



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

VANESSA KARLA CLAUDINO RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA.**

Recife
2021

VANESSA KARLA CLAUDINO RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Cartográfica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lígia Albuquerque de Alcântara Ferreira

Recife
2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

Folha reservada para ficha catalográfica que deve ser elaborada após a defesa e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica do trabalho, o usuário deve entrar em contato com a Biblioteca Setorial do Centro Acadêmico ao qual o Programa de Graduação está vinculado.

VANESSA KARLA CLAUDINO RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Aprovada em: 01/09/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Lígia Albuquerque de Alcântara Ferreira
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Ana Lúcia Bezerra Candeias
Universidade Federal de Pernambuco

Me. Renata Miranda da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico primeiramente a Deus, minha família, orientadora e principalmente ao meu esposo que me deu todo o apoio para que eu chegasse até aqui.

.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por se fazer presente ao meu lado, me dando forças para continuar em meio a tantas dificuldades enfrentadas durante o tempo de graduação.

Aos docentes do departamento de Engenharia Cartográfica que me oportunizaram conhecimentos e conselhos durante os anos de graduação que iram comigo na minha vida pessoal e profissional.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Lígia Albuquerque que teve tanta paciência e compreensão a minhas dificuldades durante a elaboração do Trabalho de graduação, e por todo conhecimento e experiência na orientação para a formação de meu TG.

A meu esposo Rosemberg Marques, por me apoiar durante todo esse período de curso, muitas vezes me esperando durante horas na universidade enquanto eu estive em aula. Seu companheirismo que me manteve firme em muitos momentos de dificuldades nessa jornada, sou muito grata por ele está em minha vida.

A meu filho Davi Lucas que chegou no meio dessa minha jornada, mas que só veio a me proporcionar mais força e foco para que eu pudesse realizar esse meu sonho.

Aos meus pais, a minha querida mãe, minha guerreira, Lindalva Rodrigues, que tanto acreditou em mim, e que sempre esteve ao meu lado nas minhas madrugadas de estudo, dando suporte ao ficar com meu filho para que eu pudesse ir a aula, infelizmente ela não mais está presente agora no final de minha jornada, mas sei que se estivesse aqui o sentimento seria de muito orgulho por minha conquista. E ao meu pai Valter Claudino que me deu muita força para que me dedicasse aos estudos, hoje chego ao fim pela força que me deu todo o tempo de curso, muitas noites indo me buscar na universidade, mesmo com suas limitações na visão.

Ao meu irmão Vinícius Claudino e minha cunhada Cynthia Souza por sempre me apoiarem e me ajudarem durante todo o curso.

Minha sogra Edneide José e sogro Rozinaldo Alves pelo apoio durante esses anos de faculdade.

A Edileuza Pessoa e Talita Vitória por muitas vezes ficarem com meu filho para que pudesse assistir as aulas em tempo de pandemia e para concluir o meu trabalho de conclusão.

A meu Cunhado Ednaldo José e sua esposa Fabia Soares por toda força que me deram durante essa etapa de minha vida.

Aos meus amigos de graduação, que durante todo o tempo que passamos juntos nessa jornada, sempre nós ajudamos e formamos relações que espero levar para a vida toda. Em especial a Keith Carvalho que me acompanhou durante todo este tempo de curso.

Chegou a fim um ciclo de minha vida, muitas risadas, choros, felicidades e frustrações. Sendo assim dedico esse trabalho a todos que fizeram parte dessa minha jornada e que tanto colaboram e me deram forças em meio as dificuldades para que conseguisse realizar essa grande conquista.

RESUMO

Trata-se de um estudo de revisão narrativa de literatura cujo o objetivo de verificação de metodologias de avaliação de vulnerabilidade de águas subterrâneas que possuem uma importante utilização como ferramenta de uma gestão hídrica subterrânea. Foi realizado um estudo bibliográfico de publicações de artigos no período dos anos de 2016 a 2021. A identificação das fontes de pesquisas foram em meio de banco de dados do Periódicos Capes, biblioteca eletrônica *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e Revista das águas subterrâneas ABAS.org. Com base na certeza de que a exploração de forma excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, associada à ocupação irregular do solo colocam em risco a qualidade natural das águas subterrâneas, foram identificadas metodologias mais aplicadas para análise de vulnerabilidade de aquíferos. Ao final a pesquisa constatou que a determinação da vulnerabilidade com aplicação de geotecnologias, como forma de apoio na integração, geração e de interpretação das informações geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, permite às autoridades governamentais a possibilidade de gerir seus recursos hídricos de forma mais eficiente, garantindo de forma direta um desenvolvimento mais sustentável de suas águas subterrâneas.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Vulnerabilidade de águas subterrâneas. Geoprocessamento em recursos hídricos.

ABSTRACT

This is a study of narrative literature review whose objective is to verify methodologies for assessing the vulnerability of groundwater that have an important use as a tool for underground water management. A bibliographic study of articles published in the period from 2016 to 2021 was carried out. The identification of research sources was carried out through the Capes Periodicals database, Scientific Electronic Library Online (SciELO) and the ABAS underground water magazine. org. Based on the certainty that the excessive exploitation of groundwater resources, associated with the irregular occupation of the soil puts the natural quality of groundwater at risk, more applied methodologies were identified for analyzing the vulnerability of aquifers. In the end, the research found that the determination of vulnerability with the application of geotechnologies, as a way to support the integration, generation and interpretation of geological, hydrological and hydrogeological information, allows government authorities the possibility of managing their water resources more efficiently, directly guaranteeing a more sustainable development of its groundwater.

Keywords: Water resources management. Groundwater vulnerability. Geoprocessing in water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Perfil de usuários de águas subterrâneas no Brasil.....	18
Figura 2 –	Critérios de inclusão e exclusão utilizados.....	21
Figura 3 –	Fluxograma da seleção dos artigos de inclusão na revisão narrativa de literatura.....	22
Figura 4 –	Exemplos de fontes de contaminação de águas subterrâneas	25
Figura 5 –	Metodologia empregada na análise de vulnerabilidade dos aquíferos.....	26
Figura 6 –	Mapa de vulnerabilidade da sub bacia do Rio Corumbataí/BA.....	28
Figura 7 –	Estimativa da vulnerabilidade pelo método DRASTIC, bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim/RS.....	29
Figura 8 -	Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação pelo método COP, Cafarnaum, Bahia.....	30
Figura 9 -	Interface do SIAGAS.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Grupo de aplicabilidade de artigos selecionados à análise.....	23
Tabela 2 –	Distribuição de objetivos, locais e tipo dos estudos incluídos nessa revisão narrativa de literatura.....	25
Tabela 3 -	Classes de vulnerabilidade à contaminação de aquífero pelo método GOD.....	26
Tabela 4 –	Classes de vulnerabilidade à contaminação de aquífero pelo método DRASTIC.....	26
Tabela 5 –	Intervalos e classes de vulnerabilidade do Método COP.....	27
Tabela 6 –	Métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos.....	29
Tabela 7-	Métodos e parâmetros usados para avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrânea
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
COP	Método para quantificação de índice de vulnerabilidade de aquíferos
DRASTIC	Método para quantificação de índice de vulnerabilidade de aquíferos
GOD	Método para quantificação de índice de vulnerabilidade de aquíferos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MEC	Ministério da Educação
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
POSH	Pollutant Origin Surcharge Hydraulically
QGIS	Quantum Gis
RNL	Revisão narrativa de literatura
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shutter Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Geotecnologias na gestão dos recursos hídricos	16
3.2	Especificidades da gestão de Águas Subterrâneas.....	17
4	METODOLOGIA.....	20
4.1	Tipo de Estudo.....	20
4.2	Detalhamento do processo de seleção de artigos.....	20
4.3	Levantamento da pesquisa - Motivações	23
5	RESULTADOS	25
6	DISCUSSÃO	27
6.1	Avaliação de vulnerabilidade	28
6.2	Metodologias de vulnerabilidade.....	29
6.3	Atualizações das metodologias de avaliação de vulnerabilidade	33
6.4	Avaliação de vulnerabilidade e Geotecnologias.....	34
6.5	Métodos de avaliação de vulnerabilidade aplicados numa gestão de águas subterrâneas.	37
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são consideradas fontes de águas naturais mais resistentes à contaminação do que as águas superficiais. Com isso a busca dessas fontes mais limpas e de boa qualidade está em grande ascensão para abastecimento de cidades e núcleos urbanos (DUARTE et al., 2016).

Em geral, os aquíferos atualmente se encontram em um panorama susceptível a contaminação. Observamos o resultado da influência antrópica cada vez mais acentuada sobre as águas, que somado aos diversos usos dos solos altera a qualidade da água que permeia para o subsolo afetada por tais dinâmicas, impactando assim os recursos hídricos subterrâneos. Nesse cenário se insere o conceito de vulnerabilidade do aquífero à contaminação que, para Foster (1987), representa as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente imposta.

Segundo Hirata (1994), a consciência dos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos mudou a partir da constatação que é mais viável a proteção desses recursos do que a tentativa de reverter a sua contaminação. Essa ideia permitiu um aumento na busca e desenvolvimento de técnicas e ferramentas que permitissem o mapeamento de vulnerabilidade à contaminação (CRISPIM et al., 2016). As geotecnologias surgem como forma de ferramenta que possibilita a análise, a coleta, o processamento de informações que colaboram de forma direta e eficaz para a compreensão da utilização e qualidade deste tipo de recurso hídrico.

