



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

SAMIRAMISTHAÍS SOUZA LINHARES

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE
AQUÍFEROS NO ESTADO DE SERGIPE E
MUNICÍPIO DE ARACAJU**

SÃO CRISTÓVÃO (SE)

JUNHO/2018

SAMIRAMISTHAÍS SOUZA LINHARES

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE
AQUÍFEROS NO ESTADO DE SERGIPE E
MUNICÍPIO DE ARACAJU**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos da Universidade Federal de Sergipe
para obtenção do título de Mestre em
Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

Co-Orientador: Prof. Dr. André Quintão de Almeida

Banca Examinadora: Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas
(Membro Interno)

Prof. Dr. José Batista Siqueira (Membro Externo)

SÃO CRISTÓVÃO (SE)

JUNHO/2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

L755a Linhares, Samiramisthaís Souza
Avaliação da vulnerabilidade de aquíferos no estado de Sergipe e município de Aracaju / Samiramisthaís Souza Linhares ; orientador Inajá Francisco de Sousa. – São Cristóvão, 2018.
95 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Recursos hídricos – Administração. 2. Hidrogeologia. 3. Aquíferos – Sergipe. I. Sousa, Inajá Francisco de, orient. II. Título.

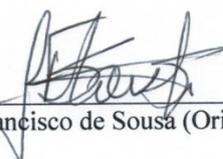
CDU 556.33(813.7)

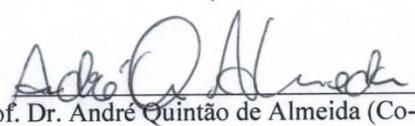
SAMIRAMISTHAÍS SOUZA LINHARES

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS NO ESTADO DE
SERGIPE E MUNICÍPIO DE ARACAJU**

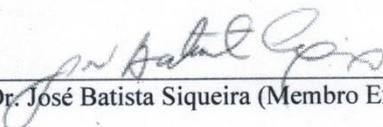
Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Recursos Hídricos.

APROVADA: 18 de junho de 2018.


Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (Orientador)


Prof. Dr. André Quintão de Almeida (Co-Orientador)


Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas (Membro Interno)


Prof. Dr. José Batista Siqueira (Membro Externo)

São Cristóvão (SE)

2018

Às minhas tias Eunice Linhares (*in memoriam*)
e Amália Linhares pelo caráter, dedicação e
exemplo da inesgotável força e perseverança
em busca dos seus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em meio a tanta turbulência, choros e risos, finalmente concluí essa etapa. Como o próprio nome diz, chegou a hora de reconhecer e manifestar gratidão a todos que participaram dessa longa fase.

A Deus, pai de infinita bondade, que em momento algum me desamparou, concedendo minha chegada até aqui... “Ninguém te explica, Deus”.

À minha tia Eunice (*in memoriam*) que, mesmo do outro lado, continua iluminando minha vida e protegendo meus caminhos. Toda e qualquer conquista será sempre em sua homenagem.

Agradeço profundamente a minha família que, acreditando no propósito das atividades acadêmicas, soube suportar meus períodos de tormenta interior, auxiliando, incentivando e apoiando em todos os momentos. Em especial, aos meus pais, Ana e Linhares, por toda dedicação, proteção e incentivo ao longo da vida. Vocês nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos, seria impossível ter chegado aqui se não fosse pela estrutura, persistência, amor e incentivo de vocês.

Aos meus irmãos, Douglas, que mesmo distante vibra por minhas conquistas, e a Diogo (Gordinho) pela paciência, compreensão, superproteção, brigas e ensinamentos.... Você nunca desistiu de mim, sempre foi mais eu, mesmo quando desacreditei e quis largar tudo. Esse título é nosso.

Aos meus sobrinhos, Danillo, Vallentina e Miguel, por proporcionar momentos de descontração e alegria.

À vó Iraci, pelas orações, estímulo e carinho.

À tia Amália pelo incentivo mesmo nos dias mais difíceis, sua persistência na vida me mostrou que tudo é possível, basta acreditar.

Ao meu namorado, José Nilton, amigo e parceiro, pela cumplicidade, paciência e por ter abraçado essa causa junto a mim. Em meio ao caos, você foi cais.

Aos meus tios (as), primos (as) e agregados pelo apoio.

Aos meus amigos que compreenderam minha ausência e me aturaram nessa fase, em especial a “cunhas” Karol e família, Rodrigo e Ludmilla.

Aos amigos da COHIDRO, pela disponibilidade dos dados e parceria, em especial aos, mais que chefes, amigos, José Albuquerque Cunha e Paulo Sobral. Agradeço aos colegas da Gerência de Perfuração (GEPERF), principalmente, aos que colaboraram de forma direta na

execução deste trabalho durante a coleta dos dados no SIAGAS, Filipe, Ivan, Luan, Mariana, Rammyres, Saulo e Thomaz, vocês foram fundamentais neste trabalho.

Ao Professor Dr. Marcus Cruz pela sugestão do tema, orientação e paciência ao longo da qualificação. O senhor me apresentou uma área, até então, desconhecida e me fez redescobrir o quão fascinante é a hidrogeologia. Do fundo do meu coração, serei eternamente grata pela oportunidade a mim destinada.

Aos professores Dr. José Siqueira e Dr. Tadeu Lucas pela participação na banca e contribuição final ao trabalho.

Por último, mas não menos importante, aos professores doutores Inajá Sousa e André Quintão pela acolhida e orientação na reta final.

Como dizia Raul Seixas: “Sonho que se sonha só, é só um sonho que se sonha só. Mas sonho que se sonha junto, é realidade”. Muito obrigada por sonharem junto comigo.

GRATIDÃO é a palavra que define esse momento.

“Depois de escalar uma grande montanha,
descobre-se que existem muitas outras
montanhas para escalar”

Nelson Mandela

RESUMO

A avaliação da susceptibilidade natural dos aquíferos oferece subsídios quanto à gestão dos recursos hídricos e planejamento do uso e ocupação do solo. O presente estudo teve como finalidade a aplicabilidade de conceitos provenientes dos métodos GOD (Foster e Hirata, 1988) e DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), no estado de Sergipe e município de Aracaju, respectivamente, visando determinar a vulnerabilidade natural dos aquíferos. Realizou-se um levantamento cadastral com dados hidrogeológicos da área de estudo promovendo a criação de um banco de dados, com informações técnicas, para cadastramento dos poços tubulares, disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e da Companhia de Desenvolvimento em Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO), sendo posteriormente inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para espacialização, interpolação, análise e interpretação dos dados nos dois métodos. No Estado de Sergipe, utilizou-se dados de 2.155 poços tubulares a partir de informações inerentes ao grau de confinamento do aquífero (G), tipo da litologia zona produtora (O) e profundidade do nível estático (D), critérios fundamentais para aplicabilidade do método GOD. Os resultados obtidos variaram de 0 a 0,72, sendo a vulnerabilidade classificada de insignificante a extrema. Os menores valores ocorreram na região do Baixo São Francisco, em virtude do contexto geológico da área, apresentando vulnerabilidade insignificante. As regiões do Agreste, Alto Sertão, Centro Sul e Médio Sertão apresentaram vulnerabilidade variando de baixa a média. O Leste e a Grande Aracaju formam classificadas como zonas de média e extrema vulnerabilidade, sendo o maior valor registrado no município de Aracaju. Em virtude do resultado obtido pelo método GOD, aplicou-se na capital sergipana a metodologia DRASTIC, utilizando dados de 66 poços tubulares perfurados no município de Aracaju. O método supracitado avalia sete parâmetros: profundidade do nível estático (D), recarga do aquífero (R), composição litológica da zona produtora (A), tipo de solo (S), topografia do terreno (T), litologia da zona vadosa (I) e condutividade hidráulica do aquífero (C). Os resultados obtidos variaram de 112 a 201, vulnerabilidade reduzida a extrema. Foram classificadas como áreas de reduzida fragilidade (<120) regiões pontuais das comunidades Porto Dantas e Jabotiana. Os bairros das zonas oeste e norte do município apresentaram, predominantemente, vulnerabilidade média (120 – 160). As regiões sul e central da capital exibiram alta vulnerabilidade (160 – 190) e, pontualmente nos bairros Cirurgia e Ponto Novo, relatou vulnerabilidade extrema (>199). Conclui-se que resultados obtidos neste trabalho podem

corroborar nas tomadas de decisões que objetivem a proteção qualitativa das águas subterrâneas.

Palavras-chave: GOD. DRASTIC. Hidrogeologia. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The evaluation of the natural susceptibility of aquifers offers subsidies for the management of water resources and land use and land use planning. The aim of this study was to evaluate the applicability of GOD methods (Foster and Hirata, 1988) and DRASTIC (Aller et al., 1987) in the state of Sergipe and Aracaju, respectively, to determine the natural vulnerability of aquifers. A cadastral survey was carried out with hydrogeological data from the study area, promoting the creation of a database, with technical information, for the registration of the tubular wells, available at Underground Water Information System (SIAGAS) and the Water Resources and Irrigation Development Company of Sergipe (COHIDRO), and later inserted in a Geographic Information System (GIS) for spatialization, interpolation, analysis and interpretation of the data in the two methods. In the State of Sergipe. The study conducted in the State of Sergipe used data from 2,155 tubular wells based on information inherent to the degree of confinement of the aquifer (G), type of production zone lithology (O) and depth of the static level (D), fundamental criteria for applicability of the GOD method. The results obtained ranged from 0 to 0.72, with the vulnerability classified as insignificant to extreme. The lowest values occurred in the Lower São Francisco region, due to the geological context of the area, presenting insignificant vulnerability. The regions of Agreste, Alto Sertão, Centro Sul and Médio Sertão presented vulnerability varying from low to medium. The East and the Great Aracaju are classified as zones of medium and extreme vulnerability, being the highest value registered in the city of Aracaju. Due to the results obtained by the GOD method, the DRASTIC methodology was applied in the Sergipe capital using data from 66 drilled tubular wells in the city of Aracaju. This method takes into account seven parameters: static level depth (D), aquifer recharge (R), lithological composition of the producing area (A), soil type (S), topography of the terrain (T), vadose zone (I) and hydraulic conductivity of the aquifer (C). The results obtained ranged from 112 to 201, according to USEPA (1994), from low to extreme vulnerability. They were classified as areas of reduced fragility (<120) specific regions of the Porto Dantas and Jabortiana communities. The neighborhoods of the west and north of the municipality had, predominantly, medium vulnerability (120 - 160). The southern and central regions of the capital showed high vulnerability (160 - 190) and, in the neighborhoods Surgery and Ponto Novo, reported extreme vulnerability (> 199). It is concluded that the results obtained in this work can corroborate in the decisions that aim at the qualitative protection of groundwater.

Keywords: GOD. DRASTIC. Hydrogeology. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos comuns de poluição da água subterrânea. (Modificado de FOSTER <i>et al.</i> 2006).....	29
Figura 2: Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. (FOSTER <i>et al.</i> , 2006).....	34
Figura 3: Modelo de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos (DRASTIC)	36
Figura 4: Área de estudo representada abaixo pelo mapa territorial do Estado de Sergipe.	42
Figura 5: Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe	44
Figura 6: Mapa de localização dos poços utilizados neste estudo.....	46
Figura 7: Etapas para confecção de mapa de vulnerabilidade de aquífero a contaminação pelo método GOD. (FOSTER, S., <i>et al</i> , 2006).....	47
Figura 8: Mapa do grau de confinamento do aquífero, parâmetro G.	49
Figura 9: Mapa do índice da ocorrência de estratos de cobertura, parâmetro O.	51
Figura 10: Mapa do índice vulnerabilidade da distância do lençol freático, parâmetro D.....	52
Figura 11: Mapa de vulnerabilidade GOD	54
Figura 12: Área de estudo.....	57
Figura 13: Mapa geológico do município de Aracaju (Adaptado da SRH, 2014)	58
Figura 14: Mapa da distribuição espacialização dos dados de poços no município de Aracaju.....	60
Figura 15: Mapa de vulnerabilidade do nível estático.....	66
Figura 16: Mapa de vulnerabilidade do nível estático.....	68
Figura 17: Mapa de vulnerabilidade da composição litológica do aquífero.....	70
Figura 18: Mapa de vulnerabilidade do tipo de solo da área de estudo.....	71
Figura 19: Mapa de vulnerabilidade da topografia do município de Aracaju	72
Figura 20: Mapa de vulnerabilidade da zona vadosa do município de Aracaju.....	73
Figura 21: Mapa de vulnerabilidade da condutividade hidráulica do aquífero no município de Aracaju.....	74
Figura 22: Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos no município de Aracaju.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos problemas de qualidade das águas subterrâneas. (Adaptado de HIRATA <i>et al.</i> , 2008).....	27
Quadro 2: Classes de vulnerabilidade definidas por Foster <i>et al.</i> (2006).....	30
Quadro 3: Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade de aquíferos.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição da água no planeta. (MMA, 2016).....	21
Tabela 2: Parâmetros de ponderação do método DRASTIC (Adaptado de Aller, et al.,1987)	37
Tabela 3:Índices de ponderação do método DRASTIC	38
Tabela 4:Fórmula da Poluição potencial segundo o método DRASTIC (Adaptado de Aller, <i>et al.</i> ,1987).....	38
Tabela 5: Classes de vulnerabilidade segundo o método DRASTIC. (Modificado Aller, <i>et al.</i> ,1987).....	38
Tabela 6: Referente ao grau de confinamento G, seus índices e porcentagens	48
Tabela 7: Litologia da área de estudo, seus índices e porcentagens.....	50
Tabela 8: Profundidade do nível estático da área de estudo, seus índices e porcentagens.....	51
Tabela 9: Parâmetros de ponderação do método DRASTIC (Adaptado de Aller <i>et al.</i> ,1987).	64
Tabela 10:Referente a profundidade do nível estático, seus índices e porcentagens.	65
Tabela 11: Referente à litologia do aquífero, seus índices e porcentagens.	69

LISTA DE SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Constituição Federal
COHIDRO	Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPA	Agência Americana de Proteção Ambiental
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Ponderação do Inverso da Distância
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
IG	Instituto Geológico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDT	Modelagem Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organizações das Nações Unidas
PIC	Polo Industrial de Camaçari
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RMM	Região Metropolitana de Maceió
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente no Brasil
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TIN	Triangular Irregular Networks

UNESCO Organização das Nações Unidas
USEPA Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UTM Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	19
2	CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	ÁGUA, USOS E GESTÃO	21
2.2	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL.....	22
2.3	HISTÓRICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	25
2.4	CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRANEA.....	27
2.5	VULNERABILIDADE: CONCEITOS E MÉTODOS.....	29
2.6	MÉTODOS DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	30
2.6.1	GOD	33
2.6.2	DRASTIC	35
2.7	GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ÁGUA SUBTERRÂNEA	39
3	CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS NO ESTADO DE SERGIPE.....	41
3.1	INTRODUÇÃO	41
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.2.1	ÁREA DE ESTUDO	41
3.2.2	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	45
3.2.3	MÉTODO GOD.....	46
3.3	RESULTADOS.....	48
3.3.1	GRAU DE CONFINAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (G).....	48
3.3.2	LITOLOGIA DA ZONA VADOSA (O).....	50
3.3.3	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (D)	51
3.3.4	MAPA DE VULNERABILIDADE GOD	53
3.4	CONCLUSÕES	55
4	CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS EM ARACAJU, ESTADO DE SERGIPE	56

4.1	INTRODUÇÃO	56
4.2.1	ÁREA DE ESTUDO	57
4.2.2	METODOLOGIA APLICADA	59
4.2.2.1	OBTENÇÃO, TRATAMENTO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS MAPAS	59
4.2.2.2	MÉTODO DRASTIC	61
4.2.2.2.1	<i>Parâmetro D</i>	61
4.2.2.2.2	<i>Parâmetro R</i>	61
4.2.2.2.3	<i>Parâmetro A</i>	62
4.2.2.2.4	<i>Parâmetro S</i>	62
4.2.2.2.5	<i>Parâmetro T</i>	62
4.2.2.2.6	<i>Parâmetro I</i>	62
4.2.2.2.7	<i>Parâmetro C</i>	63
4.3	RESULTADOS	65
4.3.1	MAPA DE VULNERABILIDADE DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO - NE (D)	65
4.3.2	MAPA DE VULNERABILIDADE DE RECARGA (R)	67
4.3.3	MAPA DE VULNERABILIDADE DO MEIO AQUÍFERO (A)	68
4.3.5	MAPA DE VULNERABILIDADE DA TOPOGRAFIA (T)	71
4.3.6	MEIO INSATURADO DO AQUÍFERO (I)	72
4.3.7	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO MEIO AQUÍFERO (C)	74
4.4	CONCLUSÕES	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1 CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida no planeta, sendo o insumo básico para as atividades econômicas. A demanda hídrica global é fortemente influenciada pelo crescimento da população, pela urbanização, pelas políticas de segurança alimentar e energética, e pelos processos macroeconômicos, tais como a globalização do comércio, as mudanças na alimentação humana e o aumento do consumo. Em 2050, prevê-se um aumento da demanda hídrica mundial de 55%, principalmente devido à crescente demanda do setor industrial, dos sistemas de geração de energia termoelétrica e dos usuários domésticos, sendo que nas últimas décadas, o consumo de água cresceu duas vezes mais do que a população (ONU, 2015). Sabe-se que a água é encontrada na natureza em quantidades aleatórias no tempo e no espaço, sendo também extremamente vulnerável à deterioração qualitativa.

Dentre as reservas de disponibilidade hídrica para consumo humano, destacam-se as águas subterrâneas, além da abundância, essa reserva possui vantagens em relação às águas superficiais, tais como: relativa estabilidade físico-química e sua exploração não necessita de grandes investimentos (FEITOSA, 2008). Entretanto a ocupação desordenada, atividades antrópicas, despejos inadequados e os elementos característicos do meio ambiente, especialmente do solo, fazem com que as águas subterrâneas sejam cada vez mais propensas à poluição.

Em países como México, Austrália, Arábia, região noroeste da Índia e Paquistão, e planície norte da China, nas últimas décadas, a demanda de irrigação gerou uma grande expansão/mudança no consumo das águas superficiais para águas subterrâneas (PEÑA-ARANCIBIA *et al.*, 2016).

Sabe-se que alguns países como Dinamarca, Malta, Arábia Saudita, entre outros, são abastecidos integralmente por águas subterrâneas. Na Tunísia, corresponde a 95%, nos Países Baixos, na Alemanha e Marrocos é de aproximadamente 75%, e na maioria dos países europeus como Áustria, Bélgica, Hungria, Roménia e Suíça, o consumo de água subterrânea excede 70% do consumo total de água. (UNESCO, 2004)

Sabe-se que a água subterrânea apesar de ser pouco apreciada pela população, corresponde a mais de 35% do abastecimento da população brasileira, chegando a mais de 70% no estado de São Paulo que são abastecidas de forma integral ou parcial por esse recurso (HIRATA, 2014). Em virtude dessa exploração crescente nas últimas décadas, é de suma importância o estudo destas, tendo em vista que um dos grandes problemas que esse recurso

enfrenta é o desconhecimento de sua importância, o que leva à falta de atenção por parte da sociedade, urbanização desordenada, uso intensivo de pesticidas nas lavouras, reflorestamento, salinização e outros; e dos gestores, sendo esse um agravante, pois esse desconhecimento faz com que esse recurso não seja discutido nas grandes tomadas de decisão no planejamento urbano ou mesmo rural.

O estudo da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas representa uma identificação das áreas mais vulneráveis, associando pontos potenciais de contaminação gerados pela sociedade, e/ou pelo tipo do ambiente natural ao longo do espaço e tempo, tendo em vista ações gerenciais que visem à gestão racional dos mananciais subterrâneos, bem como para a gestão, por parte dos órgãos públicos, com relação à implementação de políticas de controle e preservação.

O estado de Sergipe está inserido na região nordeste do Brasil com população estimada de 2.278.308 habitantes, segundo IBGE (2018). A extensão territorial é aproximadamente 21.918,443 km², englobando 75 (setenta e cinco) municípios distribuídos no território sergipano. Segundo Rocha (2017), a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) capta aproximadamente 86,6% de mananciais superficiais e 13,4% de mananciais subterrâneos, atendendo 71 municípios (sede municipal e comunidades maiores), entretanto em pequenas comunidades rurais esse valor se inverte, sendo a maior parte do abastecimento proveniente de captações subterrâneas.

