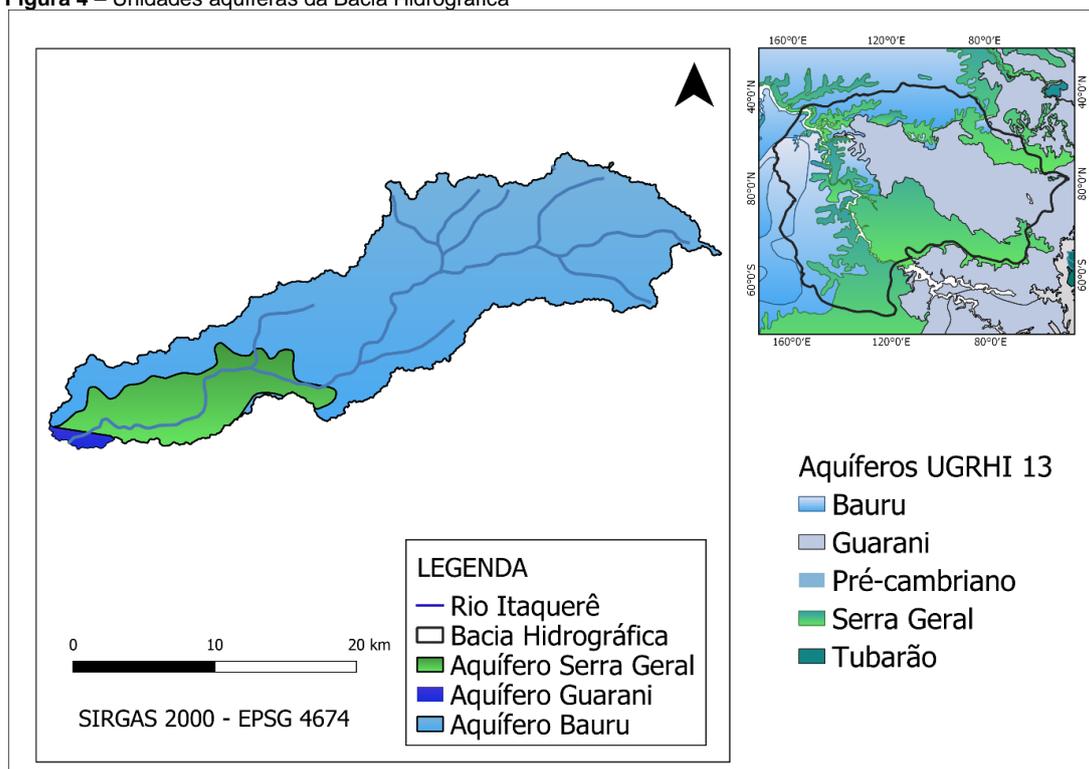
2.3 UNIDADES AQUÍFERAS

Na bacia hidrográfica do Rio Itaquerê ocorrem três unidades aquíferas aflorantes: os Sistemas Aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani (figura 4), com a predominância do aquífero Bauru que corresponde uma área de 338,91 km² da bacia.

O aquífero Bauru caracteriza-se hidrogeologicamente por rochas sedimentares permeáveis devido ao elevado teor de argilas e siltes apresentando porosidade granular, possui extensão regional contínua sobreposta a Formação Serra Geral, pode ser encontrado em sua forma livre a semiconfinado, heterogêneo e anisotrópico, podendo atingir espessura saturada de 100 a 150m nas regiões administrativas de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba (DAEE 1976, 1979; CETESB *et al.*, 1998; ROENBERGER *et al.*, 2013).

O aquífero apresenta boa qualidade de água com produtividade média-alta, fatores que o torna constantemente utilizado para abastecimento público, no entanto, possui altos riscos de poluição por ser um aquífero livre e a recarga ocorrer em toda sua extensão (IRITANI; EZAKI, 2012).

Figura 4 – Unidades aquíferas da Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DATAGEO, 2007.