A avaliação de vulnerabilidade de um aquífero é realizada através do mapeamento de áreas susceptíveis à contaminação. Existem muitos trabalhos que apresentam estudos específicos que demonstram que a aplicação de tais métodos são importantes ferramentas a serem utilizadas pela gestão de recursos hídricos subterrâneos (MEIRA et al., 2014).

A partir de uma análise narrativa de literatura através de pesquisas de artigos que abordem essa temática foram realizadas de forma virtual, por meio de bibliotecas e plataformas digitais, por impossibilidade de acesso a bibliotecas públicas e/ou universitárias por conta das medidas restritivas aplicadas pelo governo por razão da pandemia da COVID-19. Sendo assim, buscando apontar as principais soluções para a avaliação de vulnerabilidade de recursos hídricos subterrâneos, o presente estudo busca a identificação do estado da arte dessa temática.

2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos serão abordados nessa seção.

2.1 Objetivo Geral

Aplicar o método de revisão narrativa de literatura para identificar o estado da arte de avaliação de vulnerabilidade como forma de ferramenta no auxílio de uma gestão de recursos hídricos subterrâneos.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar ampla pesquisa de publicações científicas relacionadas a métodos de avaliação de vulnerabilidade de recursos hídricos subterrâneos;
- b) Avaliar a utilização desses métodos em uma gestão de recursos hídricos subterrâneas;
- c) Identificar inovações das metodologias de avaliação de vulnerabilidades aplicadas em uma gestão e no planejamento de recursos hídricos subterrâneos;
- d) Analisar as técnicas identificadas mediante a sua contribuição ao tema envolvido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir será abordado o embasamento teórico que respalda o referido estudo.

3.1 Geotecnologias na gestão dos recursos hídricos

Uma gestão eficaz necessita de uma gama de dados de forma que estejam sempre atualizados, garantindo assim informações confiáveis a serem aplicadas, com isso torna-se possível que a sociedade esteja com sua qualidade de vida resguardada, resultando também que tal gestão possa vir a se desenvolver de forma organizada (GONÇALVES, 2007).

As características e avaliação ambiental dos recursos hídricos subterrâneos cercam contínuas avaliações e monitoramentos envolvendo parâmetros físicos e químicos, parâmetros esses que são utilizados para conceituar os comportamentos do ambiente do sistema e armazenados em formatos e escalas diversas, como mapas e bancos de dados (CRIOLLO et al., 2019).

As informações geográficas para análise de acontecimentos da superfície terrestre são bastante utilizadas a partir de processos adquiridos por geotecnologias. Segundo Marquezini (2012), no que diz respeito aos recursos hídricos subterrâneos, as geotecnologias representam um instrumento de importante auxílio para o gerenciamento de um recurso vulnerável.

O termo geotecnologias pode ser definido como a junção de tecnologias de coleta, edição, processamento, análise e a disponibilização de informações e dados geográficos (SILVA, 2016). Encontramos dentro dessa conjuntura o geoprocessamento e a constituição de Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

Os SIG surgiram trazendo um importante avanço como processos inovadores nas gestões. Esses sistemas são definidos por um conjunto de hardwares, softwares e dados geográficos que buscam demonstrar uma representação gráfica, relacionando com tipos de dados de localização geográfica, buscando também a captura, manipulação, armazenamento, análise e o fornecimento de informações lógicas e concretas (TAPIERO et al., 2021).

A utilização de recursos computacionais para análise dos acontecimentos do meio urbano se torna uma possibilidade uma simulação dos processos diversos que

ocorrem neste meio, levando em consideração o crescimento urbano como o uso da terra (ALMEIDA, 2007).

As geotecnologias têm sua utilização em planos de gestão e, segundo Trevisan e Matias (2009), esse tipo de ferramenta pode ser utilizado em vários segmentos dentro de uma prefeitura, para a elaboração de projetos tanto em níveis gerenciais, como em nível de estratégias de uso.

As possíveis aplicações das ferramentas das geotecnologias e as ações de planejamento, monitoramento e gestão na busca de levantamento das características dos espaços geográficos das áreas rurais e as urbanas possibilita a obtenção de um melhor resultado se estiver associado a um SIG.

Dentro de um plano de gestão as águas se tornam um dos recursos naturais com maior aspecto, com isso o uso de geotecnologias vem como um auxílio para o tratamento e qualquer meio de prevenção relacionado a esse recurso, podendo ser utilizada para análise de quantidade e qualidade de recursos hídricos.

Os processos aplicados a geotecnologia vêm a contribuir como uma importante ferramenta em várias temáticas dentro de uma gestão de recursos hídricos, permitindo assim que os dados adquiridos possam ser analisados, e obter a partir desses dados, respostas de forma rápida e eficiente, para que os gestores possibilitem de forma hábil uma aplicabilidade eficaz.

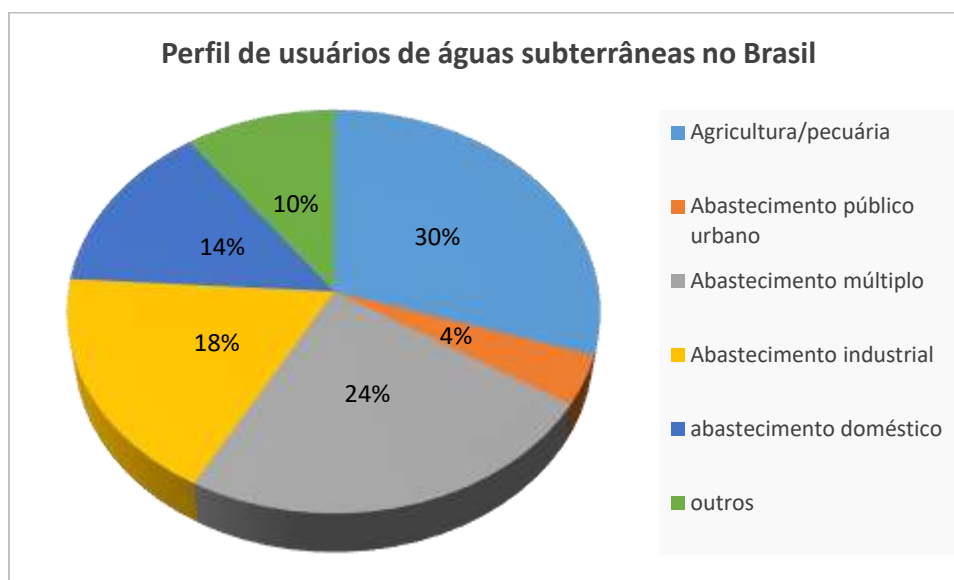
3.2 Especificidades da gestão de Águas Subterrâneas

Segundo Hirata et al. (2019), as águas subterrâneas são aquelas que se encontram abaixo da superfície do solo, preenchendo completamente os poros das rochas e dos sedimentos, e constituindo assim os chamados aquíferos. A água subterrânea é uma reserva hídrica de grande proporção disponível no planeta, corresponde a maior parte de toda reserva de água doce do planeta, sendo aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas de rios e lagos.

Os recursos hídricos subterrâneos são extremamente essenciais para a sobrevivência da vida e, diferentemente das águas superficiais, a sua qualidade e seu uso não têm um diagnóstico fácil de obter. Por essa razão esse recurso tem sido desprovido de políticas públicas que possam despontar a sua importância econômica e ambiental. Essa falta de informação faz com que esses aquíferos se tornem mais vulneráveis à contaminação e tenham mal-uso. Como resultado tem-se uma

exploração desenfreada deste recurso em todo o mundo. No Brasil esse recurso tem uma destinação bastante diversificada (Figura 1).

Figura 1 - Perfil de usuários de águas subterrâneas no Brasil



Fonte: Dados CPRM 2018, adaptado de Hirata et al. (2019).

A perspectiva da utilização consciente dos recursos hídricos surge a partir da devida importância de uma gestão como uma prática de desenvolvimento com intuito de defesa e de orientação em relação as inúmeras formas de utilização desses recursos naturais dentro de um espaço delimitado. (DUCA et al., 2017).

A gestão de recursos hídricos se torna uma ferramenta capaz de criar e aperfeiçoar programas, políticas e instituições para um acompanhamento e estudos voltados a elaboração de soluções eficazes e sustentáveis.

Segundo a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH):

Até recentemente, principalmente em nosso país, a água era considerada como um recurso natural renovável, em geral farto e abundante, e que poderia atender, sem restrições, a quase todas as necessidades que dele viessem a ser requeridas. Sua carência era sentida apenas nas regiões semiáridas, fato considerado grave, mas natural. Entretanto, a partir da Conferência de Dublin, em janeiro de 1993, a água passou a ser considerada como um recurso finito e, sobretudo, vulnerável (ABRH, 2021).

A base das gestões de recursos hídricos obedece alguns princípios que integram, articulam e servem de apoio com uma abordagem integrada, uma articulação entre as diferentes entidades intervenientes, reconhecer a água como um

bem econômico e uma melhor supervisão e controle do sistema de gestão pelo poder público. (PEIXINHO, 2011).