Aracaju, capital do Estado de Sergipe, possui aproximadamente 181,857 km² e população de 648.939 pessoas, sendo classificada com 33^o cidade com maior densidade demográfica do país (IBGE, 2018), atualmente o abastecimento do município é misto sendo 95% dele realizados por mananciais superficiais e 5% subterrâneos (ARACAJU, 2015).

No estado de Sergipe existem pouquíssimos estudos a respeito da vulnerabilidade natural de aquíferos a contaminação, sendo Silva (2007) o primeiro a propor mapa preliminar de vulnerabilidade de aquífero a partir do método DRATLu x GODS, seguido por Jesus *et al.* (2014) que realizou estudo de modelagem do nível superficial e vulnerabilidade dos aquíferos no estado a partir do método GOD. Na capital sergipana, não há estudos específicos a respeito do tema, sendo este trabalho pioneiro no município de Aracaju.

Em virtude da carência de trabalhos a respeito da vulnerabilidade de aquíferos, este estudo teve como objetivo analisar a vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação no estado de Sergipe e no município de Aracaju, utilizando os métodos GOD e DRASTIC, respectivamente.

2 CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ÁGUA, USOS E GESTÃO

O surgimento da água no planeta Terra provém de centenas de milhares de anos após o Big Bang, onde prótons e elétrons esfriaram o bastante para organizarem-se em átomos de hidrogênio, hélio, além de outros gases, como de vapor d'água. Entretanto em virtude das elevadas temperaturas da superfície da Terra, cada gota d'água que caísse da atmosfera sobre ela evaporava imediatamente (TEIXEIRA, 2009). O vapor d'água, quando encontrava as camadas mais frias da atmosfera, transformava-se em chuvas torrenciais, que corroboraram para diminuição da temperatura da superfície do planeta. Com o passar do tempo, a água das chuvas não retornava mais à atmosfera em forma de vapor, parte escorria pelas elevações formando os rios, e parte acumulava-se nas depressões da crosta terrestre. Essa água foi responsável pela formação dos rios, lagos, mares e oceanos.

Estima-se atualmente que 70,8% da área do planeta é composta por água, sendo um volume aproximado de 1.400.000.000 km³, deste 97,3% corresponde a água salgada e 2,7% corresponde a água doce, sendo esta distribuídas em geleiras e calotas polares, água subterrânea e umidade do solo, lagos e pântanos, atmosfera e rios, conforme tabela 1.

Tabela 1: Distribuição da água no planeta. (MMA, 2016)

DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA	
Salgada	1.362.200.000 km ³
Doce	37.800.000 km ³
Total	1.400.000.000 km³
Geleiras e Calotas Polares	29.181.620 km ³
Águas subterrâneas e Umidade do solo	8.467.200 km ³
Lagos e Pântanos	132.300 km ³
Atmosfera	15.100 km ³
Rios (superficial)	37.780 km ³
TOTAL	37.800.000 km³

Atualmente a demanda por água procede basicamente de quatro atividades: agricultura, produção de energia, usos industriais e consumo humano. Segundo relatório da ONU (2015), até 2050, prevê um aumento global de 60% a mais de alimentos, e 100% nos países em desenvolvimento o que implica diretamente no aumento da demanda por água pela agricultura, que por consequência terá de aumentar sua eficácia no uso da mesma. Segundo relatório ONU (2015), a agricultura corresponde à quantidade total de 70% de água doce

utilizada pelo conjunto de atividades agrícolas, e, na maioria dos países subdesenvolvidos, esse índice chega a 90%.

Segundo ONU (2015), a indústria e setor energético consomem cerca de 19% do consumo total de água, sendo que o primeiro utiliza 4% para as indústrias pesadas e de manufatura e o segundo 15%. Estima-se que entre 2010 e 2035 a demanda de água para a produção de energia, geração de eletricidade (principalmente), tendo em vista um aumento de mais de um terço no consumo de energia, com 90% desse aumento ocorrendo nos países que não fazem parte da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico - OECD (ONU, 2015). Cerca de 10% do consumo mundial de água doce provém das necessidades domiciliares, das instituições e da maioria das pequenas e médias indústrias dentro dos sistemas municipais.

Um fator que possibilitou o aumento do consumo de água na irrigação nos últimos 50 anos foi a utilização de águas subterrâneas para produção em áreas irrigadas. Estima-se cerca de 38% da água consumida provenha dessa fonte, segundo Siebert *et al.* (2013). Sabe-se que metade da população mundial utiliza águas subterrâneas para atender à sua demanda de consumo (ONU, 2015).

2.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

A população mundial começou a preocupar-se com os recursos hídricos subterrâneos há aproximadamente três décadas, sendo estes até então desprezados (MANOEL FILHO, 2008, p. 381). Segundo Foster *et al.* (2006), a água subterrânea é um dos recursos mais importantes para sobrevivência humana, devendo esta ser muito bem gerida, de tal modo que devem ser realizadas ações preventivas e corretivas, cuja finalidade é evitar contaminações futuras com a finalidade de controlar as ameaças de poluição pretéritas e futuras.

A legislação das águas no Brasil teve como marco inicial o Código das Águas, disciplinado através do Decreto Federal nº 24.643 de 10 de julho de 1934, o qual tinha por objetivo disciplinar a regulamentação das águas, pode-se destacar como a legislação básica e pioneira das águas. Este Código trazia em seu texto legal a possibilidade do uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida, tinha por finalidade garantir o abastecimento de água para a população, podendo esta usar das águas públicas para dar efetividade a tal objetivo.

Este Código estabelecia algumas normas com concessão e autorização sem que houvesse prejuízo à navegação, como também previa que não era permitido contaminar as águas que não são consumidas, causando prejuízo a terceiros.

Posteriormente, com o advento da Constituição Federal de 1988, em seu artigo 20, inciso III, dispõe que: *“são bens da União: os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”*. E, no artigo 26, I, do mesmo diploma legal, ainda incluem como bens do Estado *“as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”*.

Assim, percebe-se que as águas existentes no Brasil são de propriedade da União, não existindo águas particulares, logo compete a União legislar privativamente sobre as águas (artigo 22, inciso IV, CF/1988). Entretanto, as águas superficiais ou subterrâneas são bens dos Estados-Membros, ou seja, compete aos Estados legislar, para garantir a proteção e sua gestão de forma específica.

Outra legislação de suma importância em relação ao tema é a Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, denominada a Lei das Águas, a qual disciplinou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Esta legislação regulamentou o artigo 21, inciso XIX da Carta Magna, estabelecendo regras para a gestão e proteção dos recursos hídricos. Trouxe grandes inovações possibilitando o avanço em relação ao sistema dos recursos hídricos, sendo a Política Nacional dividida em fundamentos, objetivos, diretrizes de ação e instrumentos.

Em seu artigo 1º, é possível destacar os Princípios Fundamentais norteadores da Política Nacional, assim entende que a água é reconhecida como um bem público e um recurso natural limitado, dotada de um valor econômico, devendo ser priorizada em detrimento das pessoas e animais principalmente em situação de escassez, como também a água deve ser gerida para usos múltiplos e sustentáveis, sendo sua gestão de recursos hídricos dar-se de forma descentralizada.

Em seu artigo 2º expõem sobre os objetivos da Política Nacional dos Recursos Hídricos, quais sejam: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. Já no artigo 3º traz as

diretrizes gerais de ação que é a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo, e de forma mais específica a gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

O artigo 4º elenca os instrumentos, que dentre estes estão os Planos de Recursos Hídricos, os documentos que consolidam os projetos de planejamento prévio, preservação e recuperação dos recursos hídricos, a outorga de direitos de uso, como meio de assegurar e controlar os direitos de uso e a cobrança pelo uso da água, como meio de obter valor econômico.

A Lei das Águas mantém as competências dos organismos existentes como também potencializa a sua atuação, esta tem por finalidade viabilizar o sistema, assegurando a viabilidade financeira, gerando recursos pela cobrança do uso da água ao custeio dos organismos, como também a viabilidade administrativa criando organismo de apoio técnico, financeiro e administrativa ao Colegiado do Sistema, que são os surgimentos das Agências de águas e órgão assessores.

Conforme art. 26, I, as águas subterrâneas são consideradas bens dos Estados, nesse sentido, competirão legislar para sua gestão e proteção. Com o passar do tempo foram surgindo outras legislações para regulamentar tal dispositivo, tendo em vista que nem todo Estado legisla sobre o diploma, dentre essas legislações é possível citar a Lei 6.938/81. Essa legislação trata da Política Nacional do Meio Ambiente, instituindo o Sistema Nacional do Meio Ambiente, conhecido como SISNAMA, possuindo um órgão consultivo e deliberativo, qual seja o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, cuja função deste órgão é assessorar o Governo, instituído diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais, viabilizando dentro de sua competência normas que possibilite um equilíbrio no meio ambiente, visando a qualidade de vida.

É possível destacar que dentro da competência do CONAMA, está disciplinada a proteção das águas subterrâneas, destacando algumas resoluções:

A Resolução nº 002 de 22 de agosto de 1991, que dispõe “sobre cargas deterioradas, contaminadas, fora das especificações ou abandonadas, sendo tratadas como fontes de grande potência a danos ao meio ambiente”. Já a Resolução 273 de 29 de novembro de 2000, assegura “sobre a obrigatoriedade o licenciamento prévio do órgão ambiental”. A Resolução 357 de 17 de março de 2005, “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. A Resolução 396 de 03 de abril de 2008 assegura “sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas

subterrâneas e dá outras providências”, e por fim a Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009, “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”.

2.3 HISTÓRICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O aproveitamento humano das águas subterrâneas a partir da construção de túneis e poços construídos para captação de água no Egito e Pérsia. Têm-se registros que filósofos gregos acreditavam na hipótese de canais subterrâneos que conduziam a água do mar até as nascentes, onde emergiam após a purificação. Em 500 a 428 a.C., Anaxágoras reconheceu a importância da chuva para o armazenamento de água subterrânea, Aristóteles, 384 – 322 a.C., reconheceu o caráter cíclico do caminho da água. Vitruvius, arquiteto romano, entendeu a infiltração da água da chuva como responsável pela acumulação de água subterrânea. Apesar de todas essas hipóteses, até meados do século XVII acreditava-se que somente a água da chuva não era capaz de explicar a água dos rios (FEITOSA, *et al.* 2008).

Segundo Feitosa *et al.*(2008), Pierre Perrault (1608 – 1680) foi o pioneiro a medir a precipitação e o escoamento superficial correspondente no rio Sena durante 3 anos (1668 – 1670), este estudo resultou na informação que apenas 16 % da precipitação escoava, demonstrando assim que as chuvas garantiam o fluxo de água dos rios e ainda sim, infiltravam. Edmé Mariotté (1620 a 1684), confirmou as observações de Perrault referentes a teoria da infiltração, e suas observações foram publicadas após sua morte. Edmond Halley (1656 a 1742) demonstrou em 1693, por observações sistemáticas, que a evaporação da água do mar era suficiente para explicar todas as águas continentais.

O Engenheiro Henry Darcy (1803 – 1858), estabeleceu uma fórmula que permite expressar a descarga de água por unidade de superfície, em função da condutividade hidráulica do material e do gradiente hidráulico, a partir de vários experimentos elaborados por ele, ficando assim conhecida como Lei de Darcy.

A hidrogeologia no Brasil desenvolveu-se inicialmente na primeira metade do século XX com ações relacionadas estritamente a perfuração de poços no Nordeste Brasileiro, estando sempre atrelados a programas emergenciais de combate as secas, sem a preocupação com estudos hidrogeológicos mais detalhados. Esses esforços foram conduzidos pela Inspeção Federal de Obras Contra a Seca (IFOCS), posteriormente transformados em Departamento Nacional de Combate as Secas (DNOCS). Em 1950, Aguiar (1939)

desenvolveu a fórmula empírica para avaliação de deflúvios em bacias desprovidas de dados fluviométricos a partir da precipitação média. Com relação a hidrologia subterrânea, destaca-se o trabalho de Kegel (1955), a partir dos relatórios sobre águas subterrâneas no Piauí, produzido para o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Em 1960, foi criada a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), cujo objetivo foi o estudo dos recursos naturais da região e desenvolvimento de recursos humanos, iniciando assim o desenvolvimento da hidrogeologia brasileira. O Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste na escala 1:500.000, cujo objetivo foi avaliar de maneira sistemática os aquíferos da região, levando em consideração suas potencialidades e disponibilidades hídricas, elaborado pela SUDENE sendo considerado o trabalho base da hidrogeologia brasileira, sendo pioneiro na América Latina. (FEITOSA, *et al.* 2008)

Segundo o Departamento da Califórnia de Recursos Hídricos (2014), na Califórnia, EUA, água subterrânea desempenha um papel fundamental, durante um ano médio de precipitações, aproximadamente 38% do abastecimento total do Estado provem de águas subterrâneas. Durante os anos secos, esse índice aumenta para mais de 46% oferta anual estadual, servindo como amortecedor crítico contra os impactos da seca e das mudanças climáticas. A seca que vem atingindo a Califórnia desde 2012 está obrigando os fazendeiros e agricultores a perfuração de poços tubulares profundos para atender a irrigação no Central Valley (HOWARD, 2014). Ressalva-se que o excesso de extração de água subterrânea em ausência da recarga natural causou baixa dos níveis em muitas regiões deste Estado.

Cardoso, *et al.* (2008), estima que de 1958 a 2008 foram perfurados cerca de 416 mil poços no Brasil, destes, 15% (63 mil) encontram-se desativados. Segundo IBGE (2010), 10,03% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea. A utilização de águas subterrâneas vem crescendo intensamente em todo mundo, seja para fins domésticos, agrícolas e/ou industriais.

Segundo Hirata (2014), as águas subterrâneas são utilizadas por mais de 35-40% da população brasileira, sendo 70% do estado de São Paulo abastecidos por aquíferos mediante rede pública de forma total ou parcialmente. Cidades como Natal - RN, Brasília – DF, Porto Alegre – RS, Manaus - AM, Ribeirão Preto - SP, São José dos Campos - SP, Jales - SP, Marília – SP dependem fortemente das águas subterrâneas.

Em virtude do uso fundamental das águas subterrâneas, que abrange essencialmente o consumo humano, entretanto está ligada a dessedentação animal, irrigação e outras atividades fundamentais para o desenvolvimento antrópico, são de suma importância o conhecimento dos possíveis impactos gerados pelas atividades humanas nesse recurso.

2.4 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas são consequências diretas do desenvolvimento econômico da sociedade atual, embora a degradação desse recurso agravou-se a partir da revolução industrial (MELO, 2012). Na Conferência de Estocolmo, década de 70, apareceram as primeiras restrições ambientais nos países desenvolvidos, em virtude da percepção pública relacionada ao uso saudável e sustentável do planeta e de seus recursos (ONU, 1972). Segundo Hirata, *et al.* (2008, p. 405), na década de 80 a 90 percebeu-se, nos países desenvolvidos, um crescente monitoramento e busca de mitigação da contaminação nos aquíferos. Os problemas inerentes ao comprometimento da qualidade da água subterrânea estão relacionados à contaminação do aquífero e/ou na captação, conforme quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos problemas de qualidade das águas subterrâneas. (Adaptado de HIRATA, 2008)

TIPO DE PROBLEMA	CAUSA SUBJACENTE	CONTAMINANTES PRINCIPAIS
CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra emissões e lixiviados provenientes de atividades urbanas/industriais e intensificação do cultivo agrícola.	Microrganismos patógenos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênio, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, pesticidas (alguns)
CONTAMINAÇÃO NO PRÓPRIO POÇO OU CAPTAÇÃO	Poço ou captação cuja construção/poço inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída	Principalmente alguns microrganismos patógenos
Intrusão salina	Água subterrânea salina (e às vezes poluída) que, por excesso de extração, é induzida a fluir para o aquífero doce.	Principalmente cloreto de sódio, mas pode incluir também contaminantes persistentes produzidos antropicamente.
Contaminação Natural	Relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e/ou extração excessiva)	Principalmente fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio, arsênio, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.

Segundo Manoel Filho (2008, p. 382), o conceito de água contaminada é definido como água que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais ao homem.

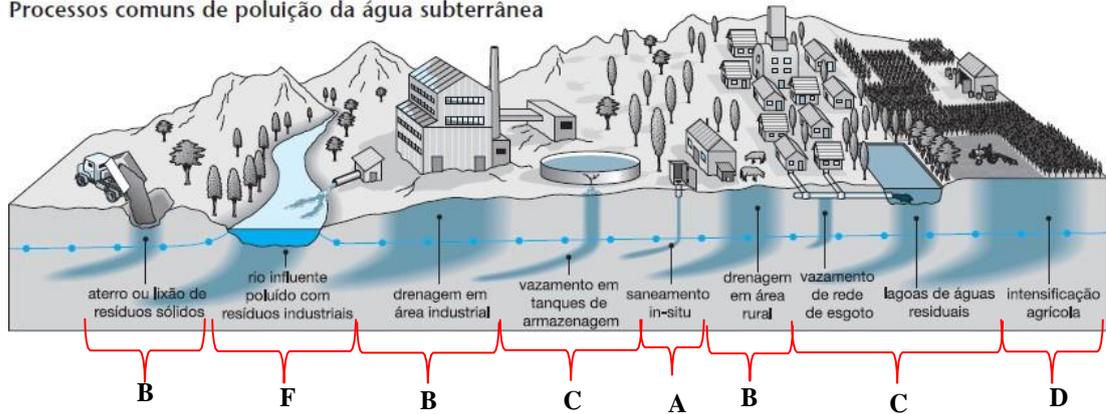
As fontes de contaminação com relação a sua distribuição espacial podem ser linear, difusa e pontual, a primeira relaciona-se a rios e canais como meios contaminantes, a segunda ocorre quando a contaminação é distribuída por uma superfície extensa, com baixa concentração, não sendo possível a identificação pontual da carga, estas tendem a criar estratificação regionalizada e os mananciais superficiais e subterrâneos produzem uma mistura contaminada e não contaminada, em proporções crescentes. A terceira relaciona-se, como o próprio nome remete, a uma fonte pontual, com concentrações elevadas, localizadas pequenas áreas (plumas), que tendem a permanecer estratificadas no aquífero. (MANOEL FILHO, 2008, p. 382 – 383)

Foster *et al.* (2006), explanou que os aquíferos se tornam contaminados através da carga poluente produzida pela atividade humana, que é gerada no subsolo por emissões e lixiviados, não controlado adequadamente, superando o limite a aptidão de atenuação natural dos solos, ocorrendo assim a poluição, esses processos podem ser observados na figura 1.

Para Manoel Filho (2008, p. 383), a origem mais comum da contaminação da água subterrânea está relacionada às atividades industriais (compostos químicos, metais, elementos radioativos e infiltração do chorume), domésticas (rompimento de fossas sépticas ou rede de esgoto) e agrícolas (fertilizantes minerais, herbicidas, solutos dissolvidos por chuva ou irrigação). As fontes de contaminação distinguem-se como:

- A. Fontes projetadas para recepção das substâncias - fossas sépticas, poços de injeção, etc.;
- B. Fontes para armazenagem, tratamento ou recepção de substâncias - aterros sanitários, valas clandestinas, resíduos de mineração, vazamento de tanques de armazenamento;
- C. Fontes para retenção de substâncias durante transporte - vazamentos em rede de distribuição como gasodutos, oleodutos, esgotos;
- D. Fontes produtoras de substâncias em virtude de outras atividades - irrigação, aplicação de pesticidas, etc.;
- E. Fontes condutoras de água contaminada - poços produtores com contaminantes introduzidos durante a perfuração;
- F. Fontes naturais cuja descarga é criada para atividade humana - lixiviação natural, intrusão salina em aquíferos costeiros.