3. METODOLOGIA

3.1 Aquisição e processamento dos dados

3.1.1 Aquisição de dados de poços profundos

A seleção dos poços foi realizada a partir de consulta em banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), os poços tubulares foram filtrados a partir dos municípios de Matão, Nova Europa, Gavião Peixoto e Tabatinga.

As informações de interesse para o processamento e aplicação do método foram organizadas em planilhas do programa Microsoft Excel versão 2013. Posteriormente por meio do software gratuito QGIS foi adicionado as informações cartográficas para especializar e selecionar os poços que estão localizados na bacia hidrográfica do Rio Itaquerê.

Empregou-se uma análise criteriosa para interpretação e reavaliação das informações levantadas, sendo elas latitude e longitude, cota altimétrica, nível estático, aquífero explorado e sua formação geológica. Os parâmetros hidráulicos e geológicos foram adicionados na planilha através da busca pelo código do poço cadastrado no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

No total foram selecionados 27 poços na área da bacia, dos quais 24 exploram o aquífero livre Bauru. Desse total, apenas 19 poços, apresentados na tabela 1 dispunham do conjunto de informações para aplicação do método GOD.

Tabela 1- Síntese e organização dos dados obtidos referente aos poços tubulares pertencentes na Bacia Hidrográfica.

C.ódigo	UTM Norte (m)	UTM Leste (m)	Código SIAGAS	Formação aquífera	Aquífero Explorado	Nível Estático (m)	Cota (m)
G12	7591420	766070	35000028759	Botucatu - Pirambóia	Bauru	13,25	565
G16	7590330	762600	35000046483	Serra Geral Botucatu	Bauru	33,4	550
G17	7593660	763360	35000056517	Adamantina/serra Geral	Bauru	31,1	550
G8	7591020	765490	35000028757	Botucatu - Pirambóia	Bauru	5,2	520

M115	7596420	764700	3500028556	Adamantina	Bauru	27,00	552
M124	7603620	775400	3500046265	Adamantina	Bauru	61,00	630
M127	7599460	769870	3500028562	Adamantina	Bauru	10,68	584
M128	7600270	769080	3500028563	Adamantina	Bauru	27,76	600
M135	7601240	764780	3500028567	Adamantina	Bauru	51,00	0
M138	7604300	769610	3500028570	Serra Geral	Bauru	9,50	0
M153	7602940	771370	3500046273	Adamantina	Bauru	8,50	635
M29	7602030	772520	3500028527	Serra Geral	Bauru	20,00	0
M70	7603480	780480	3500025577	Adamantina	Bauru	23,52	660
M74	7603600	763760	3500025580	Serra Geral	Bauru	84,50	620
M79	7598390	761950	3500025585	Botucatu	Bauru	86,00	610
M81	7604060	779270	3500028526	Adamantina	Bauru	32,16	652
M84	7597960	768550	3500028528	Adamantina	Bauru	15,18	0
T12	7589200	742400	35000025733	Bauru/ Serra Geral	Bauru	11,00	500
T9	7593210	750920	35000028525	Serra Geral	Bauru	98,46	575

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados: DAEE-SP; CPMR/SIAGAS.

3.1.2 Material cartográfico

Primeiramente foi realizado a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Itaquerê para gerar os mapas necessários para composição dos parâmetros oferecidos no método GOD como a geologia, litologia e unidades aquíferas. Os dados para o processamento estão disponíveis no Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil (TOPODATA) no quadrante 21S495, com o download da altitude para obter o modelo digital de terreno (MDE). A partir dessa base de dados foi realizado o processamento automatizado para a delimitação da bacia hidrográfica através da ferramenta *r.watershad* que compõe o GRASS, extensão oferecida no QGIS.

Após a delimitação, foram obtidos os dados cartográficos para a geração dos mapas temáticos necessários para o estudo: geológico, pedológico e unidades aquíferas. Os dados são disponibilizados no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no DataGeo Ambiente–SP.

As informações foram digitalizadas e posteriormente recortadas para a bacia hidrográfica do Rio Itaquerê, georreferenciadas no sistema de referência geocêntrico para as américas, SIRGAS 2000 – EPSG 4674, utilizando o programa QGIS versão 3.10.14.