O princípio de uma gestão integrada se encontra intrinsecamente associada à atuação da Agência Nacional de Águas-ANA, que vem desenvolvendo reuniões em todos os estados brasileiros, com objetivo de conhecer o cenário de gestão integrada aos recursos hídricos no território brasileiro. Esses eventos realizam diagnósticos dos graus de implementação das ferramentas da Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH, implementada no ano de 1997 pela Lei 9.433, como o plano de recursos hídricos, outorga de direito de uso e sistemas de informações sobre recursos hídricos. Combinado a esses dados, há um levantamento do quadro de pessoas que trabalham com esses recursos e a capacitação dos órgãos gestores (OLIVEIRA et al., 2015).

A Lei dos Recursos Hídricos vem ao encontro os aspectos dos modelos dos sistemas de integração participativa, onde requer os instrumentos de formas legais para que possa utilizada sua implementação. Essa lei agrupa princípios, normas e padrões a serem utilizados numa gestão que já são praticados em muitos outros países. Entre esses princípios estão inclusos (BORSOI & TORRES, 1997):

- A bacia hidrográfica como unidade para implementação da PNRH e as atividades de gestão;
- Gerenciamento desses recursos para aplicabilidade das inúmeras formas de utilidades dessas águas;
- Água como recurso limitado;
- A participação do governo nesse gerenciamento desse recurso
- Água como propriedade pública;
- Quando for períodos de escassez, seu destino for prioritário para uso humano e de animais.

A criação da ANA em 2000, foi um grande passo para a colaboração popular, acadêmica e técnica no gerenciamento dos recursos hídricos por meio do Conselho Nacional e Estadual de Recursos Hídricos.

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo de Estudo

O método utilizado no estudo trata-se de uma revisão narrativa de literatura (RNL), cuja finalidade é reunir e concentrar, por uma análise ampla da literatura e sem estabelecer uma forma de metodologia mais rigorosa e replicável, de resultados de dados e respostas quantitativas de um determinado questionamento específico, de forma teórica ou conceitual. Segundo Rother (2007), constituem, basicamente, de análise da literatura publicada em livros, artigos de revista impressas e/ou eletrônicas na interpretação e análise crítica pessoal do autor.

Nessa metodologia as coletas de dados ocorrem por adotar um instrumento já existente, onde já se foi validado em pesquisas anteriores, no que possibilita o pesquisador a se conter apenas em coletar e analisar os dados pesquisados, assim permite uma segurança de que o instrumento não apresentará algum tipo de inconsistência conceitual ou de dados (LAKATOS & MARCONI, 2010).

4.2 Detalhamento do processo de seleção de artigos

Durante o processo para a seleção dos artigos, com a temática de avaliação de vulnerabilidade como ferramenta de apoio a gestão de recursos hídricos subterrâneos e a utilização das geotecnologias como fonte de colaboração de uma gestão de qualidade, foram utilizadas bases de dados nacionais e internacionais, no período dos últimos cinco anos (2016-2021). Por impossibilidade de acesso a bibliotecas públicas e/ou universitárias por conta das medidas restritivas aplicadas pelo governo por razão da pandemia da COVID-19, toda a pesquisa foi realizada de forma virtual, por meio de bibliotecas e plataformas digitais. As bases de dados científicas utilizadas para pesquisa foram: Periódicos Capes, um portal criado em 2000 pelo Ministério da Educação (MEC) que trata-se de uma biblioteca virtual que disponibiliza e reuni produções científicas nacionais e intranacionais, biblioteca eletrônica *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), também se trata de uma biblioteca virtual de livre onde permite acesso de publicações digital de periódicos científicos, e Revista das águas subterrâneas ABAS.org, que é uma publicação da

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) onde se divulga publicações de artigos científicos relacionados a hidrogeologia.

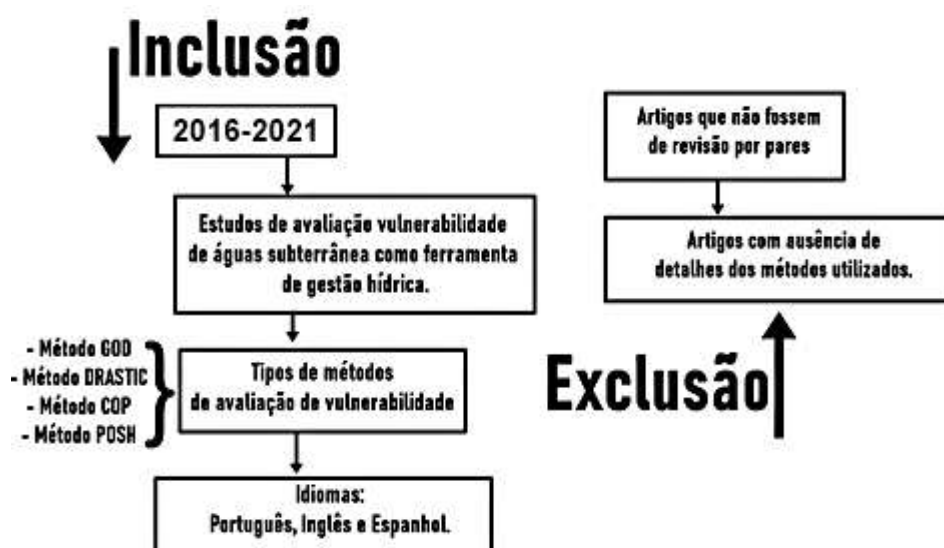
Todas as pesquisas foram realizadas a partir de palavras-chaves como “gestão de recursos hídricos”, “avaliação de vulnerabilidade de recursos subterrâneos”, “águas subterrâneas”, “sistema de informação geográfica”, “geotecnologias”, “recursos hídricos subterrâneos”, “geoprocessamento em recursos hídricos”.

Buscou-se embasamento dos autores que se propuseram a concentrar-se em discussões sobre as metodologias de vulnerabilidade de aquíferos com o auxílio de técnicas de geotecnologias como fonte de colaboração para planejamento e gestão de recursos hídricos subterrâneos, assim utilizando autores que pesquisaram e realizaram estudos de casos que pudessem demonstrar que as metodologias fossem eficazes para o seu destino final, auxiliar uma gestão de águas subterrâneas eficazes. A busca resultou em uma lista de referências autorais diversificadas e no qual o seu período de pesquisa e estudos estivessem sido realizados nos últimos 05 anos (2016-2021).

A busca realizada proporcionou 98 referências sobre as palavras-chaves utilizadas, das quais 30 publicações foram de fato utilizadas na revisão, entre artigos de abordagem teóricas e estudos de casos.

Como critério de inclusão foram selecionados artigos originais completos, que tratavam de métodos de avaliação de vulnerabilidade que podem ser utilizados como ferramentas de uma gestão de águas subterrâneas, e que os resultados desenvolvidos pudessem ter aplicabilidades em gestões e planejamento desse tipo de recurso. Foram considerados critérios de exclusão os artigos aos quais não dispuseram de descrições mais detalhadas dos processos utilizados pelos métodos de avaliação de vulnerabilidade e como também artigos de anos que divergissem dos anos pré-determinados em nossa seleção de revisão (Figura 2).

Figura 2-Critérios de inclusão e exclusão utilizados.



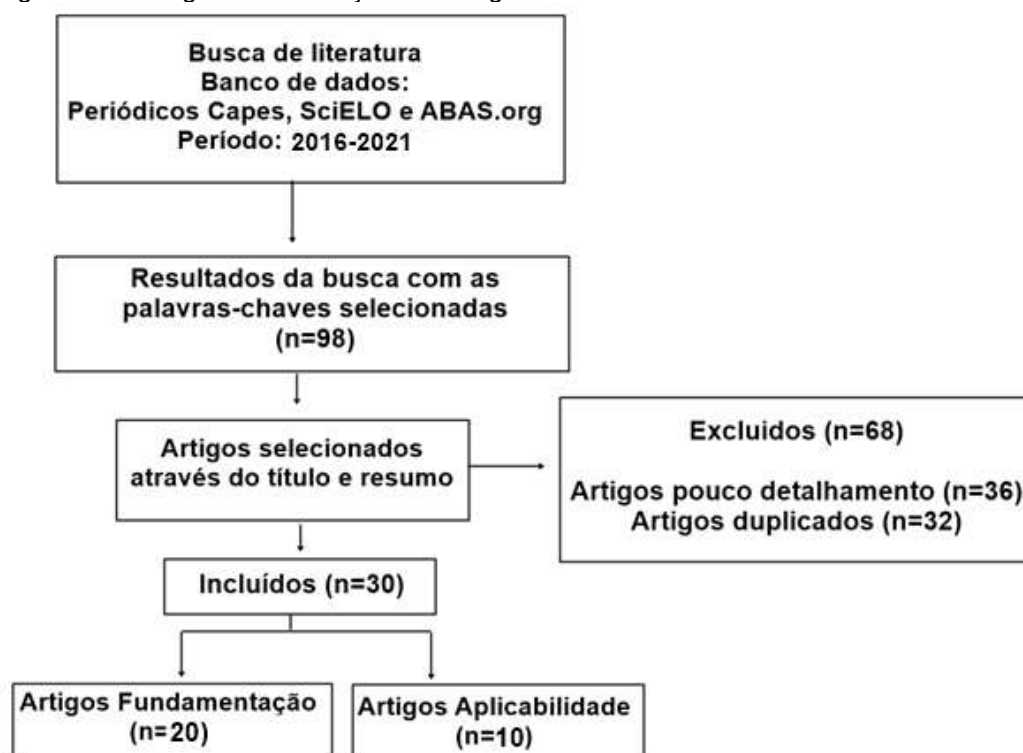
Fonte: Autora (2021).