Figura 1: Processos comuns de poluição da água subterrânea. (Modificado de FOSTER *et al.* 2006)
Processos comuns de poluição da água subterrânea



As diversidades de fontes de contaminação, relacionadas às diferentes atividades antrópicas desenvolvidas na superfície dos solos, terão maior ou menor capacidade de poluição sobre as fontes de água subterrânea de acordo com a condição de vulnerabilidade dos aquíferos.

2.5 VULNERABILIDADE: CONCEITOS E MÉTODOS

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos à poluição começou a ser utilizado em meados da década de 60 nos Estados Unidos por Le Grand (1964), e na França por Albinet & Margat (1970), sendo disseminado por diversos autores na década de 1980 (Haertle, 1983; Aller *et al.*, 1987; Foster, 1987, Foster e Hirata, 1988), referindo-se a relativa susceptibilidade dos aquíferos a contaminação antropogênica.

Le Grand (1964) inferiu um sistema de pesos visando à avaliação do potencial de poluição de águas subterrâneas levando em consideração as peculiaridades hidrogeológicas da área, a sensibilidade relativa do aquífero em relação ao contaminante e, as modificações de engenharia que pudessem reduzir o potencial de poluição intrínseca encontrado.

Duijvenbooden e Waegeningh (1987), nas conclusões da conferência internacional sobre “Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants”, definiram que vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas como a sensibilidade da qualidade dessas águas a uma carga poluente, levando em consideração as características intrínsecas do aquífero.

Vrba e Zaporozec (1994) definiram vulnerabilidade como uma propriedade intrínseca do sistema da água subterrânea que depende da sensibilidade do aquífero para os impactos humanos e/ou naturais, neste caso, os autores levam em consideração a contaminação natural ou artificial.

Foster (1987) considerou que um conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, determinando assim sua suscetibilidade de sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície, sendo estes determinantes para definir a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, sendo esta uma útil e consistente definição.

Para Barboza *et al.* (2007), o mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos vêm sendo extensivamente utilizados em todo mundo, cuja finalidade é o auxílio a programas de prevenção à contaminação da água subterrânea. Sendo essa uma ferramenta essencial para a gestão de recursos hídricos subterrâneos.

Por Auge (2004) existe dois tipos de vulnerabilidade intrínseca e específica. A primeira é usada em diversos trabalhos de uso do solo e da água, visando à preservação da qualidade do recurso. A segunda inclui parcialmente o conceito de risco, toda vez que se refere a substâncias contaminantes específicas.

Para Foster e Hirata (2006), as classes de vulnerabilidade do aquífero são definidas em extrema, alta, moderada, baixa e insignificante, sendo que estas variam de vulnerável a maioria dos contaminantes a presença de camadas confinadas sem percolação de água conforme quadro 2.

Quadro 2: Classes de vulnerabilidade definidas por Foster *et al.* (2006)

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados)
Moderada	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação).

2.6 MÉTODOS DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Existem vários métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos, estes têm como objetivo principal representar o comportamento dos aquíferos a contaminação, levando em consideração a qualificação e o mapeamento da vulnerabilidade. Segundo Auge (2004), a

seleção para aplicar um método de vulnerabilidade das águas subterrâneas, considera-se quatro fatores primordiais para execução do método, conforme citado abaixo:

- Conhecimento e difusão da metodologia – aplicação de uma metodologia conhecida e difusa, visando uma qualificação precisa de vulnerabilidade;
- Disponibilidade de Informação – corresponde a coleta de dados referentes a uma determinada região que se deseja estudar;
- Avaliação do Alcance – está relacionado ao objetivo esperado para um maior detalhe da avaliação;
- Validação dos Resultados – verificar a representatividade do estudo realizado, observando os pontos mais vulneráveis possíveis.

Na literatura existem métodos variados para determinar a vulnerabilidade dos aquíferos, sendo mais difundidos mundialmente o DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987) e o GOD (Foster & Hirata, 1988). Além destes, tem-se ainda os métodos SINTACS (CIVITA *et al.* 1990), o AVI, *Aquifer Vulnerability Index*, Van Stempvoort *et al.* (1993), EPPNA (Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água) elaborado por Artuso *et al.* 2004), o IS (Índice de Susceptibilidade) proposto por Francés *et al.* (2001), dentre outros. O quadro 3 mostra métodos distintos para descrever a cartografia de vulnerabilidade de aquíferos, descrevendo os objetivos e parâmetros a serem determinados.

Quadro 3: Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade de aquíferos.
(HIRATA *et al.*, 2008)

MÉTODO	AVALIAÇÃO	FATORES	REFERÊNCIA
$\Delta H T^*$	Vulnerabilidade em aquífero semiconfinado	Potencial hidráulico e transmissividade vertical	AUGE (2001)
IS	Vulnerabilidade geral	Profundidade da água, recarga, litologia, topografia e ocupação do solo	FRANCÉS <i>et al.</i> (2001); PARALTA <i>et al.</i> (2001)
EPPNA	Vulnerabilidade geral	Características litológicas e hidrogeológicas	PLANO NACIONAL DA ÁGUA (1998)
EPIK	Vulnerabilidade geral	Carstificação superficial, cobertura de proteção, infiltração e rede cárstica	DOERFLIGER; ZWAHLEN (1997)
EKV	Vulnerabilidade geral	Espessura da zona subsaturada e permeabilidade da zona saturada	AUGE (2004)
AVI	Vulnerabilidade geral	Espessura da camada acima do aquífero e condutividade. Hidráulica	VAN STEMPVOORT (1993)
SANEAMENTO <i>IN SITU</i>	Vulnerabilidade e saneamento <i>in situ</i>	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade e qualidade da água	FERREIRA, HIRATA (1993)
SEM NOME	Vulnerabilidade geral	Característica litológica, permeabilidade e profundidade da água	ADAMS; FOSTER (1992)
SINTACS	Vulnerabilidade geral	Profundidade da água, tipo de solo, infiltração, aquífero, camada subsaturada, condutividade, topografia	Civita <i>et al.</i> (1990)
GOD	Vulnerabilidade geral	G – tipo de aquífero; O – litologia de zona não saturada; D – profundidade da água	Foster & Hirata (1988)
GROUNDWATER VULNERABILITY MAP FOR NITRATE	Potencial de lixiviação de nitrato	Tipo de solo, caracterização hidráulicas, e litologia do aquífero	CARTER <i>et al.</i> (1987)
DRASTIC	Vulnerabilidade geral	Profundidade da água, recarga, aquífero, solo, topografia, impacto, condutividade hidráulica	ALLER <i>et al.</i> (1985)
LANDFILL SITE RANKING	Aterros sanitários	Distância aterro/poço, gradiente, permeabilidade e capacidade de atenuação	LE GRAND (1983)
SITE RANKING METHODOLOGY	Disposição de resíduos Sólidos	Receptor, população, uso da água, profundidade da água, degradação, caminhos, contaminantes, pluviosidade, permeabilidade do solo, características do resíduo, manejo e aspectos operacionais e construtivos	KULFS <i>et al.</i> (1980)
WASTE-SOIL INTERACTION MATRIX	Disposição de resíduos sólidos e líquidos	Efeitos na saúde, caracterização e comportamento do produto, capacidade de atenuação do solo, hidrografia	PHILIPS <i>et al.</i> (1977)
POLUIÇÃO DOS LENÇÓIS AQUÍFEROS	Vulnerabilidade geral	Geologia (litologia e estrutura)	Taltasse (1972)
<i>SURFACE IMPOUNDMENT ASSESSMENT</i>	Vulnerabilidade específica; sistemas de disposição de águas servidas.	Zona não saturada; Importância do Recurso; Qualidade das águas subterrâneas; periculosidade do material	Le Grand (1964)

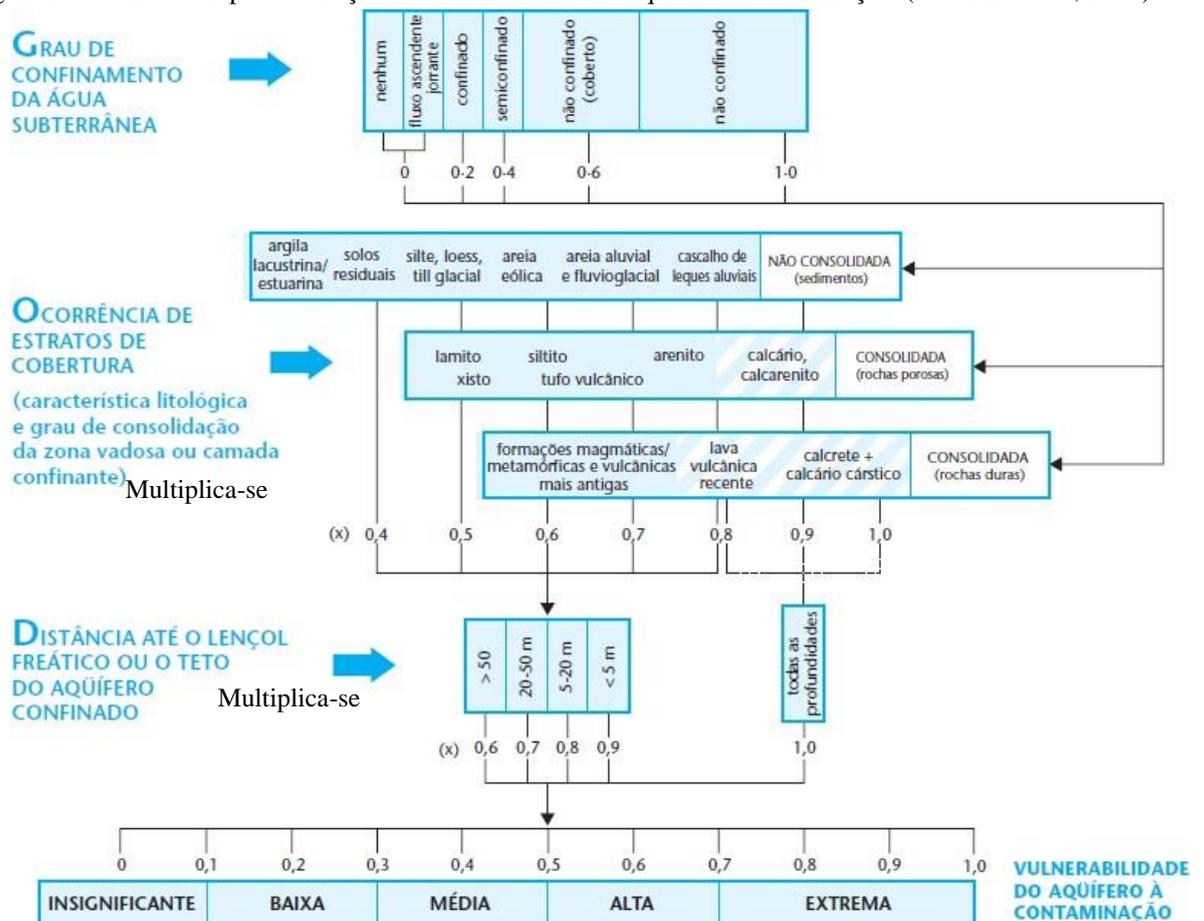
2.6.1 GOD

O método GOD foi utilizado neste trabalho para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos do estado de Sergipe, este significa *Groundwater hydraulic confinement* (grau de confinamento hidráulico – Confinado, Semi-Confinado e Livre), *Overlaying Strata* (ocorrência das características do substrato litológico - grau de consolidação da zona não saturada), e *Depth to groundwater table* (distância do nível da água ou teto do aquífero - profundidade do nível d'água subterrânea), criado por Foster e Hirata (1988).

Durante a década de 90, este método foi testado na América Latina e Caribe, sendo considerado de fácil aplicabilidade e simplicidade conceitual, utilizando dois fatores básicos para sua determinação, o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero, e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero. Entretanto, alguns desses fatores não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros. Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável se o objetivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Para Foster *et al.*,(2006) a metodologia proposta para se estimar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, segundo o método GOD, corresponde a identificação do tipo de confinamento do aquífero, e atribuição de valores desses parâmetros na escala de 0,0–1,0; definição dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero relacionado ao grau de consolidação e tipo de litologia correspondendo a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4–1,0; e posteriormente a estimativa da profundidade até o lençol freático ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea, com posterior classificação na escala de 0,6–1,0. Este método é melhor representado de forma sucinta e descritiva de acordo com os procedimentos na figura 2.

Figura 2: Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. (FOSTER *et al.*, 2006).



Abaixo são apresentados alguns estudos realizados em diversas regiões do Brasil e do mundo utilizando esse método:

- Pavão (2004) estabeleceu a vulnerabilidade natural dos aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS, indicando áreas mais susceptíveis a contaminação. Os resultados obtidos foram de desprezível a extrema, sendo que a classe baixa ocorreu em pontualmente ao Norte e nas extremidades Leste e Oeste da Bacia, os índices médio e alto predominaram na porção central da bacia.
- Pereira (2006) avaliou e determinou áreas vulneráveis a contaminação do solo e do aquífero no Reservatório Batatã em São Luís do Maranhão. Os resultados obtidos foram áreas de extrema a baixa vulnerabilidade, sendo que as de extrema vulnerabilidade situam-se na borda do Reservatório, apesar de representarem baixo potencial de contaminação em virtude da cobertura vegetal. Áreas classificadas como de alta vulnerabilidade pertencem duas unidades de materiais inconsolidados

dos tabuleiros da Formação Barreiras. Regiões de moderada vulnerabilidade situadas no tabuleiro, especificamente nas regiões do divisor de água das sub-bacias dos Rios Batatã e das Bicas, apresentam de médio a baixo potencial de contaminação, ocupada por áreas degradadas e de capoeira do parque. Áreas de baixa vulnerabilidade situam-se na porção oeste do reservatório e representam baixo potencial de contaminação, com vegetação de capoeira.

- Tavares *et al.* (2009) analisou o nível de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea em uma região delimitada da Bacia Sedimentar do Araripe no Ceará. Os resultados, obtidos apresentam vulnerabilidade média (41%) na região de Crato e Juazeiro do Norte e alta (59%) na região de Abaiara e Missão Velha.

2.6.2 DRASTIC

ALLER, *et. al.* (1987), descreveu o método DRASTIC como um sistema padronizado para avaliar o potencial de poluição da água subterrânea utilizando-se o ajuste hidrogeológico, sendo este um dos métodos desenvolvido pela *National Ground Water Association*, e amplamente empregado pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (USEPA). Neste trabalho, o método DRASTIC foi aplicado no município de Aracaju em virtude da alta vulnerabilidade apresentada pelo método GOD e por possuir todos os parâmetros possíveis para aplicação do método.

Conforme figura 3, o método avalia as classes de vulnerabilidade natural do tipo de aquíferos (confinado/não confinado) a partir das características litológicas e texturais, à profundidade da água em relação à superfície e o impacto da zona não saturada (AUZANI, 2010).

A sigla do método DRASTIC corresponde a:

Depht to ground water – Profundidade do aquífero (m);

Recharge net – Recarga do aquífero devido à precipitação (cm);

Aquifer media – Material ou meio poroso do aquífero, composição litológica (m);

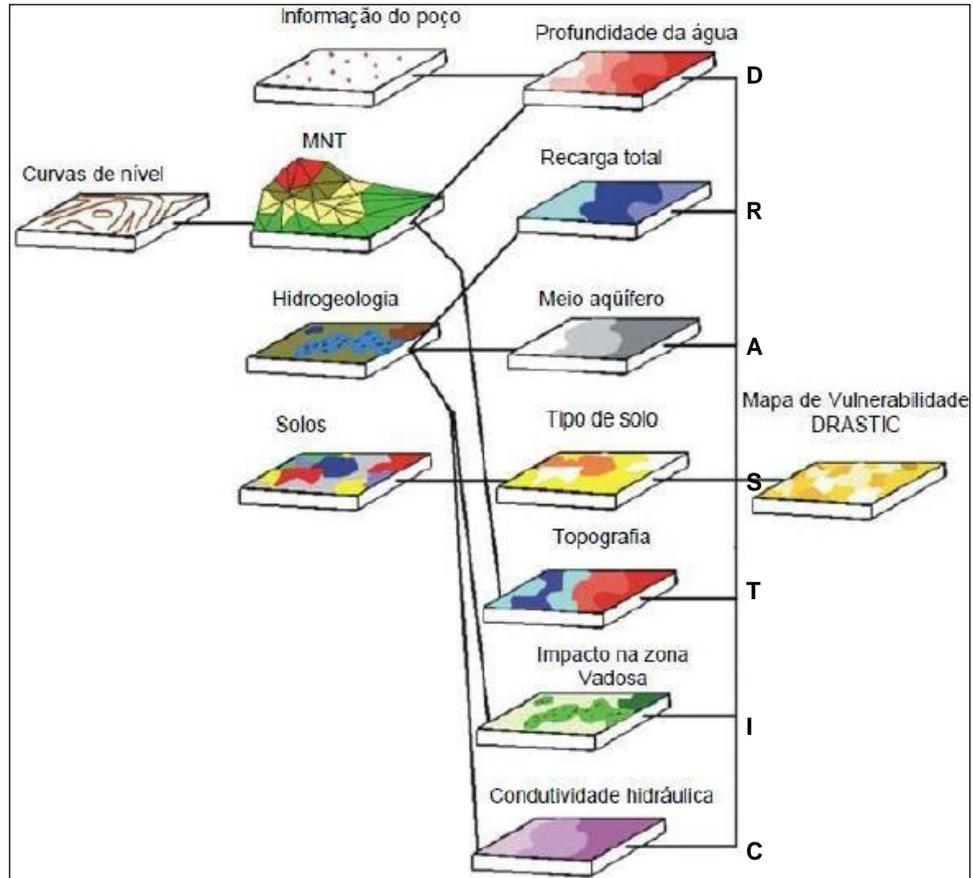
Soil media – Tipo de solo ou a porção superficial do solo;

Topography – Topografia do terreno;

Impact of vadose zone – Impacto no aquífero;

Conductivity hydraulic – condutividade hidráulica do aquífero, em (cm/s).

Figura 3: Modelo de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos (DRASTIC).
(Adaptado de SILVA, 2013)



Auge (2004) afirma que cada parâmetro deste método possui faixas de valores que reflete um potencial de poluição, ou seja, a cada uma dessas faixas é atribuído um índice que varia entre 1 a 10, cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição do meio, como pode ser observado na tabela 2. Sendo o índice de vulnerabilidade DRASTIC obtido pelo peso ponderado de cada parâmetro variando entre 1 e 5 (Tabela 3). A equação para determinar o impacto sobre o potencial a poluição pelo índice DRASTIC pode ser observada na tabela 4, que corresponde a soma ponderada dos resultados da multiplicação do valor da classificação pelo peso ponderado que é atribuído a cada parâmetro (ALLER *et al.*, 1987). A variação do índice fica entre 23 e 226 e quanto maior o valor maior será a vulnerabilidade. As classes definidas para esse método podem ser observadas na tabela 5.