3.2 Método GOD de determinação da vulnerabilidade

O método GOD é um método utilizado para determinar a vulnerabilidade natural dos aquíferos por meio da avaliação das condições naturais de atenuação de contaminantes. O índice de vulnerabilidade é obtido por meio da ponderação de três parâmetros que variam entre 0 e 1: *Groundwater hydraulic confinement (G)*, correspondente ao grau de confinamento da água subterrânea que varia numa escala de pontuação entre 0 e 1, *Overlaying Strata (O)* equivalente a ocorrência de estratos de cobertura de acordo com a litologia e *Depth to groundwater table (D)* representando a distância até o lençol freático. Nos dois últimos parâmetros a escala de pontuação dos índices é de 0,4 a 1. A multiplicação entre estes três parâmetros abordados resulta em um índice que varia de zero a um e que indica as classes de vulnerabilidade, sendo elas: insignificante (0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) ou extrema (0,7 a 1,0) (FOSTER *et al.*, 2002).

Para determinar o grau de confinamento da água subterrânea foi considerada a espessura do solo como critério de cobertura para definir se o aquífero é não confinado, coberto ou livre.

Para avaliar o substrato rochoso da formação aquífera foi analisado o caráter litológico e pedológico dos perfis dos poços tubulares analisados o que conduziu uma pontuação na escala de 0,4 a 1. Considera-se a pontuação como o produto do peso atribuído ao solo, pelo peso da litologia predominante local.

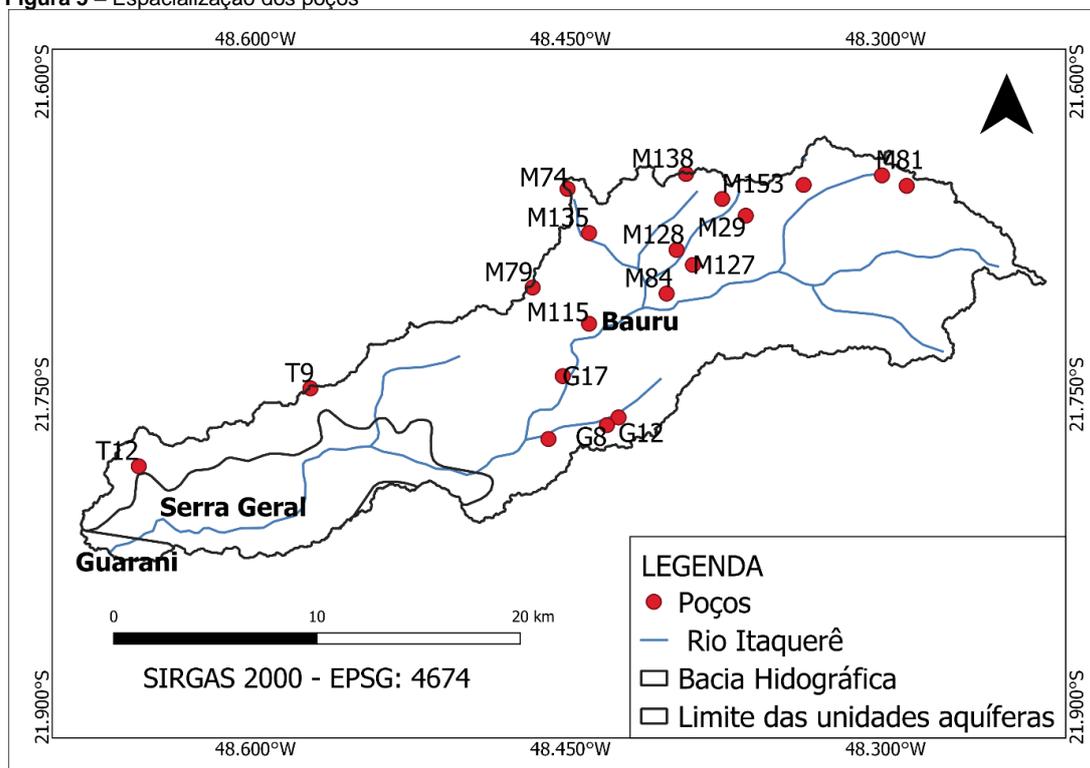
E para considerar a profundidade do nível d'água utilizou-se dados do nível estático dos poços cadastrados no DAEE, na qual foi atribuído os valores de 0,6 a 1 dependendo da profundidade encontrada.