Com o processo metodológico utilizado na obtenção das pesquisas realizadas foram selecionados dois grupos para melhor viabilidade de organização e a leitura dos temas que se relacionam com a temática levantada. O primeiro grupo estabelecido se fez a partir da literatura com a fundamentação teórica de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e a aplicabilidade de geotecnologias utilizadas na gestão hídrica subterrânea, onde denominamos de “Fundamentação”. E o segundo grupo foi estabelecido a partir de estudos de casos com a aplicabilidade das geotecnologias, para análise dos resultados obtidos, denominado por “Aplicabilidade”.

No grupo de aplicabilidade encontra-se 10 artigos relacionados a metodologias de vulnerabilidades utilizadas em tecnologias SIG para a análise de níveis de contaminação das águas subterrâneas. Quatro desses artigos estão relacionados com a metodologia GOD, um de metodologia DRASTIC, dois de metodologia GOD relacionado com o método POSH, dois de comparações de métodos e dois de metodologia COP (tabela 1).

Toda metodologia aplicada na seleção dos artigos pode ser descrita através do fluxograma abaixo:

Figura 3 - Fluxograma da seleção dos artigos de inclusão na revisão narrativa de literatura.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 1 – Grupo de aplicabilidade de artigos selecionados à análise.

Grupo de Aplicabilidade:	
Nº Artigos	Temática do Artigo
03	Metodologia GOD na vulnerabilidade de aquíferos.
01	Metodologia DRASTIC na vulnerabilidade de aquíferos.
02	Relação dos métodos GOD e POSH na vulnerabilidade de aquíferos.
02	Comparações de metodologias na vulnerabilidade de aquíferos.
02	Metodologia COP na vulnerabilidade de aquíferos.

Fonte: Autora (2021).

4.3 Levantamento da pesquisa - Motivações

Realizando a revisão narrativa da literatura as etapas foram divididas, e durante a sua elaboração os seguintes questionamentos foram cruciais para a escolha do material a ser analisado:

- Os métodos selecionados são capazes de auxiliar uma boa gestão de recursos hídricos subterrâneos?
- Que tipo de resultado esses métodos seriam obtidos?
- Qual o melhor local a ser aplicado cada método selecionado?
- Os resultados obtidos em SIG auxiliam uma gestão de recursos hídricos?
- São ferramentas de fácil aplicabilidade?

Com base nos questionamentos citados acima, as respostas obtidas nas pesquisas realizadas fomentaram uma visão mais detalhada do objetivo da pesquisa, uma vez que, analisando cada método baseado nas perguntas formadas contribuiu-se então para a viabilidade em determinar cada detalhe inicialmente definido e assim classificando cada método com os resultados, no intuito de obter consistência na proposta.

5 RESULTADOS

A partir da observação efetuada neste estudo, verificou-se que vários métodos e técnicas de avaliação de vulnerabilidade vem sendo elaborados e aplicados, em vários locais no mundo. De acordo com Ribeiro (2005), a grande maioria dos métodos de avaliação da vulnerabilidade possuem uma natureza empírica, o que é veículo para o surgimento de um vasto leque de diferentes interpretações por diferentes técnicos. A partir de uma análise criteriosa de artigos de avaliação de vulnerabilidade de aquíferos foram selecionados 10 artigos para compor o corpo desse trabalho, abordando essas metodologias aplicadas na gestão de recursos hídricos subterrâneos, conforme pode-se verificar na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição de objetivos, locais e tipo dos estudos incluídos nessa revisão narrativa de literatura.

Autor	Objetivo	Local	Tipo de estudo
SILVA et al. (2020)	Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia no Rio Pirangi/RN utilizando os Métodos GOD, DRASTIC e IS.	Rio Grande do Norte	Estudo de Caso e Notas Técnicas
GASSER et al.(2018)	Avaliação da vulnerabilidade intrínseca a contaminação do aquífero cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia utilizando o método GOP.	Bahia	Estudo de Caso e Notas Técnicas
RIOS RABELO (2021)	E Aplicabilidade do método GOD combinado com o método POSH para avaliação da situação natural, do potencial e do perigo à contaminação existente em uma dada região.	Bahia	Estudo de Caso
JARRÍN et al. (2017)	Avaliação de uma sobreposição de mapa de vulnerabilidade pelo método GODS com um inventario das cargas de poluentes pelo método POSH e a partir dos resultados priorizar medidas de prevenção do recurso.	Equador	Estudo de Caso
DUARTE et al (2016)	Análise de vulnerabilidade das águas subterrâneas pelo método GOD.	Amazônia	Estudo de Caso
BATISTA et al. (2017)	Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero.	Minas Gerais	Estudo de Caso
BORGES et al. (2017)	Comparação de resultados de vulnerabilidade de águas subterrâneas à poluição pelos métodos GOD e DRASTIC.	Paraná	Estudo de Caso
SIMBE et al. (2019)	Utilização do métodos DRASTIC e DRASTIC modificado para avaliação de vulnerabilidade de águas subterrâneas.	África	Estudo de Caso
KEMERICH et al. (2020)	Análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir dos métodos GOD e DRASTIC.	Rio Grande do Sul	Estudo de Caso
JESUS et al. (2019)	Análise de vulnerabilidade de aquífero cárstico pelo método PI e COP.	Bahia	Estudo de Caso

Fonte: Autora (2021)

Os artigos selecionados destacam as metodologias GOD, DRASTIC e COP que foram analisados nessa revisão narrativa de literatura.

O método GOD é possível realizar uma avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero analisando e atribuindo valores para cada ponto de observação (o poço) levando em consideração cada parâmetro contemplado no método. Os indicadores presentes neste método são os seguintes: grau de confinamento do aquífero (G), Litologia e seu grau de consolidação na zona vadosa ou camadas confinantes (O) e a profundidade do nível freático do aquífero (D), assim definindo o grau de vulnerabilidade GOD, desde insignificante ($< 0,1$) até extrema ($> 0,7$).

Tabela 3 –Classes de vulnerabilidade à contaminação de aquífero pelo método GOD.

Valor GOD	$< 0,1$	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7	$> 0,7$
Vulnerabilidade	Insignificante	Baixa	Média	Alta	Extrema

Fonte: Silva et al. (2020).

Com o método DRASTIC é possível realizar uma avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero, neste método é considerado sete parâmetros: profundidade do nível freático do aquífero (D), recarga (R), litologia do aquífero (A), tipo do solo (S), topografia (T), impacto da zona não saturada (I) e condutividade hidráulica (C) (SILVA et. al., 2020).

Esses parâmetros têm valores atribuídos que variam de 1 a 10, e posteriormente multiplicado por um determinado peso, que varia de 1 a 5. Definido assim o grau de vulnerabilidade do aquífero, que obtêm resultados de baixa vulnerabilidade (< 150) até muito alta (> 199) (tabela 2).

Tabela 4 –Classes de vulnerabilidade à contaminação de aquífero pelo método DRASTIC.

Valor DRASTIC	< 120	120 - 159	159 - 199	> 199
Vulnerabilidade	Baixa	Intermediária	Alta	Muito Alta

Fonte: Silva et al. (2020).

O método COP é uma metodologia utilizada em aquíferos cársticos, considerando diferentes graus de carstificação e sistemas de fluxo, podendo ser aplicados em diferentes tipos de climas, considerando três parâmetros hidrogeológicos para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos para condições específicas de: Concentração do Fluxo (C), Cobertura da zona saturada (O) e Precipitação (P).

Tabela 5 – Intervalos e classes de vulnerabilidade do Método COP.

Índice COP	Classe de vulnerabilidade
[0 - 0,5]	Muito alta
[0,5 - 1,0]	Alta
[1,0 - 2,0]	Moderada
[2,0 - 4,0]	Baixa
[4,0 - 15]	Muito baixa

Fonte: Adaptada de Villanueva et al. (2015).

6 DISCUSSÃO

Com a exploração exacerbada das águas subterrâneas, o uso descontrolado do solo e o descumprimento de leis de conservação, a resultante tem se apresentado de modo negativo, colocando em risco a qualidade natural desses recursos hídricos.

Dentro dessa temática, a vulnerabilidade passa a ser entendida como a suscetibilidade dos aquíferos possuem de serem afetados pelas cargas de contaminantes (BATISTA, et al., 2017). Há diversos tipos de formas de origem dessas contaminações que as águas subterrâneas estão suscetíveis de ocorrer.

Figura 4 - Exemplos de fontes de contaminação de águas subterrâneas.



Fonte: Foster et al. (2006).