Tabela 2: Parâmetros de ponderação do método DRASTIC (Adaptado de Aller, et al.,1987)

D – PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		R – RECARGA DO AQUÍFERO		A – MEIO AQUÍFERO		
INTERVALO (m)	GRAU	INTERVALO (cm)	GRAU	TIPO	GRAU CLASSIFICAÇÃO	TÍPICO
0 – 2	10	0 – 3	1	Argilito maciço	1 – 3	2
2 – 5	9			Rocha metamórfica/ígnea	2 – 5	3
5 – 10	7	3 – 10	3	Rocha metamórfica/ígnea intemperizada	3 – 5	4
10 – 17	5	10 – 18	6	Till glacial	4 – 6	5
17 – 26	3	18 – 25	8	Argilito/silito laminada (o)	5 – 9	6
26 – 34	2	> 25	9	Arenito maciço	4 – 9	6
> 34	1			Calcário maciço	4 – 9	6
				Areia ou cascalho	4 – 9	8
				Basalto	2 – 10	9
				Calcário cárstico	9 – 10	10

S - SOLO		T - TOPOGRAFIA		I – MATERIAL DA ZONA VADOSA			C – CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	
TIPO	GRAU	INTERVALO (%)	GRAU	TIPO	GRAU CLASSIFICAÇÃO	TÍPICO	INTERVALO (m/s)	GRAU
Fino/ausente	10	0 – 2	10	Camada confinante	1	1	$5.10^{-7} - 5.10^{-5}$	1
Cascalho	10			Silte/Argila	2 – 6	3		
Areia	9	2 – 6	9	Argilito	2 – 5	3	$5.10^{-5} - 1.10^{-4}$	2
Turfa	8			Calcário	2 – 7	6		
Argila estruturada	7	6 – 12	5	Arenito	4 – 8	6	$1.10^{-4} - 3.10^{-4}$	4
*Loam	5			Argilito/Silito laminado	4 – 8	6		
Loam siltoso	4	12 – 18	3	Areia e cascalho com silte/argila	4 – 8	6	$3.10^{-4} - 5.10^{-4}$	6
Loam argiloso	3	> 18	1	Rocha metamórfica - ígnea	2 – 8	4	$5.10^{-4} - 10.10^{-4}$	8
**Muck	2			Areia e cascalho	6 – 9	8		
Argila maciça	1			Basalto	2 – 10	9	$> 10.10^{-4}$	10
				Calcário cárstico	8 – 10	10		

Tabela 3: Índices de ponderação do método DRASTIC

MÉTODO	FATORES DE PONDERAÇÃO
D – Profundidade do aquífero	5
R – recarga do aquífero devido à precipitação (cm)	4
A – Material ou meio poroso do aquífero - composição litológica (m)	3
S – Tipo de solo ou a porção superficial do solo	2
T – Topografia do terreno	1
I – Impacto no aquífero	5
C – Condutividade hidráulica do aquífero, em (cm/s)	3

Tabela 4: Fórmula da Poluição potencial segundo o método DRASTIC (Adaptado de Aller, et al., 1987)

$$P = D_R \times D_W + R_R \times R_W + A_R \times A_W + S_R \times S_W + T_R \times T_W + I_R \times I_W + C_R \times C_W$$

Onde:

P – Potencial de Poluição; D – Profundidade do aquífero; S – Tipo de solo;
 R_R – Classificação do índice; R – Recarga do aquífero; T – Topografia;
 w – Peso de ponderação; A – Meio do aquífero; I – Impacto no aquífero;
C – Condutividade hidráulica

Tabela 5: Classes de vulnerabilidade segundo o método DRASTIC. (Modificado Aller, et al., 1987)

CLASSES	INTERVALOS
Vulnerabilidade Reduzida	<120
Vulnerabilidade Média	120 - 160
Vulnerabilidade Elevada	160 - 199
Vulnerabilidade Muito Elevada	>199

Abaixo são apresentados alguns estudos realizados em diversas regiões do Brasil e do mundo utilizando O método DRASTIC:

- Saidi *et al.* (2010) mapearam na Tunísia a vulnerabilidade e o risco de contaminação do aquífero Hajeb-Jelma, identificou-se nesse trabalho que o aquífero apresentou três classes, moderada, alta e muito alta, de vulnerabilidade, já o mapa de risco apresentou um resultado muito elevado dependendo características hidrogeológicas, do uso da terra e dos impactos humanos na maior parte da região de Hajeb-Jelma. A aplicabilidade desses mapas é a base científica

para o planejamento sustentável do uso da terra e para a gestão das águas subterrâneas na região;

- Santos (2010) analisou a vulnerabilidade no aquífero Marizal, na região de influência do Polo Industrial de Camaçari (PIC), os resultados obtidos foram que 18,5% da região, área urbana de Camaçari, apresenta vulnerabilidade à poluição baixa a muito baixa; 61,7%, área destinada às atividades industriais, apresentam vulnerabilidade moderada; e 19,8%, localizada na região de influência do PIC, apresentou vulnerabilidade variando de alta a extremamente alta, sendo neste último caso a região de descarga do aquífero freático subjacente ao PIC e a zona urbana de Nova Dias D'Ávila.
- Nobre (2006) aplicou uma proposta metodológica inovadora, na Região Metropolitana de Maceió, levando em consideração vulnerabilidade intrínseca adaptou o método DRASTIC, além da aplicação de um modelo baseado na lógica *fuzzy*. Levando em consideração três atributos: atenuação natural, recarga e transporte do meio hidrogeológico; os resultados obtidos foram que não importa a quantidade de mapas articulados, nem os índices atribuídos aos mesmos, mas o entendimento dos processos físicos envolvidos no processo de transporte do contaminante.

2.7 GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ÁGUA SUBTERRÂNEA

Mundialmente difundidas, as técnicas de geoprocessamento e análise em SIG auxiliam a confecção de mapas em diversos setores. A aplicabilidade dessas ferramentas é de suma importância como instrumentos de apoio para integração, geração e interpretação dos dados.

Na hidrogeologia diversas subáreas são atendidas, desde pesquisa da água subterrânea e viabilidade técnica a orientação do gestor na tomada de decisão. Segundo Shirazi *et al.* (2012), a aplicação destas técnicas promove agilidade na elaboração de mapas de vulnerabilidade à poluição de aquíferos, sendo possível efetuar o planejamento e estudar os fatores das áreas mais susceptíveis à contaminação através da espacialização dos dados de poços em cartogramas, gerando subsídios para o planejamento do uso, ocupação do solo, gestão de recursos hídricos, entre outros.

O uso dos SIG e técnicas de geoprocessamento na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos são difundidos mundialmente Gasser *et al.* (2018), Ribeiro *et al.* (2017), Chrispim

(2016), Duarte *et al.* (2016), Miranda *et al.* (2015), Kazakis e Voudouris (2015), Neshat *et al.* (2014), Linhares *et al.* (2014), Carvalho (2013), Saidi *et al.* (2010), Tavares *et al.* (2009), Santos (2010), Nobre (2006), Pereira (2006), Pavão (2004), entre outros, são exemplos da aplicabilidade dessas ferramentas.

3 CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS NO ESTADO DE SERGIPE

3.1 INTRODUÇÃO

Avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas é uma forma de esclarecimento das áreas mais vulneráveis, analisando e interpolando os dados, gerando ilustração dos processos naturais a partir de mapas, servindo como instrumento para planejamento e gestão desses recursos.

No mundo existem diversos trabalhos referentes ao tema, a exemplo dos Estados Unidos da América (EUA), com a vulnerabilidade de todo território completamente mapeada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (*Environmental Protection Agency* –EPA), desenvolvido por Aller *et al.* (1987). No Brasil, Pereira Júnior (2015), avaliou a vulnerabilidade natural do Aquífero Bauru no município de Rio Verde – Goiás, Ribeiro (2011), desenvolveu o mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri – Sergipe, o IG/CETESB/DAEE (1997), que possui cartografias sobre a vulnerabilidade do estado de São Paulo, entre outros.

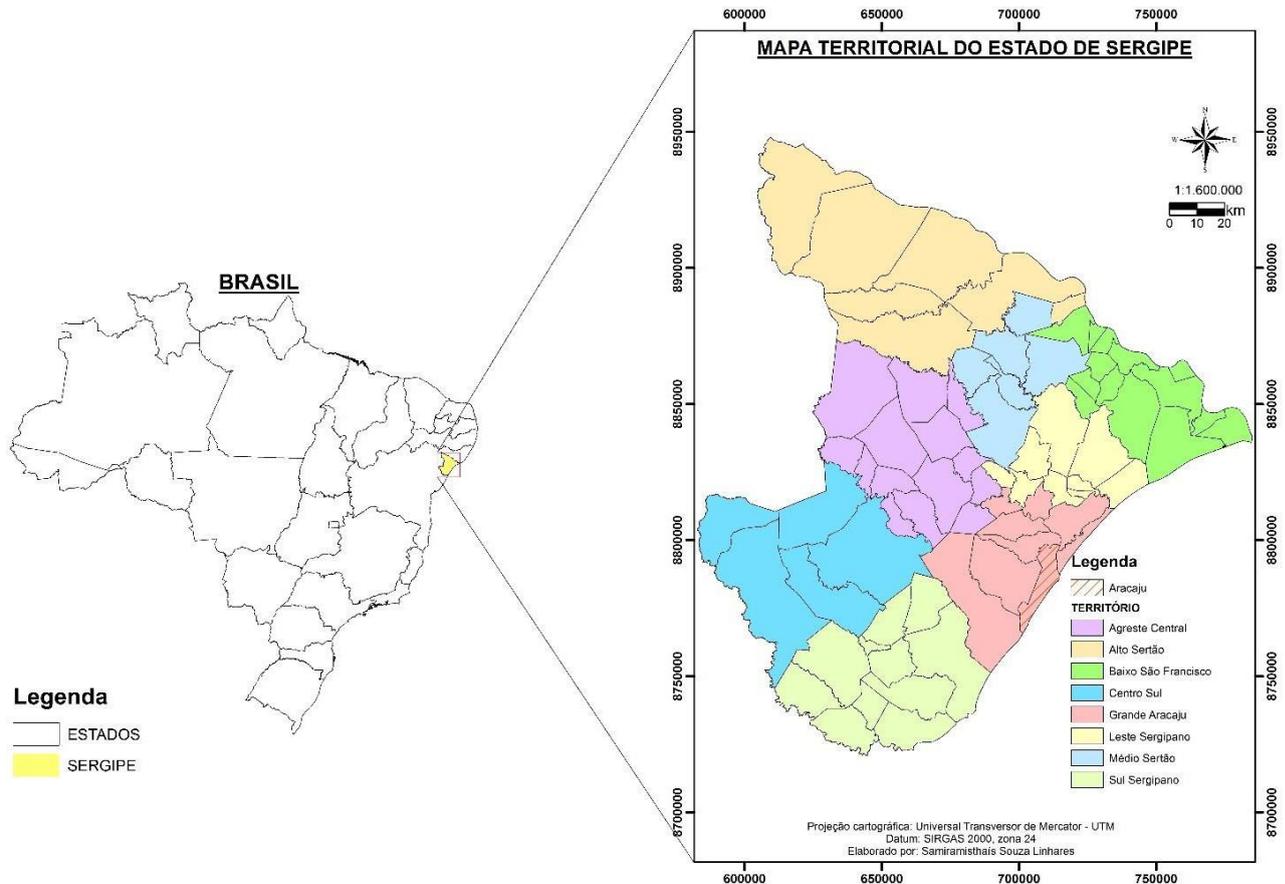
Sabe-se que é crescente a necessidade de conhecimento a respeito da vulnerabilidade dos recursos hídricos e, visando suprir a lacuna deixada sobre esta temática no Estado de Sergipe, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a vulnerabilidade natural a contaminação no estado de Sergipe, aplicando conceitos provenientes do método GOD desenvolvido por FOSTER e HIRATA (1988).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no Estado de Sergipe, que ocupa a porção centro-oriental do Nordeste brasileiro, composto por 75 municípios, e possui área de aproximadamente 21.918,443 km². O estado limita-se a leste pelo Oceano Atlântico, a sul e oeste pelo estado da Bahia e a norte pelo estado de Alagoas, conforme mostra a figura 4.

Figura 4: Área de estudo representada abaixo pelo mapa territorial do Estado de Sergipe.



Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

O estado divide-se em oito regiões de acordo com a divisão regional feita pela Secretaria de Estado de Planejamento em 2008, sendo delimitados seus municípios abaixo:

- Agreste Central – Possui área de 3.123,2 km², representando 14% do território do estado, integrando os municípios 14 municípios: Areia Branca, Campo do Brito, Carira, Frei Paulo, Itabaiana, Macambira; Malhador; Moita Bonita, Nossa Senhora Aparecida, Pedra Mole, Pinhão, Ribeirópolis, São Domingos e São Miguel do Aleixo (SERGIPE, 2008).
- Alto Sertão - Corresponde a 4.900 km² da área, correspondendo a 23% de extensão territorial do estado, compreendendo sete municípios: Canindé de São Francisco, Gararu, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Poço Redondo e Porto da Folha (SERGIPE, 2008).
- Baixo São Francisco – Representa 9% do território Sergipano, com área de 1.946,09 km², compreendendo os municípios de Amparo do São Francisco, Brejo Grande, Canhoba, Cedro de São João, Ilha das Flores, Japoatã, Malhada dos Bois, Muribeca,

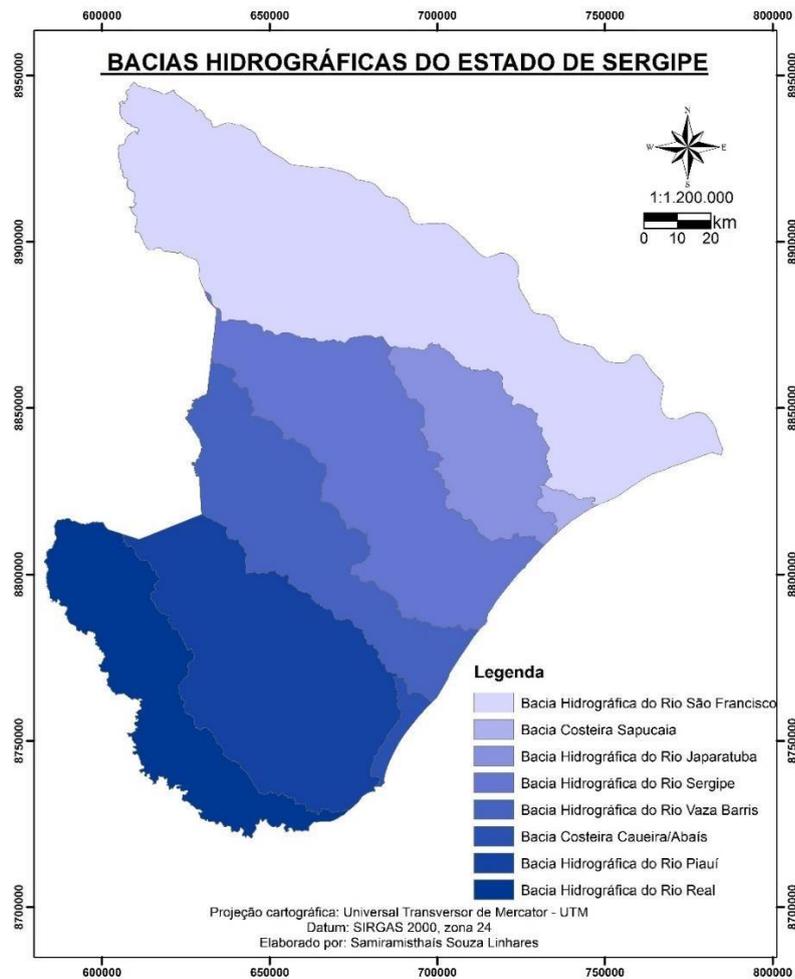
Neópolis, Pacatuba, Propriá, Santana do São Francisco, São Francisco e Telha (SERGIPE, 2008).

- Centro Sul – Possui área de 3.520,899 km², correspondente a 16% do estado, sendo formado por cinco municípios: Lagarto, Poço Verde, Riachão do Dantas, Simão Dias e Tobias Barreto (SERGIPE, 2008).
- Grande Aracaju – Corresponde a 2.184,4 km de área total, cerca de 10,0% da superfície territorial do estado, englobando 9 municípios: Aracaju, Barra dos Coqueiros, Itaporanga d' Ajuda, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Riachuelo, Santo Amaro das Brotas e São Cristóvão (SERGIPE, 2008).
- Leste Sergipano – Possui o menor Território do Estado com área de 1.518,7 km², representando 7% da área territorial de Sergipe, representado por 7 municípios: Capela, Carmópolis, Divina Pastora, General Maynard, Japaratuba, Pirambu, Rosário do Catete, Santa Rosa de Lima e Siriri (SERGIPE, 2008).
- Médio Sertão - Corresponde a 7% do território sergipano, com área de 1.582,446 km², é formado por seis municípios: Aquidabã, Cumbe, Feira Nova, Graccho Cardoso, Itabi e Nossa Senhora das Dores (SERGIPE, 2008).
- Sul Sergipano – Representa 14% da superfície territorial do estado, área de 3.130,998 km², compreendendo 10 municípios: Arauá, Boquim, Cristinápolis, Estância, Indiaroba, Itabaianinha, Pedrinhas, Salgado, Santa Luzia do Itanhhy, Tomar do Geru e Umbaúba (SERGIPE, 2008).

Segundo Lucena (2015), o clima na área de estudo é caracterizado pela ampla variabilidade espacial e temporal com precipitação média variando de 1.355 mm/ano no litoral, 1.000 mm/ano no agreste e 700 mm/ano no semiárido.

O estado é composto por oito bacias hidrográficas (figura 5), sendo destas, quatro federais, Rio São Francisco, Rio Vaza Barris, Rio Piauí, Rio Real, e quatro estaduais, Rio Japaratuba, Costeira Sapucaia, Rio Sergipe e Costeira Caueira – Abaís.

Figura 5: Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe



Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

Quanto a geologia, segundo Almeida *et al.* (1977), o estado de Sergipe está numa região limítrofe de três províncias estruturais: a Província São Francisco, a Província Borborema e a Província Costeira e Margem Continental.

- Província São Francisco - Corresponde ao Cráton do São Francisco, e no estado de Sergipe ocorre nos terrenos gnáissico-migmatíticos da região de Boquim, Cristinápolis, Itabaianinha e Riachão do Dantas (embasamento do cráton) e pelos sedimentos pouco deformados da região de Lagarto e Tobias Barreto (coberturas do cráton).
- Província Borborema - Representa a faixa de Dobramentos Sergipana, situada entre o limite nordeste do Cráton do São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas. Essa faixa de dobramento sergipana foi denominada por descontinuidades estruturais profundas e com feições geológicas distintas, sendo então reconhecidos como terrenos

tectono-estratigráficos, sendo subdivididos e classificados em domínios: Estância, Vaza-Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé.

- Província Costeira e Margem Continental - esta província inclui a Bacia Sedimentar de Sergipe-Alagoas, Sub-bacia Sergipe na porção leste do estado e segmentos restritos da Bacia do Tucano nos municípios de Poço Verde, Tobias Barreto e Canindé, além de formações superficiais terciárias e quaternárias continentais, e os sedimentos quaternários da plataforma continental.

A hidrogeologia do estado, em virtude das características geológicas e similaridades na ocorrência de água subterrânea, pode ser dividida em três províncias hidrogeológica:

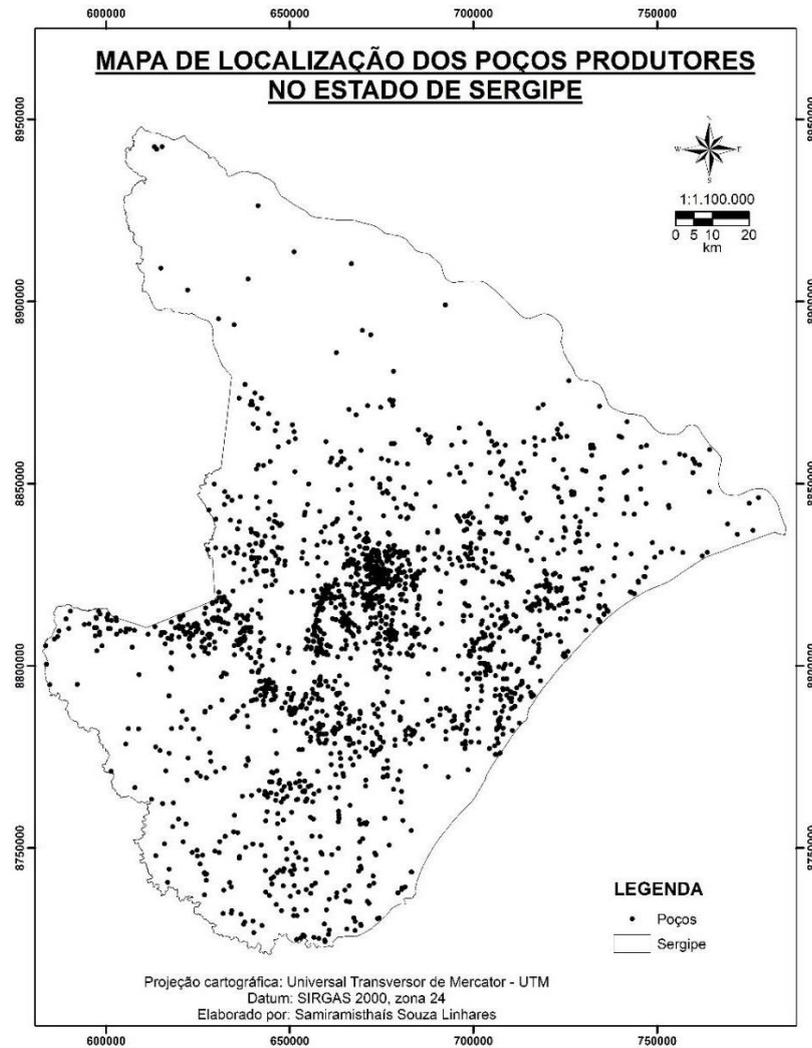
- Província do Escudo Oriental Nordeste – é composta predominantemente por rochas cristalinas, apresentando um baixo potencial hidrogeológico em virtude da ausência da porosidade primária que condiciona a ocorrência da água subterrânea a presença de fraturas e fendas (porosidade secundária). Classifica-se este tipo de aquífero como fissural. Além das deficiências relacionadas as condições de circulação e ocorrência das águas subterrâneas, existe as características do clima semiárido que dificulta a recarga do aquífero provocando taxas elevadas de salinidade nas águas;
- Província do São Francisco – são aquíferos fissurais, restritos às zonas fraturadas, apresentando um baixo potencial de produção. Esses se tornam mais amplos quando associados a rochas porosas do manto de intemperismo, ou onde ocorreu dissolução cárstica, no caso dos calcários ou dolomitos, caracterizados como aquíferos cársticos.
- Província Costeira – é representada neste estudo pela sub-província Sergipe, sendo este aquífero de produtividade média, sendo aproveitados em diversas áreas para o abastecimento populacional, caracterizado com aquífero granular.