O produto será apresentado em forma de mapa de vulnerabilidade que abrange toda bacia hidrográfica. Utilizou-se para a geração dos mapas, o software gratuito QGIS, versão 3.10.14, ferramenta de geoprocessamento que possibilitou interpolar o resultado obtido na vulnerabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da verificação da vulnerabilidade dos aquíferos para a bacia do Rio Itaquerê são ilustrados em forma de tabela que apresentam os índices considerados e em forma de produtos cartográficos. Para determinar a vulnerabilidade foram utilizados os poços localizados dentro da bacia (figura 5), esses se encontram preferencialmente na porção norte e nordeste, que corresponde ao município de Matão e Gavião Peixoto.

Figura 5 – Espacialização dos poços



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DAEE, 2021

Para cada poço os valores atribuídos aos parâmetros do método GOD foram provenientes do fluxograma elaborado pelos autores Foster *et al* (2002) na qual associou-se as características pedológicas e geológicas ilustradas nos mapas apresentados nos aspectos físicos da bacia. Foi possível indicar e ponderar os valores de 0 a 1 para cada poço em termos de vulnerabilidade, sendo 0 baixa/in-significante e 1 Extrema (tabela 2).

Tabela 2 - Ponderação de valores dos parâmetros do método GOD

Código	Grau confinamento	G	Estrato Geológico	O	Nível d'água (m)	D	Resultado	Vulnerabilidade
T9	Coberto	0,6	Arenoso	0,7	22	0,7	0,3	Média
T12	Não confinado	1	Arenito	0,75	11	0,8	0,6	Alta
M29	Coberto	0,6	Arenito	0,75	19,8	0,8	0,4	Média
M70	Coberto	0,6	Arenito	0,75	23,52	0,7	0,3	Média
M74	Coberto	0,6	Arenito	0,75	84,5	0,6	0,3	Média
M79	Coberto	0,6	Arenito	0,75	86	0,6	0,3	Média
M81	Coberto	0,6	Arenito	0,75	32,16	0,7	0,3	Média
M84	Não confinado	1	Arenoso	0,7	15,18	0,8	0,6	Alta
M115	Coberto	0,6	Arenito	0,75	27	0,7	0,3	Média
M124	Não confinado	1	Arenito	0,75	61	0,6	0,5	Média-Alta
M127	Coberto	0,6	Arenito	0,75	10,68	0,8	0,4	Média
M128	Coberto	0,6	Arenito	0,75	27,76	0,7	0,3	Média
M135	Não confinado	1	Arenito	0,75	51	0,6	0,5	Média-Alta
M138	Não confinado	1	Basalto	0,6	9,5	0,8	0,5	Média-Alta
M153	Semi Confinado	0,4	Arenito	0,75	8,5	0,8	0,2	Baixa
G8	Coberto	0,6	Arenito	0,75	5,2	0,8	0,4	Média
G12	Confinado	0,2	Argilito	0,5	13,25	0,8	0,1	Baixa
G16	Coberto	0,6	Arenito	0,75	33,4	0,7	0,3	Média
G17	Não confinado	1	Arenito	0,75	31,1	0,7	0,5	Média-Alta

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados: Foster et al (2002).

Para verificar o grau de confinamento, foi utilizado como referência o mapa pedológico da bacia hidrográfica onde predominam dois tipos de solo, Latossolos e Argissolos. Os Latossolos normalmente são considerados mais espessos por serem compostos pelos horizontes A, B e C. Por possuem fragmentos rochosos e minerais primários formados por pequenos grãos que são capazes de reter maiores quantidades de água, nesses locais o aquífero foi considerado apenas como coberto (73,7% dos casos) onde atribuiu-se o índice 0,6.