6.1 Avaliação de vulnerabilidade

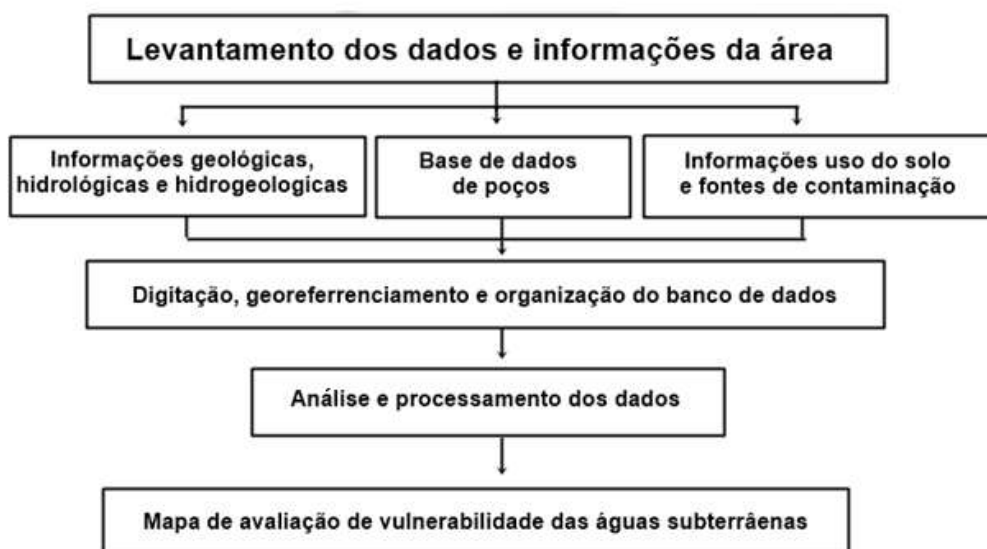
A avaliação de vulnerabilidade é uma importante estratégia para o conhecimento e análise de áreas que estão sujeitas a contaminação. A utilização de mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos é uma ferramenta útil e eficaz na prevenção do processo de contaminação.

A exploração dos artigos selecionados nessa revisão nos permite observar a aplicação de metodologias de análise de vulnerabilidade, para isso foi verificado a formação de algumas etapas:

- a) Levantamento de informações de estudos geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas da área estudada;
- b) Levantamento de informações sobre uso do solo e possíveis fonte de contaminação da área;
- c) Selecionar o método de avaliação de vulnerabilidade do aquífero, através das informações disponíveis e do custo de aplicabilidade de cada método;
- d) Digitação, georreferenciamento e organização do banco de dados das informações previamente levantadas;
- e) Organização dos dados nos softwares de SIG para análise e processamento para a elaboração dos mapas de análise de vulnerabilidade.

O fluxograma da metodologia pode ser observado na figura 4:

Figura 5 – Metodologia empregada na análise de vulnerabilidade dos aquíferos.



6.2 Metodologias de vulnerabilidade

Ao analisar a vulnerabilidade inicialmente destacamos dois tipos de vulnerabilidade: a intrínseca e a específica, onde a intrínseca destaca as características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas no meio e a específica é definida pelos impactos do uso do solo e dos contaminantes associados.

Para a realização da análise da vulnerabilidade do aquífero a modo de contaminação, encontra-se na literatura diversos métodos, algumas dessas metodologias se utilizam de sistemas paramétricos como indicadores de vulnerabilidade e aplicando em seu espectro valores e interações para a produção do índice de vulnerabilidade absoluto ou relativo, como pode ser observado nos métodos GOD (FOSTER & HIRATA, 1988), DRASTIC (ALLER et al., 1987) e COP (VÍAS et al., 2002, 2006). Com o objetivo de entender e avaliar essa vulnerabilidade diversos artigos foram analisados, procurando compreender melhor a técnica e observar os resultados obtidos, com a finalidade extrair o melhor aproveitamento de cada um deles. Avaliando os artigos conclui-se que, para cada metodologia analisada existe uma aplicabilidade para avaliação quanto aos tipos de vulnerabilidade e seus fatores de análises.

Tabela 6 - Métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos

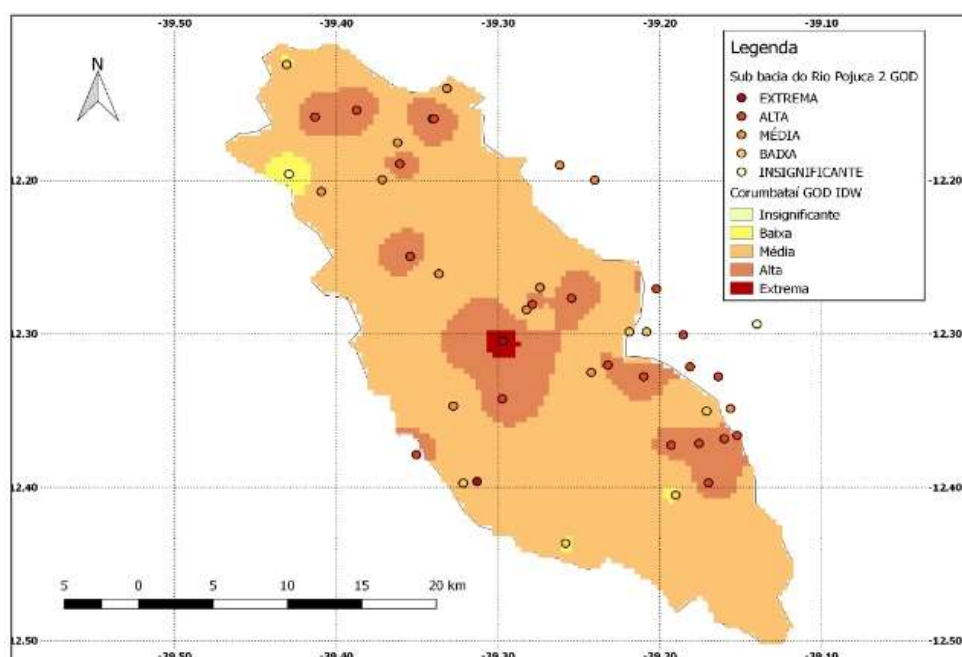
Método	Avaliação	Parâmetros	Referência
GOD	Vulnerabilidade intrínseca e específica	- G Tipo de aquíferos - O Litologia zona vadosa - D Profundidade da água	FOSTER & HIRATA, (1988)
DRASTIC	Vulnerabilidade intrínseca e específica	- D Profundidade água subterrânea - R Recarga - A Meio aquífero - S Solo - T Topografia - I Impacto no aquífero - C condutividade hidráulica	ALLER et al., (1987)
COP	Vulnerabilidade intrínseca	- C Concentração do Fluxo - O Cobertura da Zona Saturada - P Precipitação	VÍAS et al., (2002, 2006)

Fonte: Adaptado de Chrispim, (2016).

A escolha sobre qual metodologia é mais adequada e/ou eficaz a ser utilizada na avaliação da vulnerabilidade, está relacionada principalmente aos tipos de dados disponíveis e das características da região a serem aplicadas.

O grau de detalhes de avaliação vai depender do objetivo que se está buscando, existem metodologias que não necessitam de uma quantidade diversa de parâmetros, como o método GOD, os artigos selecionados mostraram que este método, bastante utilizado na América Latina, possui uma simples operação, além de um baixo custo em sua aplicação. Conforme Batista et al. (2017), Duarte et al. (2016) e Rios e Rabelo (2021) demonstraram em seus estudos que o método GOD se mostra uma alternativa à ausência de uma base de dados mais completa, devido à simplicidade de parâmetros, além de permitir uma boa espacialização dos dados em SIG, obtendo resultados claros indicando a potencial vulnerabilidade natural à contaminação. Mostrando assim, que o método GOD se permite uma simples e rápida percepção dos fatores que determinam as classes de vulnerabilidade de uma determinada região.

Figura 6 –Mapa de vulnerabilidade da sub bacia do Rio Corumbataí/BA.



Fonte: Rios e Rabelo (2021).

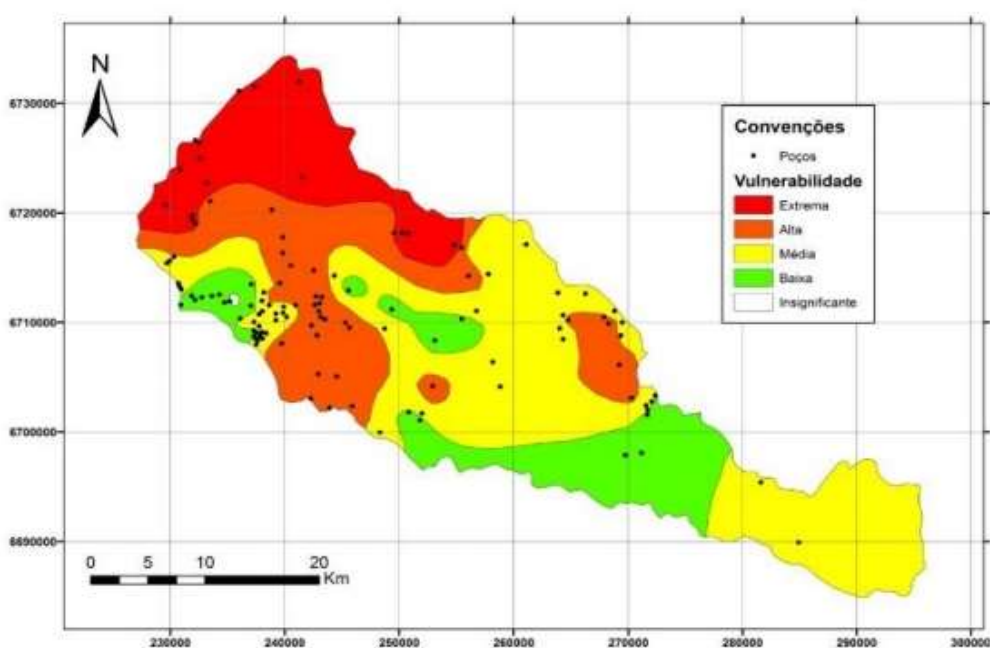
Verificou-se que outros métodos necessitam de mais parâmetros para sua aplicabilidade, como por exemplo no método DRASTIC, considerado um método relativamente barato e simples, pode apresentar essa maior precisão dos resultados, como demonstra Borges et al. (2017) em seu estudo no aquífero Serra Geral no Paraná, onde analisou uma mudança de níveis de vulnerabilidade entre os métodos GOD e DRASTIC aplicados na mesma área de estudo, ambos os métodos se mostraram

capazes de fornecer subsídios para auxiliar os gestores nas tomadas de decisões em relação os recursos hídricos subterrâneos, no entanto, o método DRASTIC apresentou maior precisão nos resultados por analisar mais parâmetros em sua análise, como destaca também o estudo de Kemerich et al. (2020).