3.2.2 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados de poços existentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e da Companhia de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO). Foram catalogados dados de 4.560 poços na região de estudo, entretanto visando avaliar informações técnicas referentes à construção do poço, dados geológicos e bombeamento, realizou uma triagem, restando 2.155 poços que promoveram a viabilidade deste estudo (figura 6). Elaborou-se um banco de dados, com o uso

de uma planilha eletrônica, constando as seguintes informações: coordenadas em projeção Universal Transverso de Mercator (UTM), Datum Sirgas 2000, profundidade do poço e nível estático em metros, avaliação e tipo da litologia zona produtora e camada confinante ao aquífero, visando os critérios para aplicabilidade do método GOD.

Figura 6: Mapa de localização dos poços utilizados neste estudo.



Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

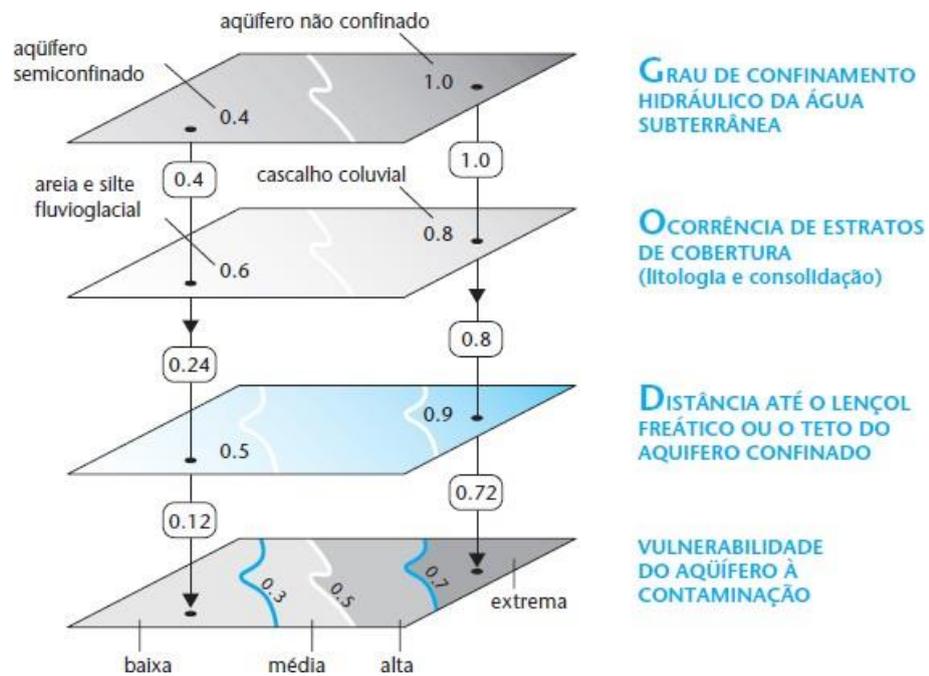
3.23 MÉTODO GOD

Para o cálculo do índice GOD foram utilizadas características fundamentais para execução desse método como grau de confinamento do aquífero, características litológicas e a profundidade do nível estático.

Após a geração do banco de dados, as informações foram inseridas no software ArcGis e, posteriormente, realizada a interpolação pelo método IDW (Ponderação do Inverso da Distância) que, segundo Jacob e Young (2006), usa os valores amostrados à sua volta, de

forma que cada ponto possui uma influência no novo ponto que diminui na medida em que a distância aumenta, apresentando assim resultados melhores que os demais analisados, gerando rasters na resolução de 30 metros para cada parâmetro. Após a confecção destes, utilizou-se a ferramenta álgebra de mapa para aplicar a equação do método e gerar o produto final, conforme exemplificado na figura 7.

Figura 7: Etapas para confecção de mapa de vulnerabilidade de aquífero a contaminação pelo método GOD. (FOSTER, S., *et al*, 2006).



3.3 RESULTADOS

3.3.1 GRAU DE CONFINAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (G)

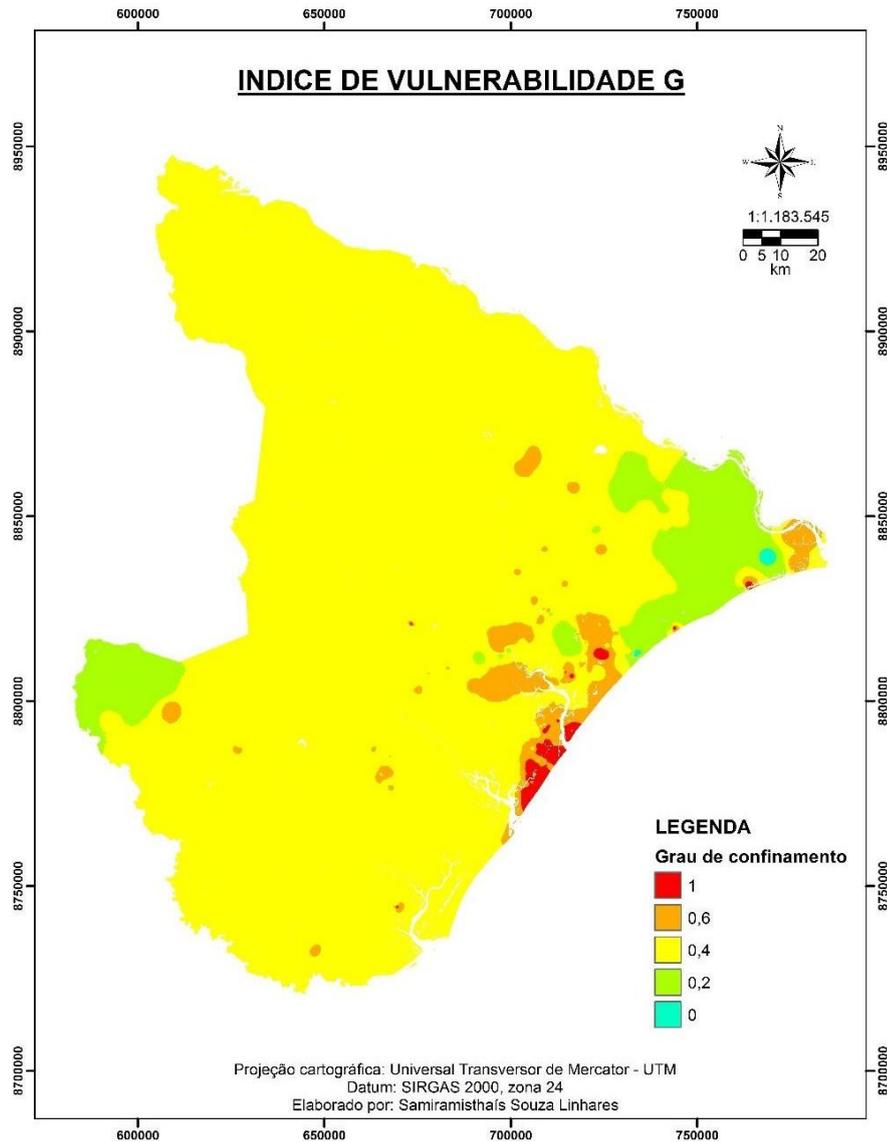
A determinação do confinamento dos aquíferos da região em análise foi possível a partir da interpretação dos perfis litológicos dos poços cadastrados no banco de dados, onde foi possível averiguar o nível de confinamento entre as camadas, ou seja, caso a zona produtora do poço estivesse entre uma camada argilosa e uma camada arenosa o grau de confinamento deste é semi-confinado. Na tabela 6, pode-se observar o comportamento do grau de confinamento dos aquíferos da região.

Tabela 6: Referente ao grau de confinamento G, seus índices e porcentagens

Grau de Confinamento	Índices	Nº de Poços	%
Não confinado	1,0	30	1,39%
Não Confinado (coberto)	0,6	160	7,42%
Semi-confinado	0,4	1838	85,29%
Confinado	0,2	122	5,66%
Fluxo ascende jorrante	0,0	5	0,23%

Dos poços analisados nesse parâmetro, a maioria apresentou o grau de confinamento de aquífero semi-confinado, que recebeu índice do método 0,4 perfazendo um total de 1838 poços, ou seja, cerca de 85,29% dos dados coletados. Seguido por aquíferos não confinado (coberto), 0,6, que representa 7,42%, 160 poços. Cerca de 5,66% dos dados, 122 poços, apresentaram grau de confinamento 0,2, sendo caracterizados como confinados. Aquíferos não confinados correspondem a 39% dos poços, 30, e 5 poços apresentaram fluxo ascendente jorrante, representando 0,23%. O mapa de espacialização desse índice pode ser observado na figura 8.

Figura 8: Mapa do grau de confinamento do aquífero, parâmetro G.



A região apresentada pela cor azul, na porção leste do mapa, representa o grau de confinamento da água subterrânea com fluxo ascendente jorrante, ou seja, recebem índice 0. Apresenta aquíferos confinados, que se relacionam diretamente com depósitos clásticos da bacia sedimentar Sergipe – Alagoas, sub-bacia de Sergipe, e Bacia do Tucano, ambas representadas pelo índice 0,2, sendo representado no mapa pela cor verde. A maioria do estado está condicionada ao sistema de aquífero semi-confinado, representado pela cor amarela, recebendo índice 0,4, que corresponde a sistemas fraturados representados por rochas metamórficas e ígneas fraturadas e/ou níveis argilosos sobrepondo zonas produtora. O índice 0,6 no mapa indica a presença de aquíferos não confinado (coberto), cor laranja, e a concentração de aquíferos livres, ou seja, possui maior índice de grau de confinamento, 1, está

representado pela cor vermelha. Ambos estão relacionados à presença de sedimentos do tipo granular de alta condutividade hidráulica e elevada porosidade efetiva.

332 LITOLOGIA DA ZONA VADOSA (O)

No estado de Sergipe, a litologia da camada confinante apresentou diversas variações, conforme descritos no quadro 10 recebendo os respectivos índices.

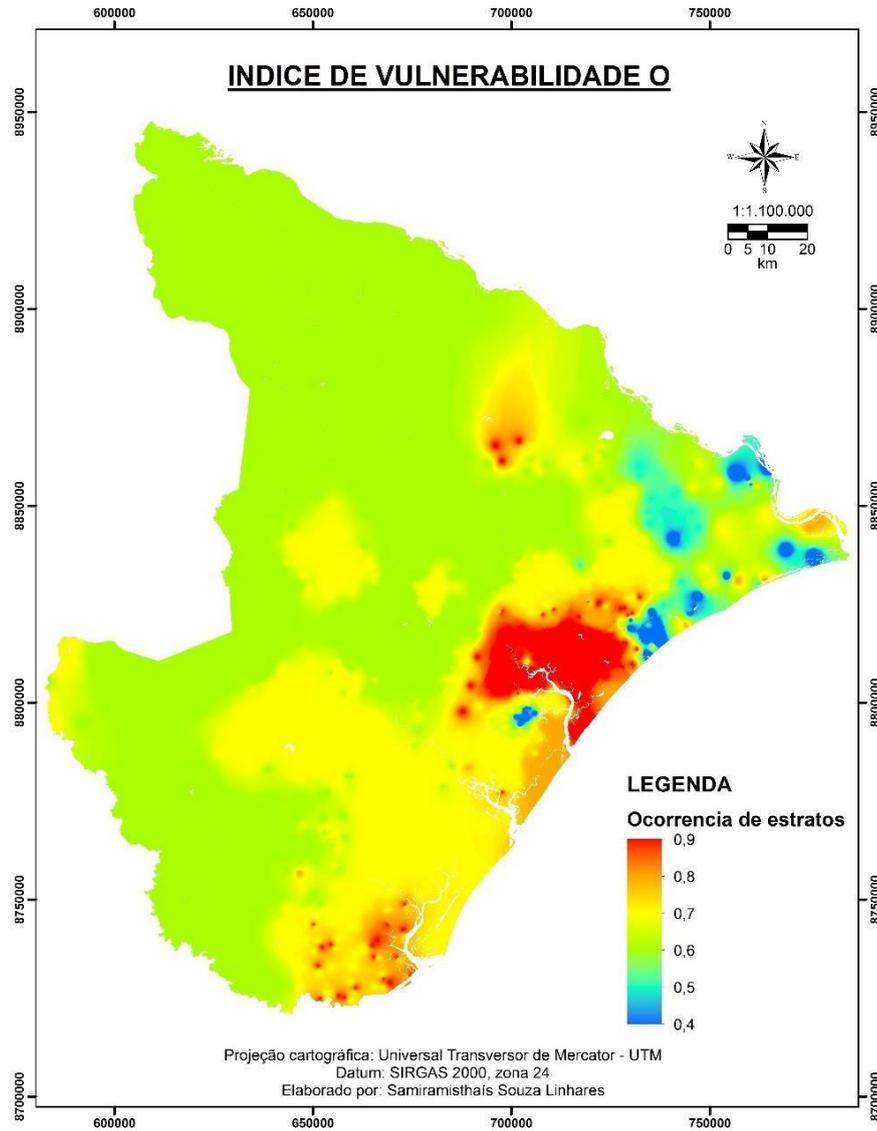
Tabela 7: Litologia da área de estudo, seus índices e porcentagens.

Litologia	Índices	Nº de Poços	%
Argila	0,4	37	1,72%
Silte/folhelho	0,5	27	1,25%
Siltito/ rochas magmáticas e metamórficas	0,6	1084	50,31%
Areia aluvial/rochas magmáticas e metamórficas alteradas	0,7	722	33,50%
Cascalho de leques aluviais/arenito	0,8	96	4,45%
Sedimentos não consolidados/ calcário/ calcarenito/calcário cárstico	0,9	189	8,77%

A figura 9 apresenta os índices atribuídos ao parâmetro “O” do método em análise, nele é possível observar que áreas sobrepostas por argila corresponde a 37 poços analisados, sendo representadas no mapa pela cor azul escura, geologicamente associada aos depósitos lacustres da Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia de Sergipe. Litologias do tipo silte e folhelho e corresponde a 1,25% dos dados coletados, ambos pertencentes aos depósitos da Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia de Sergipe, e corresponde, no mapa, a região de coloração azul clara. Na porção noroeste a sudoeste do estado, área de coloração verde, estão inseridos dados de 1084 poços, que apresenta como material sobrejacente composições de rochas metamórficas e magmáticas, sendo atribuído índice 0,6. Além desta região, é possível observar a porção nordeste da área de estudo, caracterizada por presença maciça de siltito sobrepondo zonas produtoras, sendo caracterizada com mesmo índice.

A região representada em amarelo no mapa, apresenta 33,50% dos dados analisados, correspondendo a sedimentos aluvionares, na porção leste e sudeste do estado, e rochas metamórficas e magmáticas alteradas na porção central. A coloração laranja no mapa, cerca de 96 poços, apresentam zonas vadosas compostas por arenitos e cascalho de leques aluviais. A coloração avermelhada, principalmente nos municípios ao norte da cidade de Aracaju, corresponde aos depósitos carbonáticos, calcarenito e calcário cárstico.

Figura 9: Mapa do índice da ocorrência de estratos de cobertura, parâmetro O.



333 PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (D)

A determinação do nível estático da região em análise foi possível a partir dos dados destes no banco de dados. No tabela 8, pode-se observar o comportamento da profundidade do nível d'água na região.

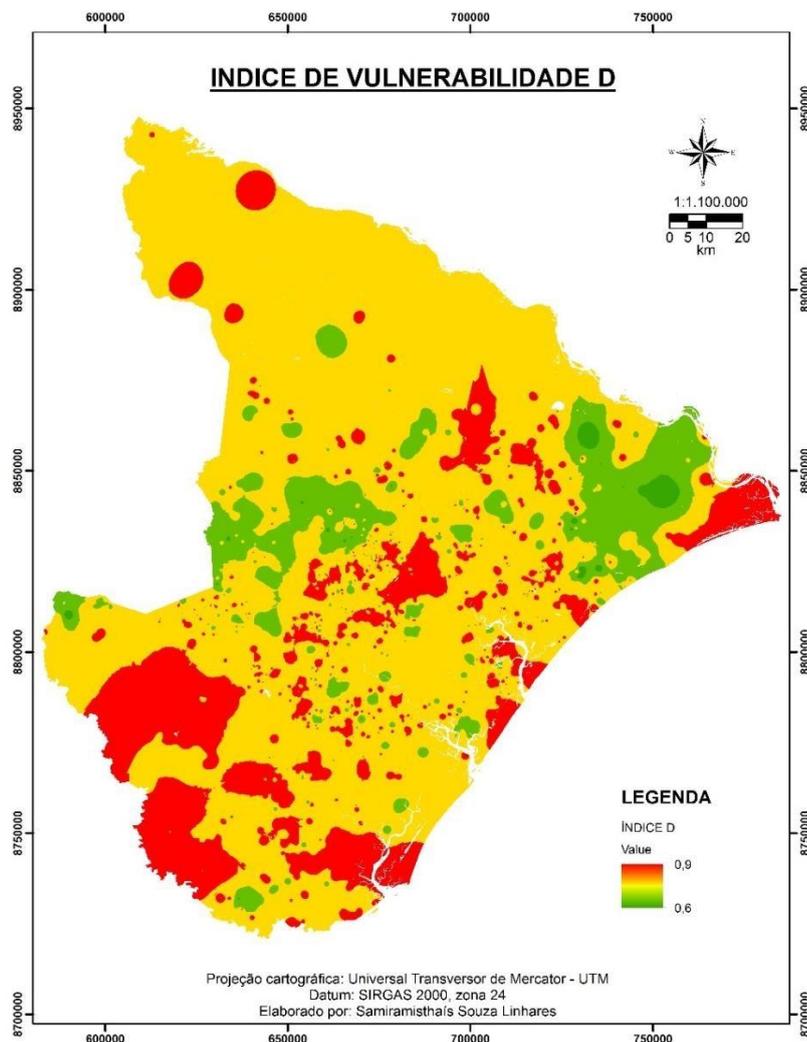
Tabela 8: Profundidade do nível estático da área de estudo, seus índices e porcentagens.

Nível Estático	Índice	Nº de Poços	%
< 5 m	0,9	948	43,99%
5 - 20 m	0,8	889	41,25%
20 - 50 m	0,7	285	13,23%
>50 m	0,6	33	1,53%

A grande concentração dos níveis estáticos na área de estudo, ocorrem entre as profundidades inferiores a 5 metros, correspondendo a 948 poços, 43,99%, recebendo índice 0,9. A segunda maior concentração, cerca de 41,25% dos poços, está relacionada a profundidades entre 5 e 20 m, recebendo índice 0,8. Vale salientar que visualmente, na figura 10 que apresenta o mapa, este índice tem maior representatividade espacial comparada ao índice 0,9. Isto se dá devido a dispersão dos poços no estado, além da variabilidade de profundidade do nível.