Para o caso dos Argissolos o aquífero se encontra não confinado/livre devido a fina camada de solo composta apenas pelos horizontes A, E, B textural, sua profundidade pode variar entre 0,5 e 1m, é composta por sedimentos arenosos que são capazes de liberar mais água para o aquífero em relação aos Latossolos, compreende cerca de 31,6% da área da bacia, e assim foi adotado o valor 1.

Para avaliar o substrato rochoso da formação aquífera foi analisado o caráter litológico e pedológico dos perfis dos poços tubulares analisados o que conduziu uma pontuação na escala de 0,5 a 0,8. As formações rochosas como o arenito e basalto são predominantes na área de estudo e para elas foram atribuídos os valores de 0,75 e 0,6 respectivamente.

A estimativa do nível d'água, parâmetro D, conduziu-se por meio de dados do nível estático dos poços cadastrados no DAEE, na qual foi atribuído os valores de 0,6 a 0,8 dependendo da profundidade encontrada. A profundidade do nível d'água variou entre 5,2 e 86m conforme a tabela 3 onde foi possível identificar que quanto menor a profundidade maior o valor atribuído ao parâmetro.

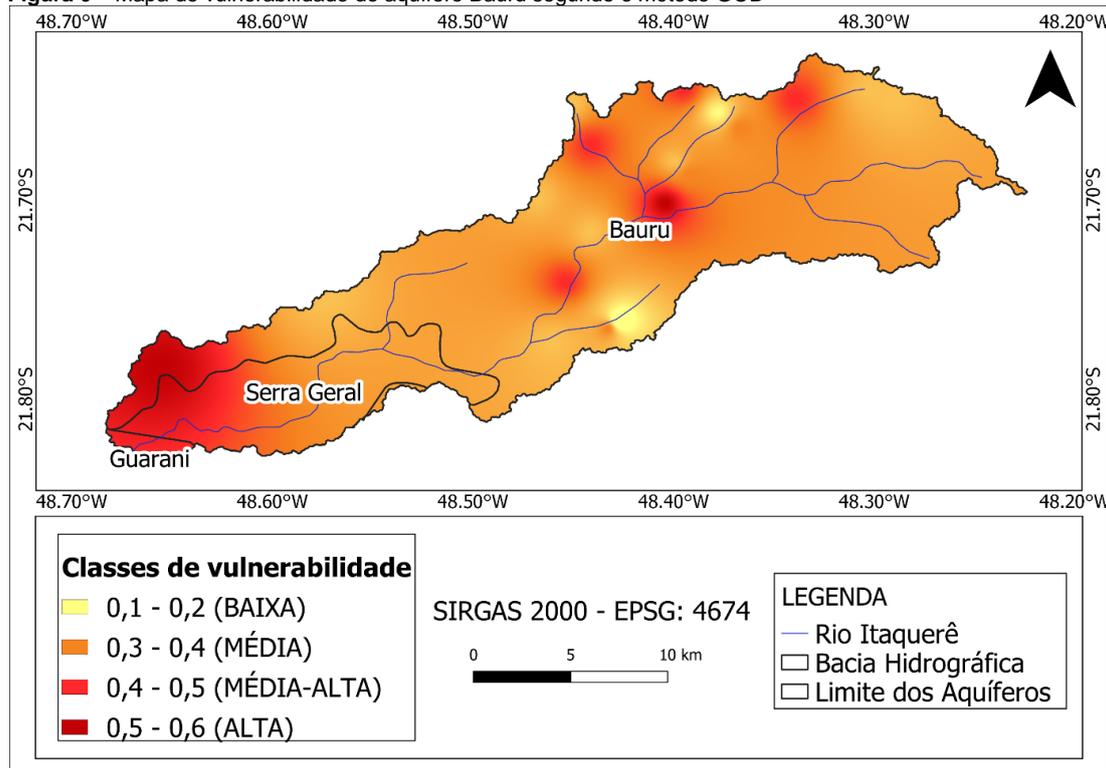
Tabela 2 - Atribuição de valores do parâmetro D de acordo com a profundidade do nível d'água nos poços tubulares.