Parâmetros como análise de tipo de solo permite que a metodologia DRASTIC determine áreas com diversas formas e ocupações de uso com uma potencial fonte de contaminação, como locais com práticas de agricultura, além de existência de locais com fossas sépticas e cemitérios na área urbana, como mostra o estudo de Simble et al. (2019) em que se obteve resultados que permitem o instituir protocolos favoráveis a proteção das águas subterrâneas.

Kemerich et al. (2020) destacou que, na obtenção dos dados para a avaliação do método GOD, não necessita necessariamente de obtenção de informações de campo por conta dos parâmetros de análise utilizados na metodologia, porém comparando com o método DRASTIC em seu estudo se fez necessário de dados de análise de campo, por razão dos parâmetros relacionados com o tipo solo, por isso se faz necessário mais tempo de realização e um maior acréscimo de custos financeiros.

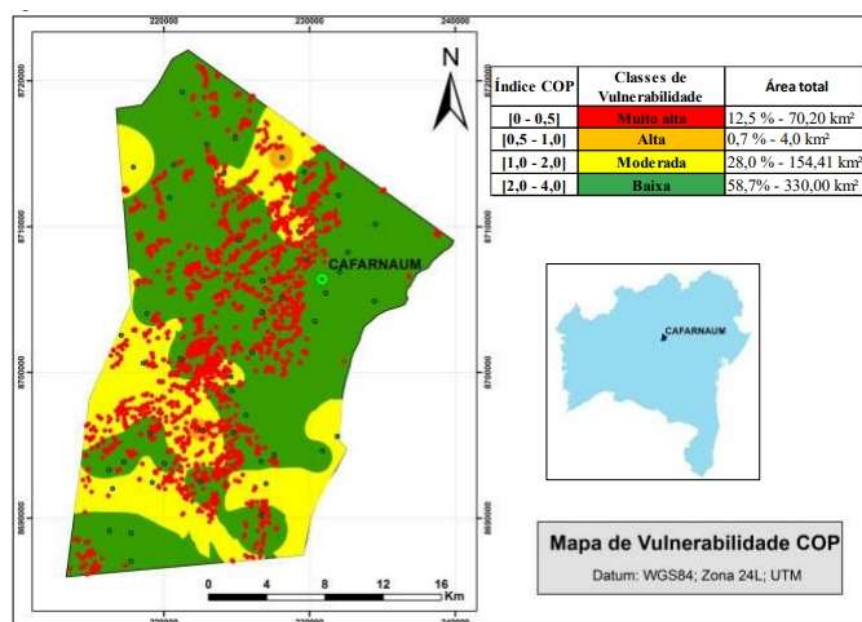
Figura 7 - Estimativa da vulnerabilidade pelo método DRASTIC, bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim/RS.



Fonte: Kemerich et al. (2020).

Alguns métodos avaliam a vulnerabilidade intrínseca à contaminação em aquíferos cársticos, onde sua formação geológica é formada geralmente por rochas de forma carbonadas com cavidades por vezes de grandes dimensões, e que permitem um rápido escoamento subterrâneos. Esses tipos de aquíferos cársticos correspondem $\frac{1}{4}$ (um quarto) de abastecimento proveniente de águas subterrâneas no mundo, um método desenvolvido para aplicação dessa vulnerabilidade em ambientes cársticos é o COP (VÍAS et al., 2006). O método COP é uma metodologia utilizada em aquíferos cársticos, como no Brasil não encontramos metodologias específicas que determinem o grau de vulnerabilidade intrínseca de aquíferos cársticos, Gasser et al. (2018) e Jesus et al. (2019) em seus estudos demonstrou que a utilização do método COP para avaliar a vulnerabilidade intrínseca obteve-se resultados satisfatórios nesse tipo de região, por considerar diferentes níveis de carstificação e sistemas de fluxos, demonstrando que o método é mais eficiente com uma área com um maior detalhamento de dados espaciais em relação, principalmente, no desenvolvimento da carster.

Figura 8 - Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação pelo método COP, Cafarnaum, Bahia.



Fonte: Gasser et al. (2018).

Tabela 7 -Métodos e parâmetros usados para avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas

PARÂMETROS	MÉTODOS		
	GOD	DRASTIC	COP
Topografia		x	x
Rede fluxo de água			x
Tipo de solo		x	x
Recarga		x	x
Zona insaturada	x	x	x
Profundidade de água	x	x	
Características Hidrogeológicas	x	x	
Condutividade hidráulica do aquífero		x	
Uso do solo			x

Fonte: Adaptado de Al-Adamat & Al-Shabeeb (2017).

6.3 Atualizações das metodologias de avaliação de vulnerabilidade

Nas últimas décadas tem-se verificado um crescente desenvolvimentos das metodologias e técnicas utilizadas no mapeamento de vulnerabilidades dos aquíferos. A necessidade de um sistema menos refinado e mais genérico vem sendo desenvolvido com o passar dos anos, tendo em vista um objetivo mais prático e a produção de um resultado mais claro e definidos das áreas de estudo.

Métodos mais tradicionais foram integrados a novos parâmetros e variáveis, com o objetivo de se ter resultados mais satisfatórios e acessíveis. Um exemplo desse contexto foi destacado por Rios e Rabelo (2021), onde demonstrou em seu estudo que a utilização do método mais tradicional GOD associado ao método POSH (FOSTER et al., 2006), que permite a avaliação as cargas contaminantes aplicadas ao subsolo resultante de ações antrópicas, como a metodologia GOD não permite a avaliação do uso do solo, o autor verificou que a utilização do método POSH permitiu realizar uma avaliação da vulnerabilidade numa área de atividades agrícolas, onde em geral possui grandes quantidades de agentes com potencial risco de contaminação nas águas subterrâneas, demonstrando que a utilização dos dois métodos de fácil aplicabilidade apresentaria resultados mais satisfatórios, e por tratar de uma região carente de dados geográficos com muitos detalhes e os resultados da associação dos métodos se mostraram satisfatórios. O estudo de Jarrín et al. (2017) também demonstrou que essa junção entre métodos, permite uma aplicabilidade em locais onde há riscos de contaminação antrópica. Em seu estudo foi utilizado o método POSH, associado o método GODS (CUSTODIO, 1995) (método GOD com uma modificação que inclui o

parâmetro S onde possibilita a avaliação da capacidade de atenuação do solo), obtendo assim resultados capazes de identificar a maior área de risco de contaminação e detectar que foram áreas onde possui a maior prática de atividades antrópicas em sua área.

Nessa mesma perspectiva de inclusão de novos parâmetros em métodos tradicionais foi verificado por Simbe et al. (2019) em que circunstâncias houve aplicação do método DRASTIC modificado, em que além dos sete fatores utilizados na metodologia foi incluído também os dois fatores a mais que correspondem ao uso e cobertura do solo. Com a metodologia DRASTIC foi possível efetuar a modelagem de um mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, na qual se apresentou quatro classes de vulnerabilidade a partir do método DRASTIC modificado, e a partir do resultado de cinco classes de vulnerabilidade, foi possível a elaboração de um mapa de risco de contaminação, inter-relação entre a vulnerabilidade intrínseca do aquífero e uma carga contaminante potencial, associada a uma atividade já existente na área, como mostra o artigo a produção agrícola industrial presente no local de estudo, saneamento básico precário, lixões, cemitérios e postos de combustíveis.

A partir da avaliação dos resultados da aplicação de novos parâmetros e variáveis nos métodos mais tradicionais dos estudos de Simble et al. (2019), de Jarrín et al. (2017) e Rios e Rabelo (2021) foi possível observar após uma análise da área de estudo e dos tipo e quantidade de dados que se tem disponível do local, os resultados satisfatórios na aplicabilidade de novos parâmetros ou associação de metodologias distintas, o que permitiu contribuir para a análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação, destacando que esses parâmetros e metodologias sejam de simples aplicabilidade e não se faça encarecer a análise.

6.4 Avaliação de vulnerabilidade e Geotecnologias

A geotecnologia apresenta um grande potencial em análises de vulnerabilidade de um aquífero, é uma ferramenta que produz resultados eficientes e capazes de identificar até grandes áreas com imagens de satélites e com fotografias aéreas, facilitando o processo de análise com resultados mais rápidos e econômicos.