A profundidade do lençol freático no intervalo de 20 a 50 metros, corresponde a 285 poços analisados, índice é 0,7. Os poços com profundidades de nível d'água superior a 50 m, 1,53% dos poços analisados, cujo índice é 0,6, encontram-se predominantemente situados na região nordeste do estado, inseridos geologicamente na Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia de Sergipe, além de ocorrer na porção sudoeste da área de estudo, inserido geologicamente na Bacia de Tucano.

Figura 10: Mapa do índice vulnerabilidade da distância do lençol freático, parâmetro D.



3.3.4. MAPA DE VULNERABILIDADE GOD

A partir da multiplicação dos parâmetros descritos anteriormente, é possível obter o índice de vulnerabilidade GOD da área de estudo (figura 11). No mapa abaixo, é possível observar um degrade de cores que variam do azul ao vermelho, que indicam lugares menos vulneráveis a áreas mais vulneráveis à contaminação do aquífero, respectivamente. Esses valores variam de 0,0 a 0,72 atingindo cinco classes propostas na metodologia GOD, não constando neste estudo apenas a alta vulnerabilidade.

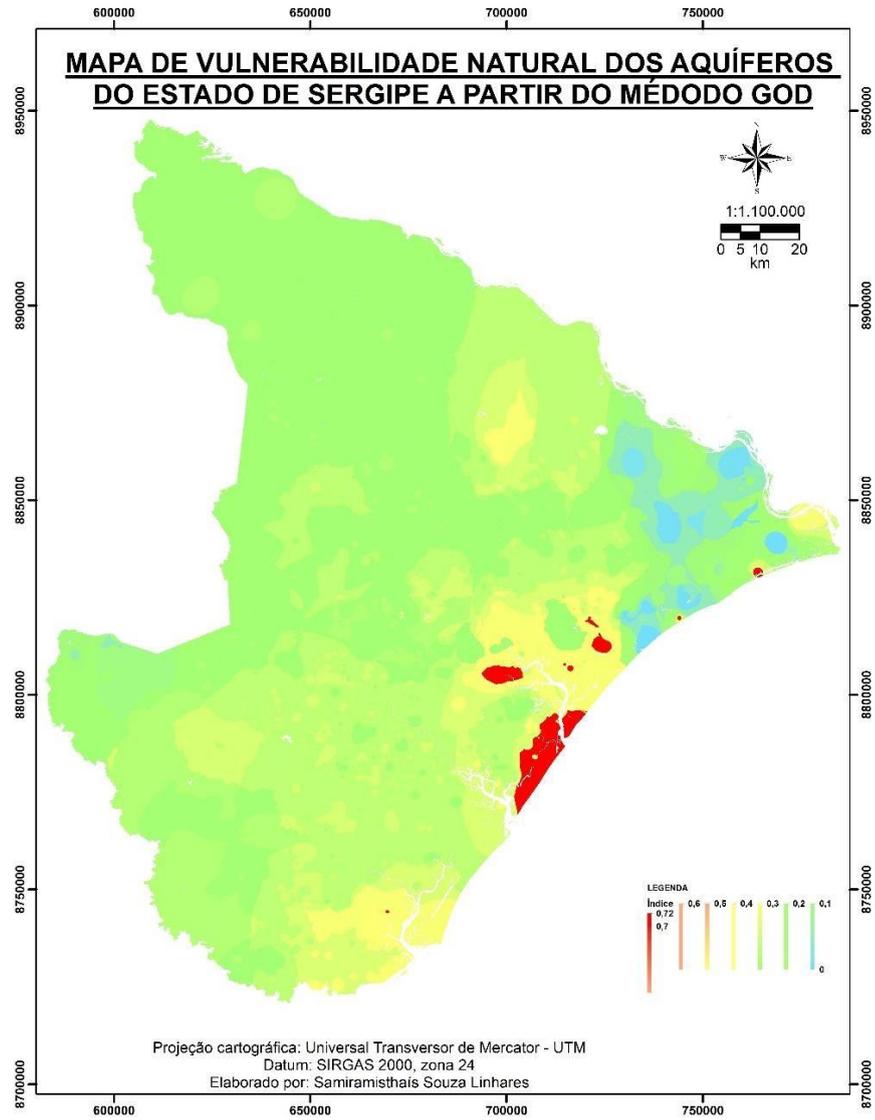
As áreas com índice de vulnerabilidade insignificante, cor azul, são observadas na região nordeste do Estado, considerada Baixo São Francisco, além de manchas pontuais na porção sudoeste, Centro Sul Sergipano. A explicação se dá devido a análise dos perfis dos poços da região que apresenta para o parâmetro (G) fluxo ascendente jorrante a aquífero confinado, com camadas litológicas à base de siltito (O) e nível estático acima de 20 metros de profundidade (D).

A coloração verde, presente em todas as regiões do estado, representa baixa vulnerabilidade do aquífero a contaminação, possuiu variação de 0,112 a 0,269, estando inserida predominantemente na região de bacias sedimentares, Sub-bacia de Sergipe e do Tucano, regiões leste e sudoeste, respectivamente. A explicação para tal classificação corresponde, principalmente, ao grau de confinamento do aquífero destas regiões.

Regiões com vulnerabilidade média possuem índices variando de 0,3 a 0,5, representada pela cor amarela no mapa, região Leste e Médio sertão, sendo assim classificada devido ao grau de confinamento do meio aquífero.

A maior vulnerabilidade encontrada (cor vermelha) está presente na região da Grande Aracaju, predominantemente, na capital sergipana. Esse índice se deve ao grau de confinamento ser não confinado, caracterizando um aquífero livre, a litologia da zona vadosa ser composta por sedimentos arenosos e possuir nível estático menor que 5 metros, obtendo os maiores valores para o índice de vulnerabilidade GOD. Nas demais regiões está associado a presença de calcário na ocorrência de estratos de cobertura.

Figura 11: Mapa de vulnerabilidade GOD.



3.4 CONCLUSÕES

A elaboração do mapa da vulnerabilidade GOD tem como objetivo auxiliar na gestão de águas subterrâneas de Sergipe, colaborando para manutenção da qualidade das mesmas. Optou-se pela metodologia GOD, em virtude da fácil aplicabilidade, que através de seus pesos igualitários demonstra potencial na análise da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, utilizando características naturais deste através de sistema de informações geográficas e a delimitação das áreas mais propícias à contaminação.

O mapa final de vulnerabilidade de aquíferos a contaminação no estado de Sergipe, a partir do método GOD, permite a realização de análise superficial a partir das classes de vulnerabilidade encontradas nos mapas, correlacionando áreas com vulnerabilidades comuns.

Os menores valores ocorreram na região do Baixo São Francisco, em virtude do contexto geológico da área, apresentando vulnerabilidade insignificante. As regiões do Agreste, Alto Sertão, Centro Sul e Médio Sertão apresentaram vulnerabilidade variando de baixa à média. O Leste e a Grande Aracaju foram classificadas como zonas de média e extrema vulnerabilidade, sendo o maior valor registrado no município de Aracaju.

Dentre as áreas analisadas, pode-se identificar que o município de Aracaju necessita de atenção especial em virtude da vulnerabilidade extrema, fator esse ocasionado, principalmente, pelo grau de confinamento do aquífero não confinado e da profundidade do nível estático, inferior a 5 metros, necessitando de estudos mais detalhados para tomada de ações e precauções que evitem a infiltração de possíveis contaminantes. Recomenda-se aos órgãos ambientais o monitoramento frequente dessas áreas.

4 CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS EM ARACAJU, ESTADO DE SERGIPE.

4.1 INTRODUÇÃO

A exploração de águas subterrâneas para diversas finalidades tem sido crescente em todo mundo. Sabe-se que a água subterrânea corresponde a mais de 35% do abastecimento da população brasileira, chegando a mais de 70% no estado de São Paulo que são abastecidas de forma integral ou parcial por esse recurso (HIRATA, 2014).

Aracaju, capital do Estado de Sergipe, possui aproximadamente 181, 857 km² e população de 650.106 pessoas, sendo classificada com 33^o cidade com maior densidade demográfica do país (IBGE, 2016). Possui abastecimento misto, sendo 95% de águas superficiais e o restante de água subterrânea, entretanto na capital sergipana não há estudos específicos relacionado ao tema, tendo em vista que conhecer a disponibilidade do sistema aquífero e qualidade de suas águas é imprescindível para uma melhor gestão desses recursos, facilitando a tomada de decisão e aplicação de medidas compatíveis com a situação.

Sendo assim, este trabalho objetiva elaborar o mapeamento e análise da vulnerabilidade dos aquíferos no município de Aracaju, por meio da aplicação do índice DRASTIC, de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade, proposto por Aller et al. (1987). Ressalva-se que este trabalho é pioneiro no município e visa auxiliar na gestão de recursos hídricos da área, tendo em vista a necessidade de conhecer as regiões mais vulneráveis a contaminação para facilitar na tomada de decisão.

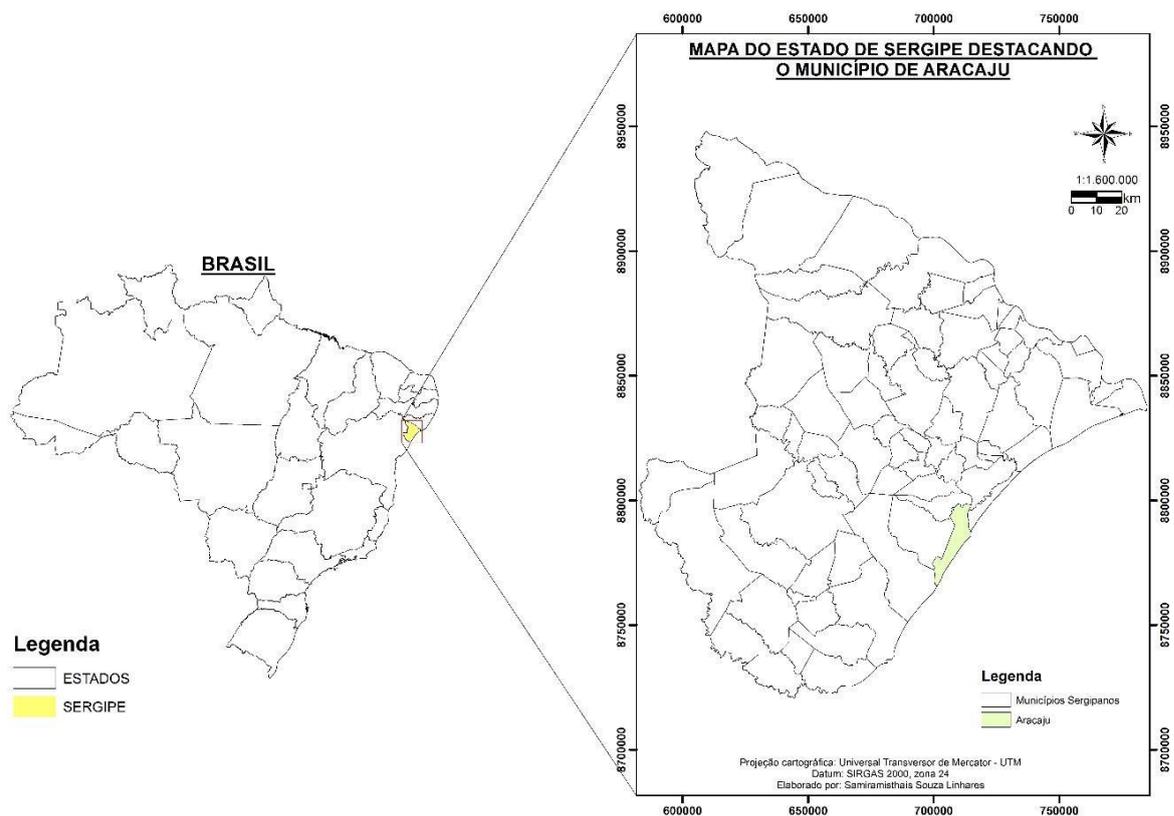
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, está inserido no território da Grande Aracaju e possui extensão de 181,9 km² (IBGE, 2016). Limita-se a leste pelo Oceano Atlântico, a sul por Itaporanga D’Ajuda, a oeste por São Cristóvão e Nossa Senhora do Socorro e norte pela Barra dos Coqueiros, conforme observado na figura 12, possuindo atualmente 40 bairros distribuídos ao longo da sua extensão (NASCIMENTO, 2018)

A região analisada está inserida na zona intertropical, sendo o clima caracterizado como tropical e úmido compatível a classificação climática de Köppen do tipo Am (Anjos, 2017). Segundo INMET (2018), a pluviosidade média anual da área é de 1.300 mm, com umidade relativa do ar em torno de 70% e a temperatura média de 27°C.

Figura 12: Área de estudo

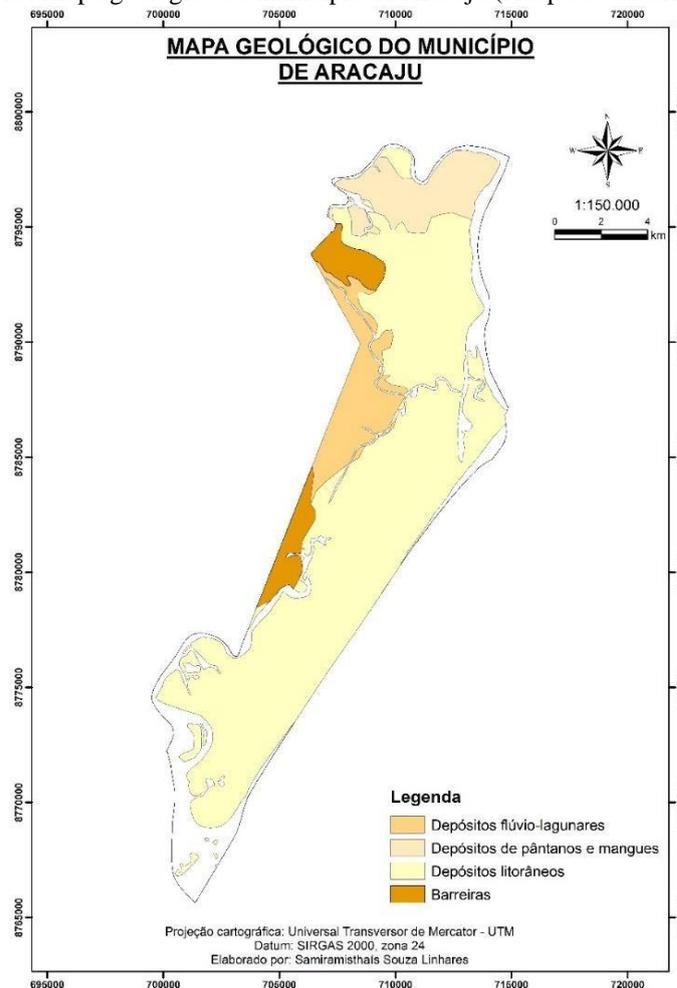


Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

Segundo Santos (2001), a geologia do município de Aracaju corresponde as formações superficiais cenozóicas que abrangem o Grupo Barreiras, as coberturas terció-quaternárias e quaternárias (pleistocênicas e holocênicas) (figura 13). No município de estudo, os depósitos

do Grupo Barreiras ocorrem nas regiões noroeste e sudoeste, sendo constituídos por sedimentos terrígenos que variam de cascalhos conglomeráticos a níveis de argila, não consolidados, de coloração variegada. Depósitos flúvio-lagunares, litologicamente, são constituídos por areias e siltes argilosos, ricos em matéria orgânica e, localmente, com conchas e pedaços de madeira no município estão localizados na região oeste. Os depósitos de litorâneos estão distribuídos na região centro-leste da área de estudo e são constituídos por sedimentos arenosos com argila. Os depósitos de pântanos e mangues distribuem-se na porção norte do município e representam sedimentos argilo-siltosos, ricos em material orgânico, resultantes do desenvolvimento dos manguezais. (BITTENCOURT *et al.*, 1983; BRUNI SILVA, 1983).

Figura 13: Mapa geológico do município de Aracaju (Adaptado da SRH, 2014)



Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

A hidrogeologia do município, em virtude das características geológicas e similaridades na ocorrência de água subterrânea, é caracterizada pela Província Costeira representada pelas formações superficiais cenozóicas, constituídas por pacotes de sedimentos que recobrem rochas sedimentares mais antigas da Sub-bacia Sergipe. Esses aquíferos

possuem como características principais a alta permeabilidade em terrenos arenoso e porosidade primária, possibilitando condições de armazenamento e fornecimento d'água, sendo classificados como aquífero granular. Neste trabalho nomeou-se os aquíferos conforme mapa geológico, classificando-os como Aquífero Barreiras e Aquífero de Sedimentos Holocênicos.

Aquífero Barreiras - Correspondem aos sedimentos do Grupo Barreiras sendo estes, do ponto de vista litológico, heterogêneo, variegando desde arenitos pouco argilosos a conglomeráticos, até argilas (LUCENA, 2004).

Segundo Trolei (2018) este aquífero possui vazões exploráveis que variam de 5 a 100 m³/hora, contudo, aplicando uma super - exploração do reservatório, associado a irregularidade pluviométrica, esgotaria o mesmo.

Aquífero de Sedimentos Holocênicos - Representam depósitos aluviais, flúvio – lagunares, de pântanos, mangues e dunas, sendo classificados como muito vulneráveis pois as águas subterrâneas são rasas ou freáticas, ou seja, formam aquíferos livres (REBOUÇAS, 2002). A recarga neste tipo de aquífero se dá exclusivamente por chuvas e perdas significativas por vazamentos na rede de distribuição de abastecimento d'água e saneamento (ROCHA,2005). Segundo Vasconcelos (2006), poços tubulares nessas áreas podem produzir vazões de até 12 m³/hora.

422 METODOLOGIA APLICADA

4221 OBTENÇÃO, TRATAMENTO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS MAPAS

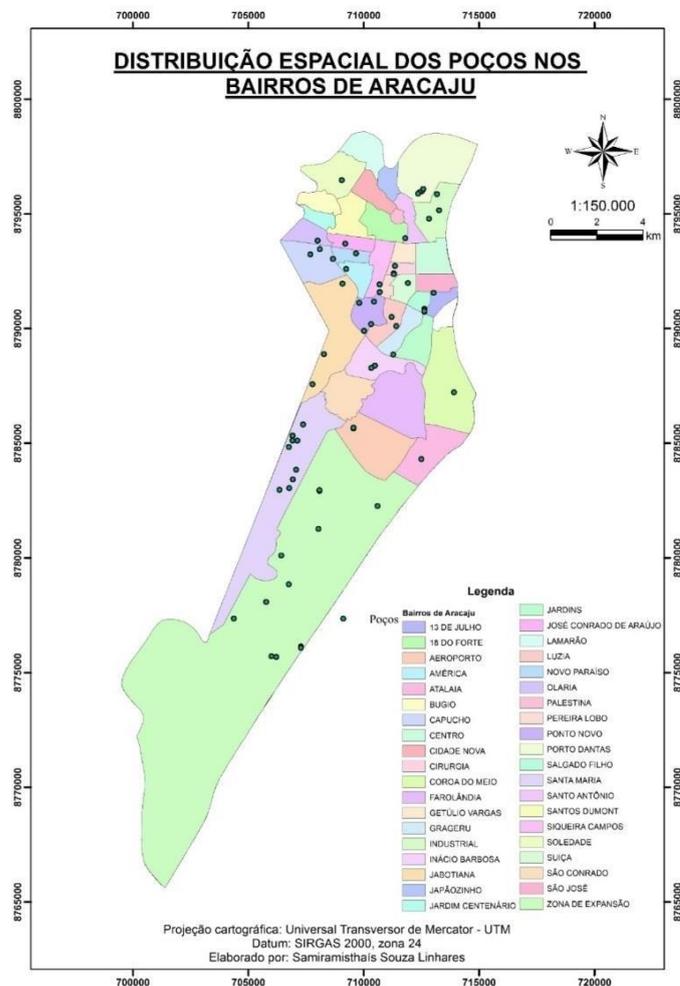
Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados de poços tubulares existentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e da Companhia de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO), correspondendo a 138 poços. Após análise e comparação entre as informações, estabeleceu como base para o trabalho 66 dados catalogados na área de estudo (figura 14), onde foi possível a elaboração de planilha eletrônica com informações técnicas cadastradas referentes as coordenadas em projeção Universal Transversor de Mercator (UTM), Datum Sirgas 2000, dados técnicos do perfil construtivo e litológico do poço, dados de bombeamento (profundidade do nível estático em metros) e tipo de solo da área, visando os critérios para aplicabilidade do método DRASTIC.