Profundidade do nível d'água (m)	Valor atribuído
5,2 a 19,8	0,8
22 a 33,4	0,7
51 a 86	0,6

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados: Foster et al (2002).

Os resultados obtidos nos índices foram trabalhados no QGIS e assim foi possível gerar o mapa de vulnerabilidade de aquíferos para a bacia hidrográfica do rio Itaquerê (figura 6). Os índices finais de vulnerabilidade permitiram identificar quatro classes de vulnerabilidade: baixa, média, média-alta e alta.

Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade do aquífero Bauru segundo o método GOD



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: DAEE; CPRM/ SIAGAS, 2021.

A vulnerabilidade a contaminação mediante a aplicação do método GOD variou de baixa a alta, com predomínio de valores médios na escala de pontuação (entre 0,2 e 0,5). Com o objetivo de avaliar detalhadamente a susceptibilidade do aquífero Bauru, a classe predominante média com valores entre 0,3 e 0,4 (correspondente a 57,9% da bacia) foi subdividida na classe média-alta (0,5) que sucede a classe dominante, cerca de 21,05% da área. Foi possível identificar que 78,9% da área configura-se a vulnerabilidade média, englobando a classificação média-alta.

Os parâmetros grau de confinamento (G) e ocorrência do estrato geológico (O) foram os principais fatores que condicionaram os resultados obtidos para determinar a vulnerabilidade devido a formação geológica do aquífero e conseqüentemente a espessura de seu estrato de cobertura. As áreas onde o aquífero se encontra não confinado (livre) possui vulnerabilidade média-alta e alta e corresponde a 31,6% da área total. Em 57,9% da área, onde o aquífero se encontra com cobertura de solos a vulnerabilidade foi classificada como média.

Para as áreas de vulnerabilidade baixa, o aquífero é considerado semiconfinado e confinado pois além da camada de solo há uma densa camada rochosa de argilito, cerca de 10,5% da área estudada, e restringe-se a uma pequena porção situada ao sul e nordeste.

As áreas mais vulneráveis à contaminação do aquífero Bauru são aquelas em que o aquífero se encontra livre. Essas áreas ocorrem próximas as margens do rio Itaquerê e seus afluentes, coincidentes com as áreas de descarga deste aquífero.

Cabe ressaltar que há uma maior concentração de poços na porção central e norte da bacia, nesses locais é possível obter resultados mais precisos sobre a vulnerabilidade. Locais onde a densidade de poços é menor existe uma maior inconsistência nos resultados, pois a determinação da vulnerabilidade nesses locais é feita pela interpretação e inferência dos dados do restante da bacia.

Ainda assim, os resultados apresentados demonstram que a aplicação dessa metodologia é vantajosa para um planejamento preliminar da ocupação dos municípios inseridos na bacia hidrográfica. A instalação de poços de monitoramento pode trazer mais informação do aquífero na região e assim contribuir por um maior detalhamento da vulnerabilidade.

Uma vez que a região tem um histórico de grande demanda e exploração de água subterrâneas a determinação da vulnerabilidade é fundamental para definir programas de monitoramento da qualidade da água e assim dar continuidade aos usos já existentes na bacia.

Outras ações recomendadas consistem na verificação de atividades que utilizam agentes químicos que possam causar danos aos usuários e verificação de redes coletora de esgoto nos locais com vulnerabilidade alta e adotar um zoneamento ambiental quanto ao uso e ocupação do solo nestas áreas e naquelas próximas as áreas de descarga do aquífero.

5. CONCLUSÕES

O mapeamento da vulnerabilidade mediante a contaminação do aquífero é uma ferramenta útil que permite o planejamento do uso e ocupação do solo além de ser utilizado como subsídio para estudos mais detalhados voltados a ações de proteção e gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

A utilização do método GOD para avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero Bauru na bacia hidrográfica do rio Itaquerê forneceu resultados satisfatórios apresentados em forma de mapa. Foi possível identificar algumas regiões pontuais da área de estudo que possuem alta vulnerabilidade e que, portanto, devem ser alvos de estudos complementares e monitoramento. De forma geral, a bacia hidrográfica foi classificada como de média vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

BARISON, Marcelo Ribeiro. **Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do sistema aquífero Bauru no estado de São Paulo**. 2003. xii, 153 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102904>.