A partir da análise dos artigos selecionados foi possível observar de modo mais conclusivo, que a aplicabilidade de metodologias de avaliação de vulnerabilidade com

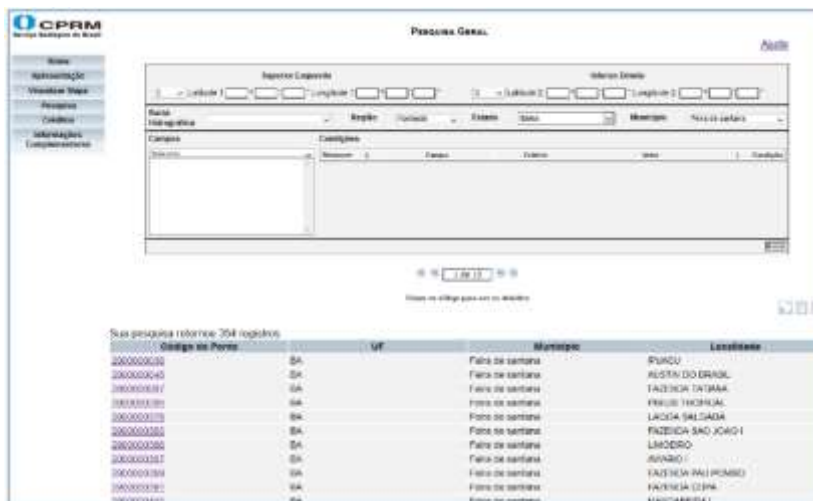
o uso de geotecnologias permite uma integração, geração e interpretação dos dados coletados, com o objetivo de execução de projetos de planejamento e preservação dos recursos hídricos subterrâneos mais susceptíveis à contaminação.

Os dados utilizados para a modelagem dessa avaliação de vulnerabilidade do aquífero em várias etapas são obtidos através de procedimentos cartográficos. A construção de uma base de dados cartográficas que contém as informações da área de estudo colaboram para a determinação dos índices de vulnerabilidade. Com a junção desses dados cartográficos aplicados no ambiente SIG permite de forma direta essa definição de vulnerabilidade de forma mais clara e eficaz.

Com a espacialização dos poços é possível gerar subsídios para esse planejamento. Batista et al. (2017) destaca em seu estudo que obteve os dados dos poços (grau de confinamento, litologia e profundidade do lençol freático) levantado em campo, dados esses georreferenciados com GPS de alta precisão, desta forma obteve-se uma espacialização correta no mapa, ressaltando a importância de deste georreferenciamento das informações de coordenadas e um armazenamento em um banco de dados geoespacial.

Dados utilizados para a realização da análise podem ser obtido em várias plataformas, Kemerich et al. (2020) e Rios e Rabelo (2021) utilizaram informações no portal de sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS) que é mantido pela companhia de pesquisas de recursos minerais (CPRM) no portal <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>. No SIAGAS é possível adquirir dados e informações georreferenciadas de pontos de águas subterrâneas permanentemente atualizadas.

Figura 9 -Interface do SIAGAS.



The screenshot shows the SIAGAS web interface with a search results table. The table has columns for 'Código do Poço', 'UF', 'Município', and 'Localidade'. Below is the data extracted from the table:

Código do Poço	UF	Município	Localidade
200000030	BA	Faixa de santana	PURCU
200000040	BA	Faixa de santana	AUSTIN DO BRASIL
200000087	BA	Faixa de santana	FACERICA DO BRASIL
200000100	BA	Faixa de santana	FRALDO TARDAL
200000110	BA	Faixa de santana	LACIDA SALGADA
200000150	BA	Faixa de santana	FIDEIRA SAO JOAO I
200000380	BA	Faixa de santana	LIMODERO
200000387	BA	Faixa de santana	JUARDI
200000389	BA	Faixa de santana	TATIANA (A) PRIME
200000391	BA	Faixa de santana	FALINCA (CPA)
200000392	BA	Faixa de santana	MAITABESULA

Fonte: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>

Outro destaque é a utilização do SIG com as técnicas de sensoriamento remoto, essa junção auxilia no desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos subterrâneos, permitindo ao a influência mútua do ambiente superficial com o subterrâneo, além de garantir que as informações necessárias de forma mais acessíveis e com dados de qualidade e atualizados.

Gasser et al. (2018) e Silva et al. (2020) em seus estudos, agregaram um banco de dados de imagens de diversos satélites e empresas como exemplo Esri, Digital Globe, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo serviço *Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS)*.

Dados topográficos do Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital do Terreno (MDT) podem ser obtidas como descreve Silva et al. (2020), Gasser et al. (2018) e Simbe et al. (2019) pelo projeto *Shutter Radar Topography Mission (SRTM)* disponibilizados pelo USGS, no portal <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Borges et al. (2017) destaca a escala dos mapas que estão relacionadas de forma direta com o grau de detalhamento, mapas com escalas menor (1:1000.000) permitem uma visão mais geral dos parâmetros hidrogeológicos que viabilizam a avaliação da vulnerabilidade e mapas com escalas maiores (1:250.000 e 1:50.000) fornecendo uma visão mais detalhada e possibilitando sua aplicabilidade em estudos de proteção de águas subterrâneas. Em seu estudo Silva et al. (2020) utiliza os dados de bases cartográficas regionais (escala de 1:250.000) para obtenção de informações de recarga pluviais e tipos de solos, o que demonstra uma possível perda de acurácia devido a generalizações. Silva et al. (2020) destaca que apenas 1% do território nacional possui um mapeamento de escala de 1:100.000, o que dificulta a aquisição de bases cartográficas que permitam a análise da vulnerabilidade mais detalhada.

Após a formação de banco de dados do SIG, essas informações são inseridas em softwares de geoprocessamentos, Gasser et al. (2018) e Simbe et al. (2019) utilizaram ArcGis, já os estudos de Batista et al. (2017), Duarte et al. (2016), Jarrín et al. (2017) utilizou-se de softwares livres, nesse caso o Quantum GIS (QGIS), ao qual de acordo com Batista et al. (2017) possui mais recursos para a estética de mapas se comparado outros programas disponíveis no mercado. A escolha dos softwares livres de SIG em gestões onde se possuem orçamentos curtos é uma alternativa de baratear

o custo da análise em curso, tendo em vista que esses softwares livres são eficientes no processamento dos dados.

Batista et al. (2017) descreve que os dados plotados no mapa através do software de SIG é realizado a partir da interpolação dos dados dos pontos com índices conhecidos, permitindo assim estimar os índices de vulnerabilidade do local.

Para a interpolação dos dados espaciais podem ser efetuadas através do método Inverso da distância (*Inverse Distance Weighted* – IDW) como demonstrou Rios e Rabelo (2021) e Simbe et al. (2019), que se trata de uma metodologia que permite a atribuição de um peso em cada ponto da amostra do ponto vizinho em função da distância entre os pontos. Esse método é bastante utilizado em estudos de análise de vulnerabilidades de águas subterrâneas.

6.5 Métodos de avaliação de vulnerabilidade aplicados numa gestão de águas subterrâneas.

Os métodos de avaliação de vulnerabilidade descritos nessa revisão narrativa de literatura permitem a elaboração de mapas de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas como também a possibilidade de determinar as áreas que possuem uma suscetibilidade a contaminação e relacionar a vulnerabilidade com a presença de atividades que possibilitam essa contaminação, a fim de subsidiar medidas que permitem a prevenção de controle de uso e qualidade das águas subterrâneas. (RIBEIRO et al., 2011)

Com a análise dos artigos podemos concluir que, quanto a escolha dos métodos dependerá essencialmente de alguns fatores, sendo eles: do tipo de informação disponível do local à ser analisado, o objetivo que se deseja alcançar, a escala e os recursos que se tem disponível. Com isso, constata-se que, na elaboração de uma boa avaliação de vulnerabilidade é necessário se ter acesso a todos os fatores hidrogeológicos, para que o administrador possa obter informações necessárias ao qual lhe permitirá um melhor planejamento da exploração e preservação dos recursos hídricos existentes.

Silva et al. (2020) destaca que os mapas de vulnerabilidades são capazes de identificar áreas mais sensíveis à poluição para que se possa elaborar medidas restritivas ao uso e ocupação desse solo, como também a elaboração de bases

cartográficas com mais detalhes da área, com informações mais aprofundadas, como a identificação do tipo de atividade que está ameaçando com contaminantes as águas subterrâneas.

Crispim et al. (2016) destaca em seu estudo sobre a modelagem da vulnerabilidade das águas subterrâneas, que a construção desses mapas deve ser atualizados junto a prefeitura, com dados das perfurações de novos poços por meio de SIG, pois é de suma importância para um mapeamento de vulnerabilidade atualizado, auxiliar os gestores por uma ocupação de forma mais consciente quanto ao uso do solo, visando assim a preservação dos aquíferos. Mapas de vulnerabilidade em sua totalidade são elaborados a partir de dados durante a sua construção, no entanto tais dados se tornam temporal, por essa razão esses mapas devem ser atualizados por um período de tempo para que suas informações contidas possam ser utilizadas de forma mais eficaz pela gestão das águas subterrâneas (MEIRA et al., 2014).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos artigos selecionados nessa revisão narrativa de literatura possibilitou a apresentação de uma demonstração afirmativa de que todos os métodos analisados possuem resultados satisfatórios para a realização de uma avaliação de vulnerabilidade de aquífero, constituindo assim um valioso sistema para auxiliar às atividades de planejamento e análise de suscetibilidade ao risco.