A partir dos dados extraídos da planilha eletrônica, foi realizado o processamento das informações, interpolou-se segundo o método determinístico IDW, pois baseia no princípio de

que as propriedades especializadas próximas umas das outras são mais semelhantes do que aqueles que estão afastados e representar melhor os itens apresentados, quando comparados aos métodos de Krigagem e Natural Neighbor. Foram gerados rasters em resolução 10 m, resultantes da interpolação dos dados de profundidade do nível estático (metros), litologia do meio aquífero, zona vadosa e tipo de solo, condutividade hidráulica e recarga do aquífero. Ressalva-se que a condutividade hidráulica e recarga do aquífero foram estimadas conforme litologia do meio e uso do solo, Fetter (1988) e Nobre (2006), respectivamente.

Posterior a geração dos rasters, para avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos utilizou métodos indexadores, ou seja, foram atribuídos dados índices e, conseqüentemente, pesos, a partir dos parâmetros hidrogeológicos e antrópicos, quantificados e qualificados, gerando 8 mapas, sendo 7 atribuídos aos parâmetros conforme quadro 5 e 1 resultado da aplicação dos parâmetros e da fórmula de poluição potencial (quadros 6 e 7), utilizando o *software* ArcGis.

Figura 14: Mapa da distribuição espacialização dos dados de poços no município de Aracaju.



Fonte: Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe, SRH (2014), modificado pela autora.

4222 MÉTODO DRASTIC

O método DRASTIC proposto por Aller *et al.* (1987), utiliza 7 parâmetros abaixo explicados.

4.2.2.2.1 Parâmetro D

O nível estático corresponde a profundidade do nível da água dentro do poço, sendo este de maior importância para a determinação da vulnerabilidade natural determinada pelo método DRASTIC, possuindo peso relativo 5, caracterizado como máximo.

Como critério fundamental para confecção desse parâmetro, a profundidade do nível estático foi extraída dos perfis de poços coletados na área de estudo, sendo apresentados na tabela 9 os intervalos de classes das profundidades do nível d'água.

4.2.2.2.2 Parâmetro R

Define-se como recarga do aquífero toda e qualquer água que infiltra a zona de recarga e alimenta o mesmo, alcançando a zona saturada. A fonte de alimentação ocorre por três fatores principais: infiltração pluviométrica direta, transferência de fluxos subterrâneos de sistemas aquíferos sobrepostos e atividades adicionais (urbanas e/ou agrícolas) (SILVA, 2013).

Nas áreas urbanas, ocorre a diminuição da infiltração de águas meteóricas em virtude da impermeabilização do terreno, a medida que ocorre contribuição artificial de recarga ao aquífero em virtude do vazamento de condutos da drenagem urbana e lagos de rejeito, sendo proposto por Nobre (2006) a equação abaixo, que tem como finalidade integrar a recarga final valores de infiltração a partir dos diversos usos do solo:

$$\mathbf{R = 10\% P + R_A}$$

Sendo:

- R – Recarga final do aquífero em mm/ano;
- P – Precipitação total anual em mm/ano;
- R_A – Recarga artificial do aquífero em mm/ano

Os dados pluviométricos da área de estudo foram coletados no site do INMET (2017), sendo o mapa gerado a partir da interpolação das informações coletadas da recarga direta que é proveniente da precipitação total anual e da recarga artificial do aquífero considerando a

metodologia proposta por Nobre (2006). A partir dos mapas, foi possível inferir o grau e, posteriormente, inferir o fator de ponderação 4.

4.2.2.2.3 *Parâmetro A*

Refere-se ao meio aquífero a litologia da zona saturada, possuindo fator de ponderação 3. Para confecção dos mapas desse parâmetro, foi de suma importância os perfis litológicos dos poços, onde foi possível observar a análise descritiva das amostras no momento da perfuração e indexá-la conforme apresentado na tabela 9.

4.2.2.2.4 *Parâmetro S*

Para realização deste procedimento avaliou o mapa de solos da área (EMBRAPA, 1975), adaptando as características bibliográficas as texturais analisadas nos perfis litológicos, cujo objetivo principal foi classificar os atributos sendo atribuídos seus respectivos pesos, conforme metodologia proposta.

4.2.2.2.5 *Parâmetro T*

Neste parâmetro foi utilizado o modelo Digital do Terreno – MDT da região de estudo, para interpolação da altitude através do método Triangular Irregular Networks (TIN). A partir do TIN, foi possível criar o Modelo de Declividade do Terreno a partir do ângulo de inclinação entre a superfície e um plano horizontal, que pode ser analisada em porcentagem, gerando o mapa topográfico do terreno, sendo indexado conforme tabela 9. Ressalva-se que apesar do tratamento necessário para a geração deste mapa, este parâmetro possui menor relevância do método, sendo atribuído peso 1.

4.2.2.2.6 *Parâmetro I*

O impacto da zona não saturada (I) corresponde a litologia da zona vadosa, afetando o tempo de penetração de uma pluma contaminante no meio aquífero, possuindo fator de ponderação 5. Assim como no parâmetro do meio aquífero (A), os usos dos perfis litológicos foram cruciais para indexação das litologias, conforme tabela 9.

4.2.2.2.7 *Parâmetro C*

A condutividade hidráulica está relacionada a permeabilidade do meio, quantificando como aquífero transmite água em meio poroso. Sabe-se que a condutividade hidráulica depende do meio, sendo considerado neste trabalho a litologia do aquífero comparada a dados bibliográficos de condutividade, parametrizando conforme tabela 9 e atribuindo peso 3.

Tabela 9: Parâmetros de ponderação do método DRASTIC (Adaptado de Aller, et al.,1987)

D – PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		R – RECARGA DO AQUIFERO		A – MEIO AQUIFERO		
INTERVALO (m)	GRAU	INTERVALO (cm)	GRAU	TIPO	GRAU CLASSIFICAÇÃO	TÍPICO
0 – 2	10	0 – 3	1	Argilito maciço	1 – 3	2
2 – 5	9			Rocha metamórfica/ígneas	2 – 5	3
5 – 10	7	3 – 10	3	Rocha metamórfica/ígneas intemperizadas	3 – 5	4
10 – 17	5	10 – 18	6	Till glacial	4 – 6	5
17 – 26	3	18 – 25	8	Argilito/siltito laminada (o)	5 – 9	6
26 – 34	2	> 25	9	Arenito maciço	4 – 9	6
> 34	1			Calcário maciço	4 – 9	6
				Areia ou cascalho	4 – 9	8
				Basalto	2 – 10	9
				Calcário cárstico	9 – 10	10

S - SOLO		T - TOPOGRAFIA		I – MATERIAL DA ZONA VADOSA			C – CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	
TIPO	GRAU	INTERVALO (%)	GRAU	TIPO	GRAU CLASSIFICAÇÃO	TÍPICO	INTERVALO (m/s)	GRAU
Fino/ausente	10	0 – 2	10	Camada confinante	1	1	$5.10^{-7} - 5.10^{-5}$	1
Cascalho	10	2 – 6	9	Silte/Argila	2 – 6	3	$5.10^{-5} - 1.10^{-4}$	2
Areia	9	6 – 12	5	Argilito	2 – 5	3	$1.10^{-4} - 3.10^{-4}$	4
Turfa	8	12 – 18	3	Calcário	2 – 7	6	$3.10^{-4} - 5.10^{-4}$	6
Argila estruturada	7	> 18	1	Arenito	4 – 8	6	$5.10^{-4} - 10.10^{-4}$	8
*Loam	5			Argilito/Siltito laminado	4 – 8	6	> 10.10^{-4}	10
Loam siltoso	4			Areia e cascalho com silte/argila	4 – 8	6		
Loam argiloso	3			Rocha metamórfica - ígneas	2 – 8	4		
**Muck	2			Areia e cascalho	6 – 9	8		
Argila maciça	1			Basalto	2 – 10	9		
				Calcário cárstico	8 – 10	10		

4.3 RESULTADOS

4.3.1 MAPA DE VULNERABILIDADE DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO - NE (D)

O nível estático dos poços tubulares distribuídos na área de estudo possui profundidade variando de 0 a 28,40 m, como pode ser observado no tabela 10.

Tabela 10:Referente a profundidade do nível estático, seus índices e porcentagens.

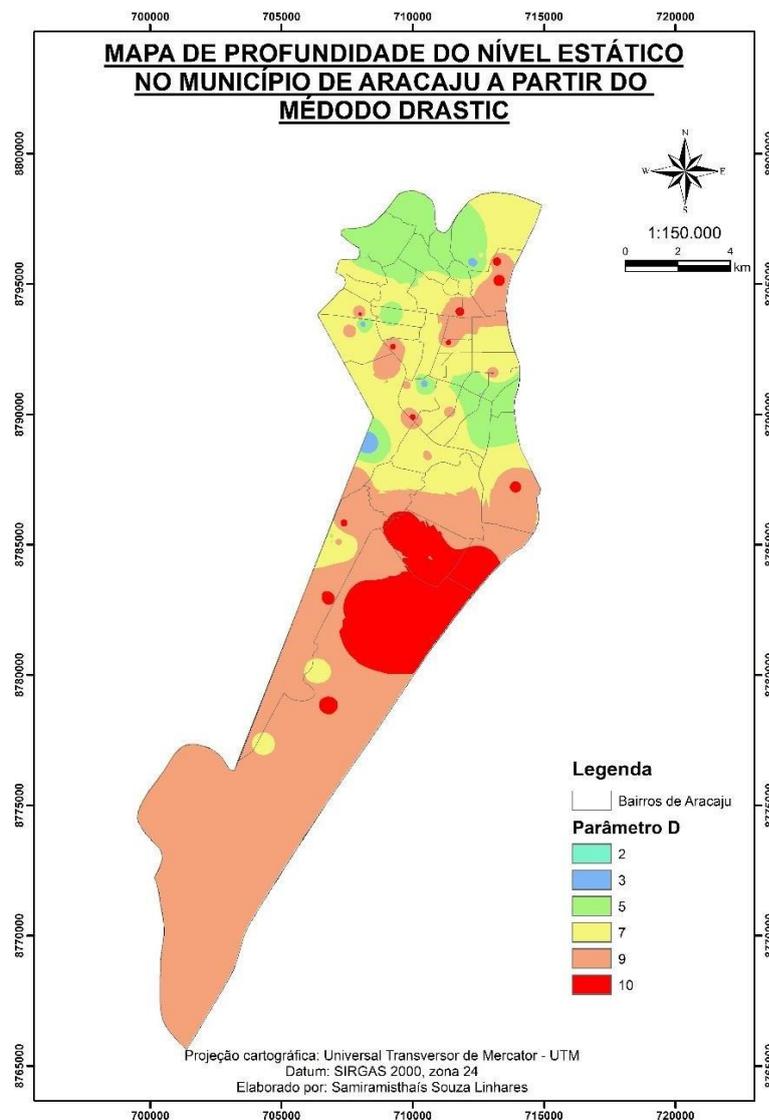
Profundidade do NE (m)	Índices	Nº de Poços	%
0 – 2	10	21	31,82%
2 – 5	9	15	22,73%
5 – 10	7	15	22,73%
10 – 17	5	10	15,15%
17 – 26	3	4	6,06%
26 – 34	2	1	1,52%
> 34	1	0	0,00%

Dos 66 registros observados, 31,82% apresentam NE entre 0 e 2,00 m receberam índice 10. Destes, 3 poços exibiram cota do nível d'água 0,00 m, ou seja, igual a superfície do terreno, tal fato é evidenciado pela sua localização abaixo da superfície potenciométrica associada a aquífero semi-confinado. Entre 2 a 5 m, 15 poços receberam índice 9, representando 22,73%, assim como profundidades de 5 a 10 m que apresentaram mesma quantidade de poços, sendo atribuído valor 7. Foi concedido índice 5 aos registros com níveis variando de 10 a 17 m, representando 15,15% dos poços. Entre 17 e 26 m, apenas 4 poços catalogados atendiam tal parâmetro, correspondendo 6,06%. Apenas 1 poço, com profundidade de 28,4m, atendeu a classe de 26 a 34 m, representando 1,52%. Não se obteve neste trabalho profundidades de NE superior a 34 metros.

Na figura 15 é apresentado o mapa resultante da interpolação dos dados supracitados de profundidade do nível estático na área de estudo com atribuição de índices de ponderação proposto pela metodologia DRASTIC. No mapa é possível observar a predominância do índice 9, cujas profundidades estão entre 2 e 5 m, divergindo dos poços analisados. Isso se dá em virtude da ausência de dados de poços tubulares profundos na região da zona de expansão de Aracaju nas bases de dados consultadas. Os bairros Aeroporto, Atalaia e a porção norte da Zona de Expansão apresentaram os menores valores de nível estático, ocasionando um maior

grau conforme parâmetros do método, sendo adotado grau 10. Dos 39 bairros analisados, 33 apresentam níveis variando de 5 a 10 m, atribui-se grau 7, essencialmente nos bairros do centro e zona oeste da área de estudo. A zona norte da capital Sergipana representada pelos bairros Soledade, Lamarão e Japãozinho, Santos Dumont, Cidade Nova, 18 do Forte apresentaram níveis de 10 a 17 m, valores apresentados por alguns bairros da zona sul como Jardins, Grageru, 13 de Julho, Salgado Filho e porção norte da Coroa do Meio, sendo atribuído valor 5. Isoladamente ocorreram nos bairros Industrial, Centro Administrativo, Jabotiana e Sol Nascente, níveis com profundidade variando de 17 a 26 metros, atribuindo assim o grau 3. Pontualmente, o poço com profundidade de NE de 28,4 m e está localizado no bairro Salgado Filho.

Figura 15: Mapa de vulnerabilidade do nível estático



4.3.2 MAPA DE VULNERABILIDADE DE RECARGA (R)

A impermeabilização do solo é um fator que influencia diretamente na diminuição da recarga. Entretanto, em regiões urbanizadas a recarga final do aquífero tende a aumentar em virtude das perdas causadas por perdas de água pela rede de água e esgoto, entre outros. Para determinação deste parâmetro, utilizou-se equação proposta por Nobre (2006).

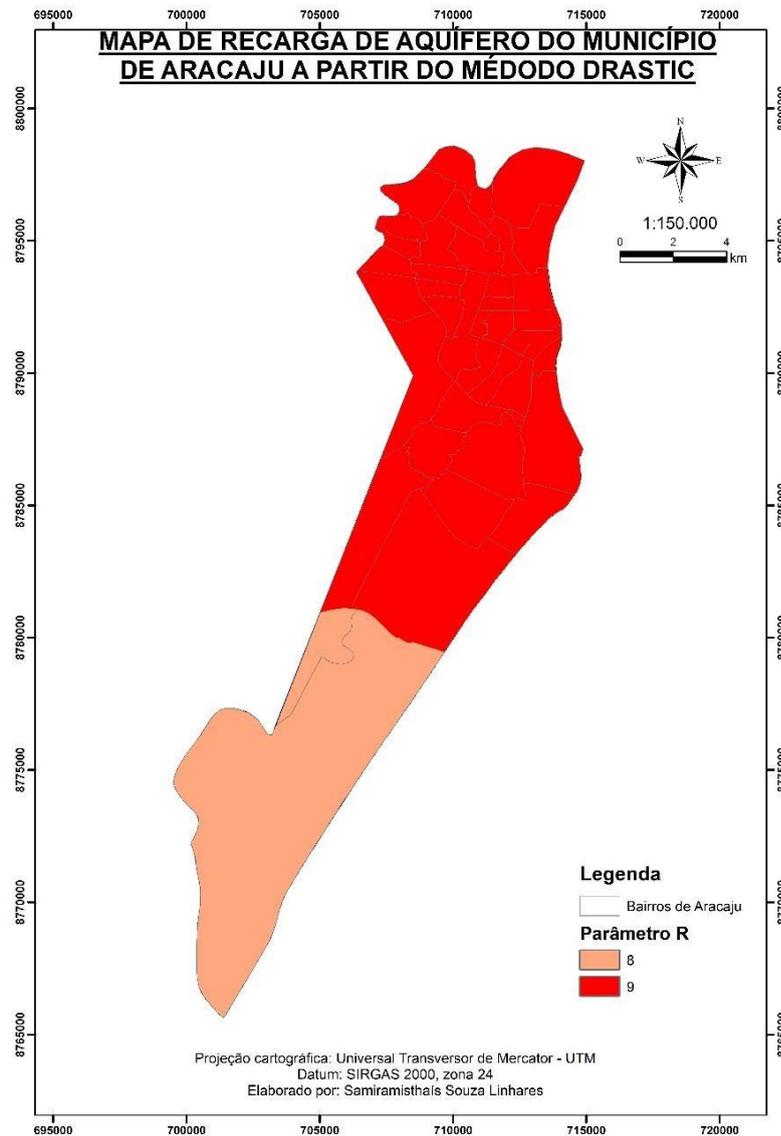
Sabe-se que a precipitação média da região é de aproximadamente 1300 mm/ano (INMET, 2017), estando a maior parte do município inserida em área urbanizada. Logo, a recarga direta proveniente da precipitação total anual é de 130 cm/ano em toda região.

Para cálculo da recarga artificial do aquífero, utilizou como base a metodologia proposta por Nobre (2006), que definiu a contribuição de recarga artificial de 300 mm/ano em áreas urbanizadas e 100 mm/ano em regiões com pouca ocupação ou agrícolas. Delimitou-se dois domínios na área de estudo: urbanizadas e pouco urbanizadas, menor índice de ocupação.

Foi gerado o mapa de recarga final do aquífero que apresentou variação de 43 cm/ano a 23 cm/ano, nas localidades com maior concentração urbana e na região sul do município, respectivamente. Posteriormente, indexou-se conforme método DRASTIC (figura 16) que apresentou grau 10 para recarga de 43cm/ano, superior aos 25cm/ano conforme quadro 5, representado no mapa pela cor vermelha em quase todos os bairros analisados e, predominantemente, na Zona de Expansão e região sul do bairro Santa Maria, apresentou recarga total de 23cm/ano sendo atribuído índice 9.

Reitera-se que neste trabalho considerou apenas a precipitação e incrementos de recarga artificial, devido a perdas no processo de abastecimento, não utilizando para cálculo efetivo a topografia e o grau de confinamento do aquífero que influenciam diretamente na quantidade de água que alimenta efetivamente o reservatório.

Figura 16: Mapa de vulnerabilidade do nível estático



4.3.3 MAPA DE VULNERABILIDADE DO MEIO AQUIFERO (A)

O aquífero da área de estudo é caracterizado como granular, com litologia variando de siltito laminado a cascalho, conforme quadro 13. Foram atribuídas notas de 4 a 9, sendo o menor valor aplicado a areias muito finas, 4,55% dos poços, e maior valor foi atribuído ao calcário, 1,52%, e cascalho, 6,06%.

Tabela 11: Referente à litologia do aquífero, seus índices e porcentagens.