CBH- COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ – JACARÉ. **Relatório de situação dos recursos hídricos na bacia do Tietê – Jacaré**. Araraquara, 2019b. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1aoQ4a2thF71uSTYRasGB8SxKm8s2gz_y. Acesso em: 18 mar. 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009. CETESB, São Paulo, p. 258.

CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Rev. Geociências**, v. 29, n.3, p.401-411, 2010.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2021. Pesquisa de recursos hídricos: poços profundo por município. Disponível em: <http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/DaeeWebpocoDpo.html>. Acesso em: 15 fev. 2021.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 1976. Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativas 7, 8 e 9 – Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba. vol. I, II e III.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 1979. Estudo de águas subterrâneas, Regiões Administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo: v.1 e v.2.

DATAGEO- INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS AMBIENTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IDEA-SP. Ambiente, pesquisa de camadas vetoriais em arquivos shapefile. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/#>. Acesso em: 23 fev. 2021.

ESHTAWI *et al.* Integrated hydrologic modeling as a key for sustainable urban water resources planning. **Water research**, [S.l. v. 101, n. 0043-1354, p. 411-428, maio. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.06>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

FEITOSA, A C.F.; MANOEL FIHO, J., **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR; Fortaleza, 1997. 389p. FENZL, N. Introdução à hidrogeoquímica. Belém: UFP, 1986.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A.2008. (orgs.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p. 179-207.

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**. World Bank, GWMATE. Washington, 2002.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Busca pela malha municipal do estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. 2012. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: **Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA**, 2012.

MATSUURA, K. A água já não flui naturalmente. **Cadernos de cidadania 2 – Água: Os comitês que cuidam da sua conservação em São Paulo**. São Paulo, v. 113, n.51, p. 6, mar. 2003.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Boletim Científico, 45. Campinas: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 1999. 112 p.

PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. 1994. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozoico na Cidade de Bauru - SP. **Revista Geociências**, v. 13, n.1, pp. 83-99.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V.2011.Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe. **Revista Águas Subterrâneas**, p 25.1: 91-102.

Rodrigues, V. R. (2004, outubro) Uma reflexão sobre dois importantes instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos: licença para perfuração de poços tubulares e a outorga de direito de uso de recursos hídricos. **Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, São Paulo, SP, Brasil, 13. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1186>.

RORENBERGER, M.; VARNIER, C.; IRITANI, M, A. *et al.* VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE BAURU (SP). **Rev. Inst. Geológico.**, v. 34 (2), p. 51-67, jan. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287498509_VULNERABILIDADE_NATURAL_A_CONTAMINACAO_DO_SISTEMA_AQUIFERO_BAURU_NA_AREA_URBANA_DO_MUNICIPIO_DE_BAURU_SP.

SIAGAS/CPMR- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, 2021. Pesquisa geral pelo código dos poços pertencentes a bacia. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 01 mar. 2021.

SOARES, P.C., LANDIM. P.M.B., FULFARO, V.J. e NETO, A.F.S., Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.10, n.3, p. 170-185, setembro, 1980.

TAVARES, A. S.; JUNIOR, H. M.; SPALEVIC, V.; MINCATO, R. L. Modelos de erosão hídrica e tolerância das perdas de solo em latossolos distróficos no Sul de Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia**, V. Especial, p.268-277, 2017.

TEIXEIRA, M. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Equipamento para extração de amostras indeformadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.4, p.693-699, 2000.

TOPODATA- Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Mapa índice TOPODATA: busca pelo modelo digital de terreno, altitude. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

VAUX, Henry. Groundwater under stress: the importance of management. **Environmental Earth Sciences**, [S.l.], v. 62, n. 1, p. 19-23, jan. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0490-x> DO -10.1007/s12665-010-0490-x ID - Vaux2011 ER>. Acesso em: 18 mar. 2021.