Vários procedimentos cartográficos foram utilizados nas etapas da formulação de uma modelagem de análise de vulnerabilidade das águas subterrâneas. Uma base de dados cartográficos com informações do local de análise e a utilização do sensoriamento remoto ligado ao SIG mostra-se um excelente instrumento que facilita a modelagem da avaliação de vulnerabilidade.

Resultados mais eficientes e fidedignos estão diretamente ligados com a quantidade e qualidade das informações coletadas para o banco de dados utilizados nas metodologias. Dada assim a importância de programas governamentais que possibilitem um monitoramento desses recursos, de modo que, podemos destacar a importância de que os dados estejam atualizados para que se possa ter informações de fato eficazes em aplicabilidade na gestão de recursos hídricos subterrâneos.

Com os resultados encontrados foi possível constatar que a utilização das geotecnologias em metodologias de análise de vulnerabilidades à contaminação natural e antrópica dos recursos hídricos constitui uma das mais importantes etapas de uma gestão, sendo utilizada como forma de ferramenta e orientação para os gestores no monitoramento dos riscos de contaminação e a qualidade das águas subterrâneas, permitindo definir as áreas de maior risco e planejar a preservação e o controle de sua exploração. Sendo assim, a aplicação das metodologias analisadas para avaliação de vulnerabilidade, com espacialização e a ponderação dos parâmetros utilizados e aplicados em ambiente SIG, permite a construção de uma compreensão mais ampla e eficaz das áreas que possuem risco de contaminação, permitindo assim a aplicabilidade de índices no monitoramento dessa vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Recursos Hídricos **Institucional**. Porto alegre: ABRH. 2019. Disponível em: <https://site.abrhidro.org.br/regionais/quem-somos/>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H. & PETTY, R. J. 1987. **DRASTIC**: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. United States Environmental Protection Agency. EPA/600/2-85/018. pg. 29.
- ALMEIDA, C. M. D.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **O diálogo entre as dimensões real e virtual do urbano**. In: Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 19-31
- BATISTA, C S. P.; GESUALDO, G.C.; LEITE, P. C. C; LASTORIA, G.; GARCIA GABAS, S.; CAVAZZANA, G. H.; DE MENDONÇA CASADEI, J.; DE SOUZA AZOIA, T. Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em bacia hidrográfica. **Revista águas subterrâneas**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28686>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- BORGES, V. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná – Brasil. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 327–337, 2017. DOI: 10.14295/ras.v31i4.28857. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28857>. Acesso em: 15 ago. 2021
- BORSOI, Zilda Maria Ferrão; TORRES, Solange Domingo Alencar. A política de recursos hídricos no Brasil. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8 , p. [143]-165, dez. 1997.
- CHRISPIM; PEIXOTO, Z. M. **Análise da vulnerabilidade e caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da Bacia Sedimentar de Campos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes, 2016.
- CRIOLLO, R., VELASCO, V., NARDI, A., VRIES, L.M., RIERA, C., SCHEIBER, L., JURADO, A., BROUYÈRE, S., PUJADES, E., ROSSETTO, R., VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. **AkvaGIS: an open source tool for water quantity and quality management**. **Comput. Geosci.** 2019.127, 123–132 p. DOI:10.1016
- CUSTODIO GIMENA, Emilio. **Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución**. In: II Seminario Hispano – Argentino 120 sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica # 11:99-122. San Miguel de Tucumán: 1995.

DUARTE, M. L.; ZANCHI, F. B.; NEVES, J. R. D.; COSTA, H. S.; JORDÃO, W. H. C. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Rev. Ambient. Água** vol. 11 n. 2 Taubaté – Apr. / Jun. 2016

DUCA, T. D.; PIMENTEL, J. da S. Gestão e indicadores de abastecimento de água no setor urbano de lagoa real – bahia. **Revista Geopauta**. Bahia, 2017. V. 1, n.3, 38-57p.DOI: 10.22481/rg.v1i3.2046.

Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/2046>. Acesso em: 12 aug. 2021.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy**. In: Proceedings of International Conference: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. Noordwijk, Países Bajos. v. 38. 69-86p.1987.

FOSTER, S. et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. 2006. 144 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS **Technical Manual**, Lima, Peru. 81p.

GASSER, R. S.; MOREIRA CRUZ, M. J.; GONÇALVES, M. V. P. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca a contaminação do aquífero cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia. **Revista Águas subterrâneas**. São Paulo, 2018. v.32, n.1, 70–78p.DOI:10.14295/ras.v32i1.29090.

Disponível em:<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29090>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GONÇALVES, T. D. **Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal**. 2007, 101 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

HIRATA, R. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudos de casos no Estado de São Paulo**. 1994. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

HIRATA, R., SUHOGUSOFF, A., MARCELLINI, S., VILLAR, P., MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Instituto Trata Brasil, CEPAS|USP, 2019. 64p.

JESUS, T. C.; DA SILVA, H. M.; BASTOS LEAL, L. R. Vulnerabilidade do aquífero cárstico bambuí, bacia hidrográfica do baixo rio corrente, oeste da Bahia: aplicação dos métodos PI e COP. **Revista águas subterrâneas**. São Paulo, 2019.

Disponível em:<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29397>. Acesso em: 16 jun. 2021.

JARRÍN, A. E., SALAZAR, J. G.; MESTRE, M. M.-Fresneda Evaluación del riesgo a la contaminación de los acuíferos de la Reserva Biológica de Limoncocha, Amazonía

Ecuatoriana. **Revista Ambiente & Água [online]**. 2017. v.12, n.4, 652-665p. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-água.2030>.

KEMERICK, P. D. da C.; Martins, S. R.; Kobiyama, M.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; DE BORBA W. F.; DE SOUZA, E. E. B.; Fernandes, G. D. Análise da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea: comparativo entre a metodologia GOD e DRASTIC. **Journal volume & issue**. Vol. 06, no. 02, pp. 45 – 53.2020

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARQUEZINI, L. C.; LOPES, A. P; GALEMBECK, O. Aplicação de um sistema de informações geográficas na análise de outorga de recursos hídricos subterrâneos: um exemplo no município de Jundiá-SP. **Revista Águas Subterrâneas**, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27559>. Acesso em: 12 ago. 2021.

MEIRA, J. C. R.; DE-CAMPOS, A. B.; PEREIRA, L. C. Avaliação da vulnerabilidade, risco e perigo à contaminação de zona de recarga do aquífero guarani com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Revista Águas Subterrâneas**, 2014. v.28, n.1, DOI: 10.14295/ras.v28i1.27412. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27412>. Acesso em: 27 jul. 2021

OLIVEIRA, R. F. A DE.; PEREIRA, R.; DE CASTRO, V. L. L. Gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte: usos insignificantes. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28254>. Acesso em: 12 ago. 2021.

PEIXINHO, F. C. Gestão sustentável dos recursos hídricos. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22943>. Acesso em: 12 ago. 2021

RIBEIRO, L. F. T. **Um novo índice vulnerabilidade específico de aquíferos: formulação e aplicações**. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (SILUSBA), 7., 2005, Évora. Anais... Évora: [s.n.], 2005. p. 16.

RIOS, I. H. R.; RABELO, J. L. Estudo do risco de contaminação de aquíferos de sub-bacias baianas. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 35, n. 2, 2021. DOI: 10.14295/ras.v35i2.30054. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30054>. Acesso em: 15 ago. 2021

ROTHER, Edna Terezinha. **Revisão sistemática x revisão narrativa**. Editorial Acta paul. enferm. v. 20, n.2, V-Vi p. fev. 2007. DOI:10.1590/S0103-21002007000200001.

SILVA, J. M.; MELO, J. G. de; DINIZ FILHO, J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia no Rio Pirangi/RN utilizando os Métodos GOD, DRASTIC e IS. **Revista águas subterrâneas**. São Paulo, 2020. v.34, n.1, DOI: 10.14295/ras.v34i1.29786.

Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29786>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SILVA, M. S. **Sistemas de informações geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/93711>>.

SIMBE, M. P. T.; UAMUSSE, E. E.; UACANE, M. S. Avaliação do risco de contaminação da água subterrânea, no município de Xai-Xai, aplicando o método DRASTIC modificado (Moçambique) Revista **EDUCamazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente**, Humait, Amazonas, Brasil, Ano 12, Vol XXIII, Número 2, Jul - Dez, 2019 , p.331-348

TAPIERO, D. I. S.; VALENCIA, M. M. SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable. **riha**, La Habana , v. 42, n. 1, p. 68-80, abr. 2021. Disponível em <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000100068&lng=es&nrm=iso>. accedido en 12 agosto 2021. Epub 01-Mar-2021.

TREVISAN, Fernanda Lodi. **Geoprocessamento na administração municipal: análise sobre o processo de construção e atualização do cadastro imobiliário urbano nas prefeituras da região metropolitana de Campinas SP**. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2009.

VÍAS, J. M.; ANDREO, B.; PERLES, M. J.; CARRASCO, F.; VADILLO, I. & JIMÉNEZ, P. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Application in two pilot sites in Southern Spain. **Hidrogeology Journal**.