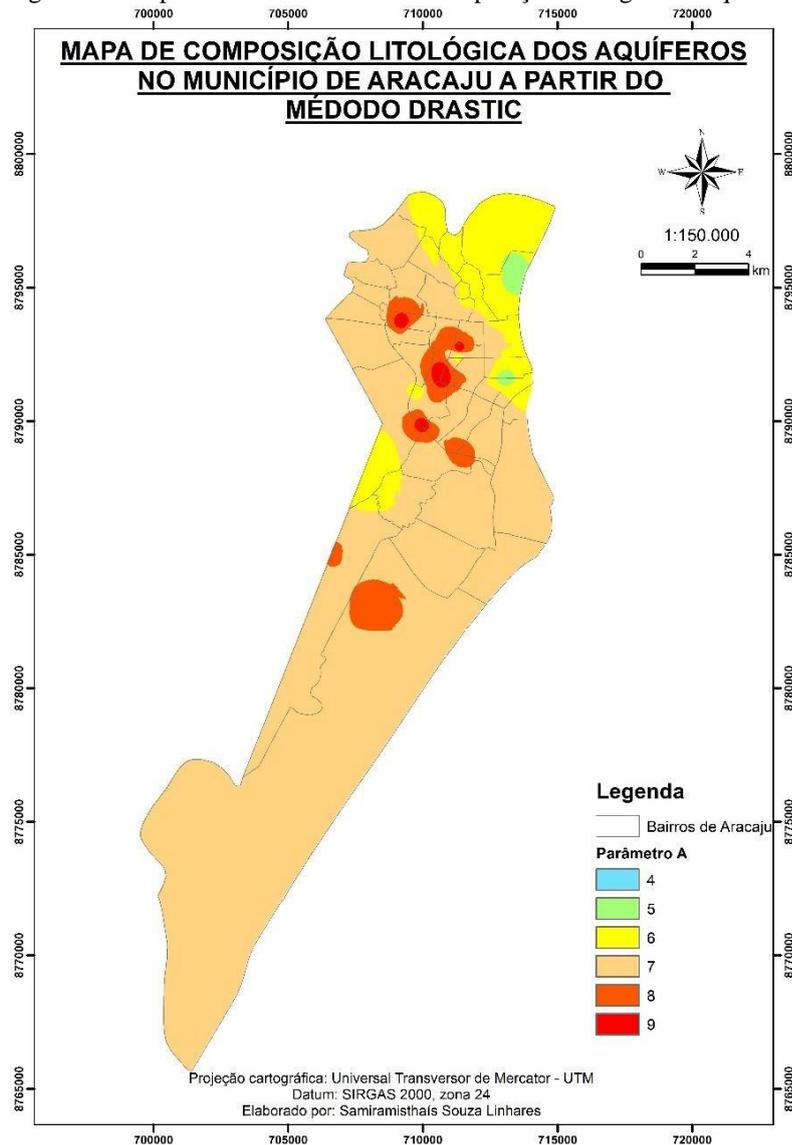
Litologia	Índice	Nº de Poços	%
Areia fina	6	27	40,91
Areia fina cascalhosa	7	1	1,52
Areia fina a grossa com argila	7	3	4,55
Areia média	7	10	15,15
Areia muito fina	4	3	4,76
Areia grossa	8	2	3,03
Cascalho com matriz areia fina a argilosa	8	2	3,03
Calcário	9	1	1,52
Cascalho	9	4	6,06
Siltito laminado	5 - 6	13	19,70%

A litologia predominante na região, cerca de 40,91%, é caracterizada como areia fina, representada por 27 poços, sendo atribuído índice 6, seguida pela diversidade deste material que varia de muito fina a cascalhosa, representando cerca de 28,78% dos poços em análise, e índices entre 6 e 8, não apresentando uma alta amplitude de valores. Siltito laminado corresponde a 19,70% da litologia, apresentando índices entre 5 e 6, cuja variação ocorreu em relação ao grau de compactação descrito no perfil. Os maiores índices correspondem as áreas onde ocorrem calcário e cascalho, em virtude do potencial de carstificação do meio e a alta permeabilidade, respectivamente.

Na figura 17 é possível observar a predominância de areia nos perfis, ocupando diversos bairros na capital, representado no mapa pela coloração creme, salientando os aquíferos holocênicos do município. A região de cor amarela, índice 6, apresentada nos bairros localizados a norte e oeste do município está relacionada à detecção de depósitos de areia fina. Os bairros Industrial, São José e 13 de Julho apresentam índice 5, correspondendo camadas de siltito laminado significativamente espessos, representando a intercalação dos depósitos litorâneos. Entre os bairros 13 de Julho e São José existe poços cuja zona produtora corresponde a areia muito fina, índice 4, estando relacionada diretamente com o depósito anterior.

Os bairros Zona de Expansão, oeste do Santa Maria e alguns na região centro oeste do município, apresentam litologia da zona produtora variando de areia grossa a cascalhosa, representado pelo índice 8 na figura 17. Pontualmente inseridos entre os bairros Ponto Novo, Jabotiana, América, Olaria, Cirurgia e Siqueira Campos, ocorre presença de litologias cascalhosas e carbonáticas, sendo atribuídos índice 9, representando maior vulnerabilidade dessas áreas.

Figura 17: Mapa de vulnerabilidade da composição litológica do aquífero



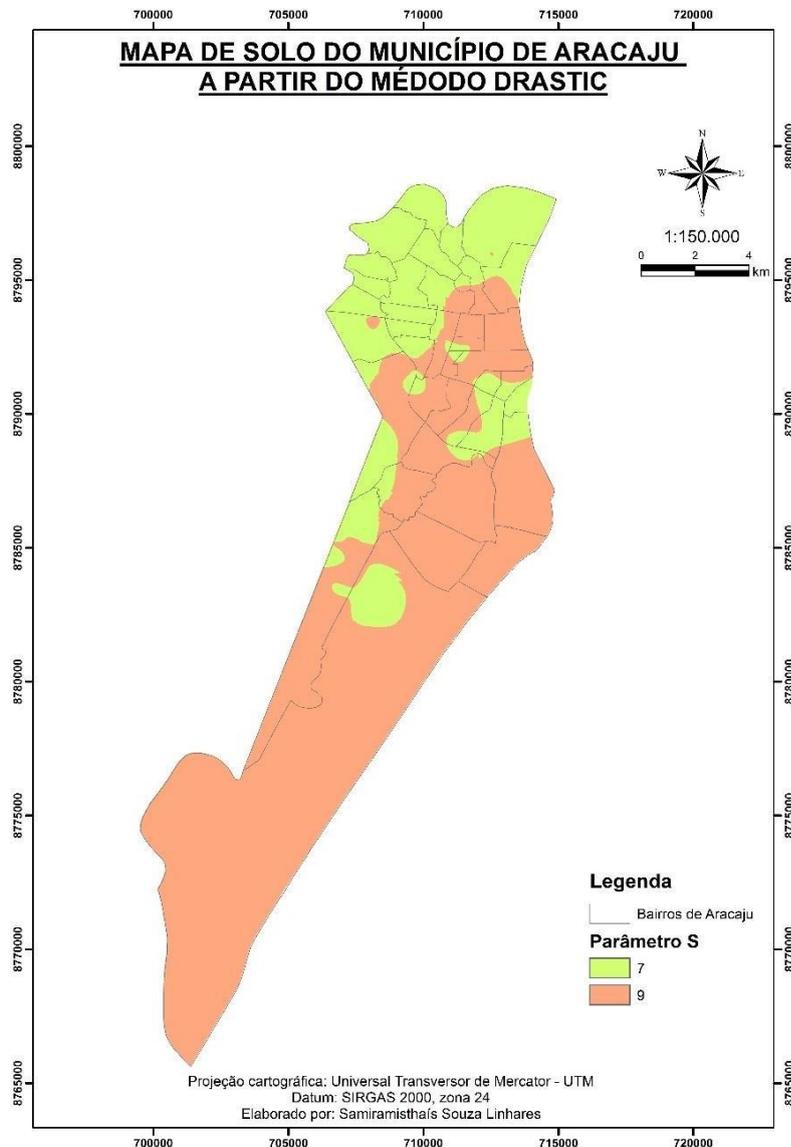
4.3.4 MAPA DE VULNERABILIDADE DO SOLO (S)

A análise de solos foi inferida a partir da descrição de amostras do topo do perfil litológico dos poços associados ao mapa de solos da Embrapa (1975), onde foi possível identificar duas classes distintas associados a dois materiais de forma espacializada e intercalada. A predominância dos solos na área de estudo são os podzol e halomórficos, essencialmente arenoso e argiloso, respectivamente.

Conforme figura 18, a maior vulnerabilidade encontrada na área de trabalho está disposta nas zonas sul e nordeste da cidade, onde há a predominância dos Podzol, cor laranja, possibilita a infiltração de poluentes em virtude da fácil permeabilidade do mesmo, sendo este o principal motivo do índice 9. Nas regiões norte e oeste, ocorrem solos halomórficos, cor

verde, indexados com grau 7, apresentam solos com textura areno-argilosa, diminuindo comparativamente permeabilidade o contaminante.

Figura 18: Mapa de vulnerabilidade do tipo de solo da área de estudo



4.3.5 MAPA DE VULNERABILIDADE DA TOPOGRAFIA (T)

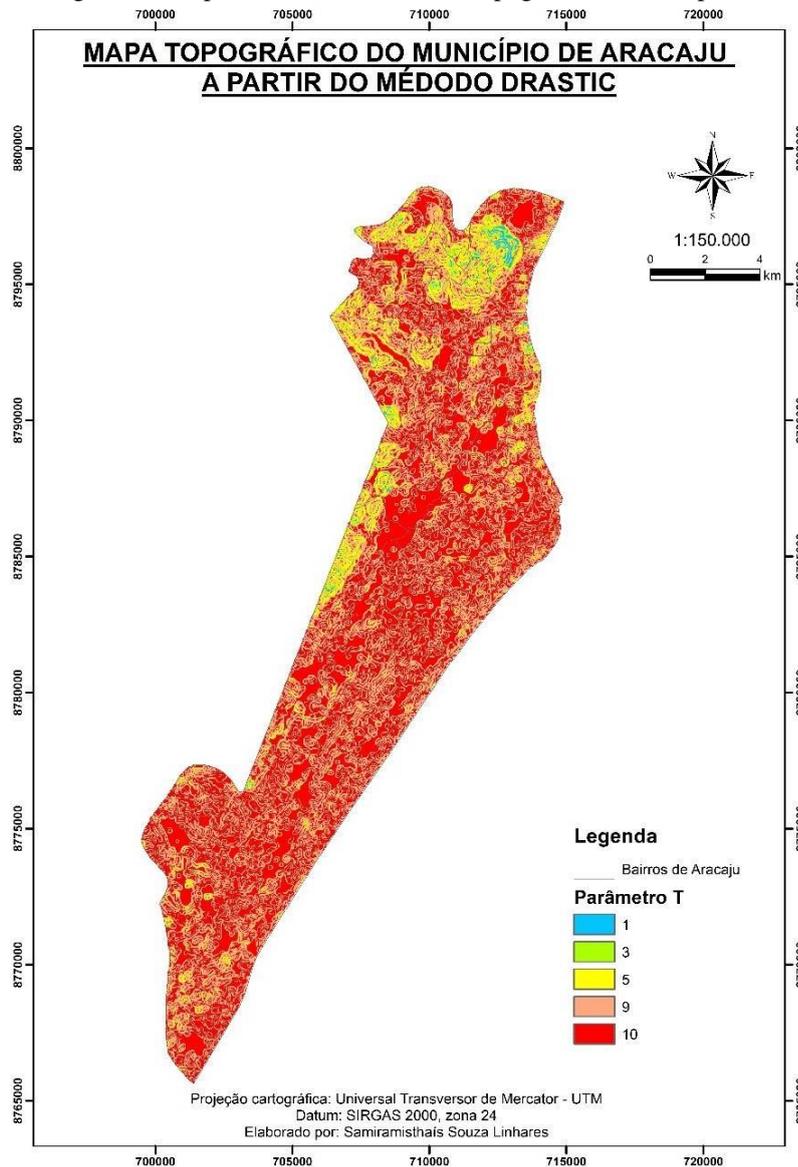
As declividades máximas variam de 12 a 18% nas regiões centro norte e oeste do município, estando ligadas diretamente aos depósitos do Grupo Barreiras, representadas pelos índices 1 e 3 na figura 19, indicam maior dificuldade de infiltração por contaminantes em virtude da velocidade de escoamento das águas, dificultando a poluição da água subterrânea.

Sabe-se que as áreas de encostas são favoráveis à erosão e conseqüentemente à contaminação das águas, sendo classificadas neste trabalho com índice 5, e declividade

variando de 6 a 12%, associadas aos depósitos do Grupo Barreiras, na região norte e oeste, predominantemente.

A maior parte do município apresenta áreas do relevo mais planos ou suavemente ondulado, entre 0 e 6%, favorecendo diretamente a infiltração da água e potenciais contaminantes dispersos na superfície terrestre, tornando-a mais vulnerável, justificando os índices 9 e 10 do método.

Figura 19: Mapa de vulnerabilidade da topografia do município de Aracaju



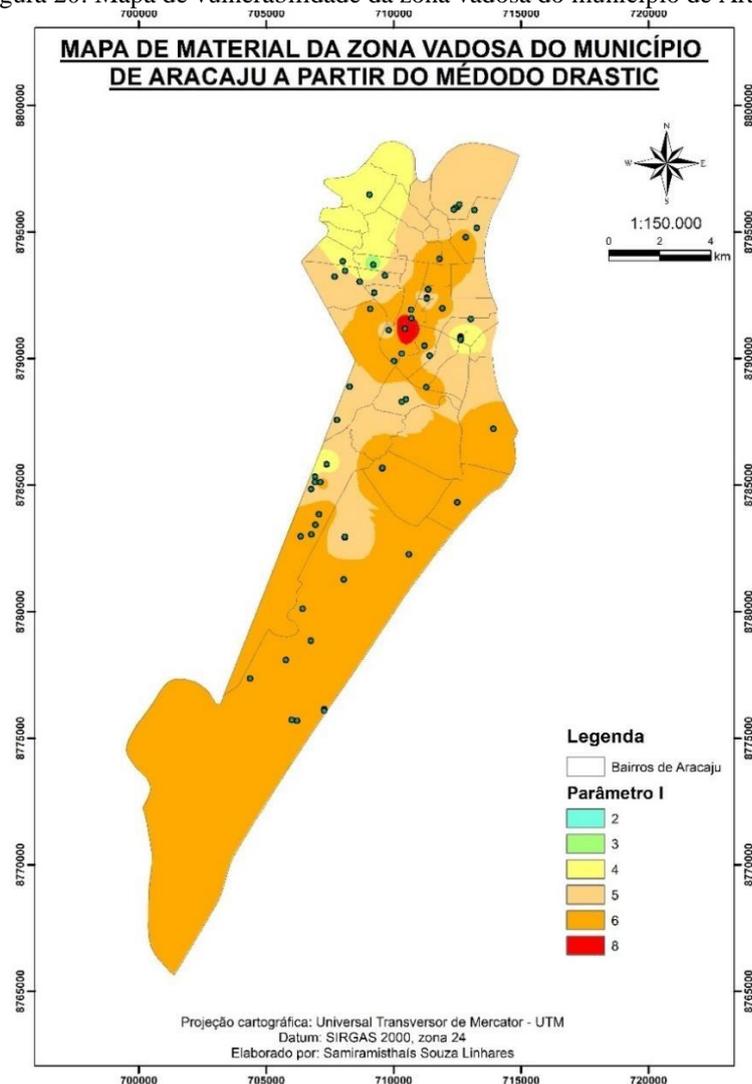
4.3.6 MEIO INSATURADO DO AQUIFERO (I)

Sabe-se que o tipo de material existente na zona insaturada influencia na velocidade vertical de percolação do poluente até atingir o aquífero. Neste trabalho, a zona insaturada e o meio aquífero possuem composição semelhante..

A máxima vulnerabilidade do meio insaturado ocorreu entre os bairros Siqueira Campos, Ponto Novo, Luzia e Pereira Lobo, estando relacionada a litologia da zona vadosa essencialmente cascalhosa, sendo atribuído índice 8. A maior parte do município recebeu índice 6, devido a representação litológica ser composta, exclusivamente, por areias de diversas granulometrias, conforme figura 20. Atribuiu-se índice 5 aos pacotes arenosos de granulometria fina intercalado com argila e silte. As camadas silte arenosas da região noroeste do município, receberam índice 4

Os diversos extratos de silte e argila encontrados na área de estudo servem como barreira para retardar o movimento perpendicular dos líquidos. As figuras 31 e 32 a seguir, apresentam os índices atribuídos e a vulnerabilidade desse parâmetro para a área estudada. Os índices 3 e 2 representam zonas insaturadas composta por materiais argilo-siltosos ou argilosos, com baixa permeabilidade, impedindo a infiltração de possíveis contaminantes.

Figura 20: Mapa de vulnerabilidade da zona vadosa do município de Aracaju

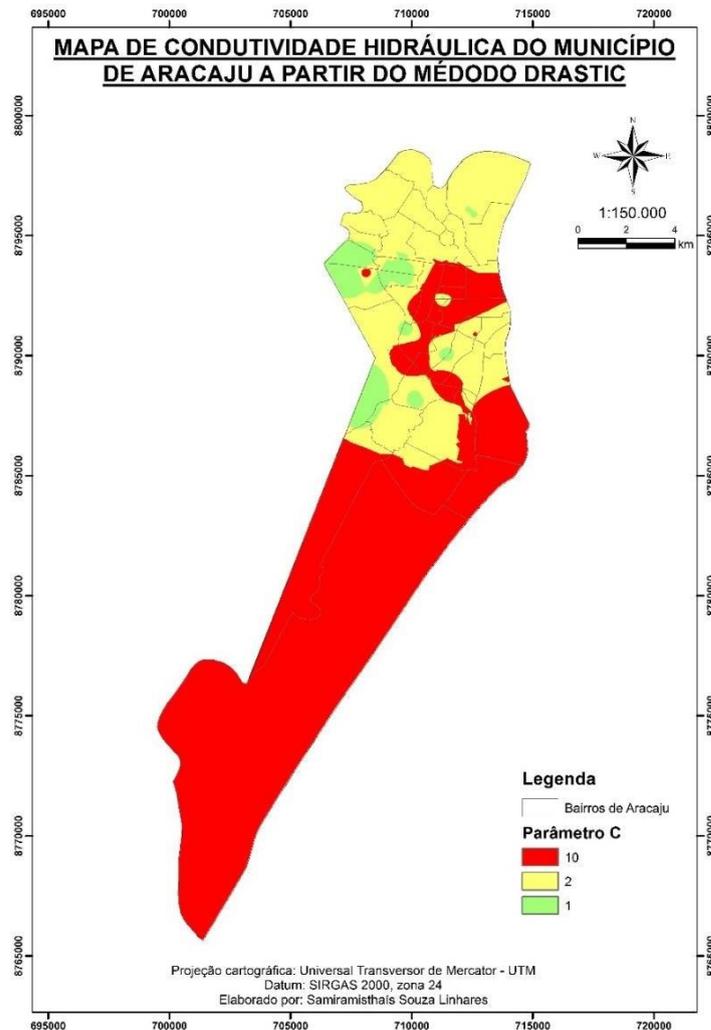


4.3.7 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO MEIO AQUÍFERO (C)

Sabe-se que a condutividade hidráulica é uma propriedade do meio físico que considera a facilidade ou dificuldade de percolação da água subterrânea. Definiu-se a condutividade hidráulica deste trabalho com base nos valores obtidos a partir de revisão da literatura (Fetter, 1988), que apresentou valores entre $5 \cdot 10^{-4}$ a $>10^{-3}$, representado por siltito laminados e areias cascalhosas bem distribuídas, respectivamente.

A região sul e central do município, representado pelo índice 10 e cor vermelha na figura 21, apresentou pacotes arenosos a cascalhosos bem distribuídos que indicam maior facilidade do fluido ao escoamento interno entre poros, que indica alta susceptibilidade do meio a contaminação. Nos bairros a norte e central, índice 2 e cor amarela na figura 21, corresponde aos depósitos de areia fina a silte arenoso, apresentando diminuição na condutividade hidráulica. Na região oeste, predominantemente, ocorreram os menores valores deste índice, 1, cor verde na figura 21, representando baixa susceptibilidade do meio à contaminação e depósitos de areias muito finas a siltito laminado.

Figura 21: Mapa de vulnerabilidade da condutividade hidráulica do aquífero no município de Aracaju



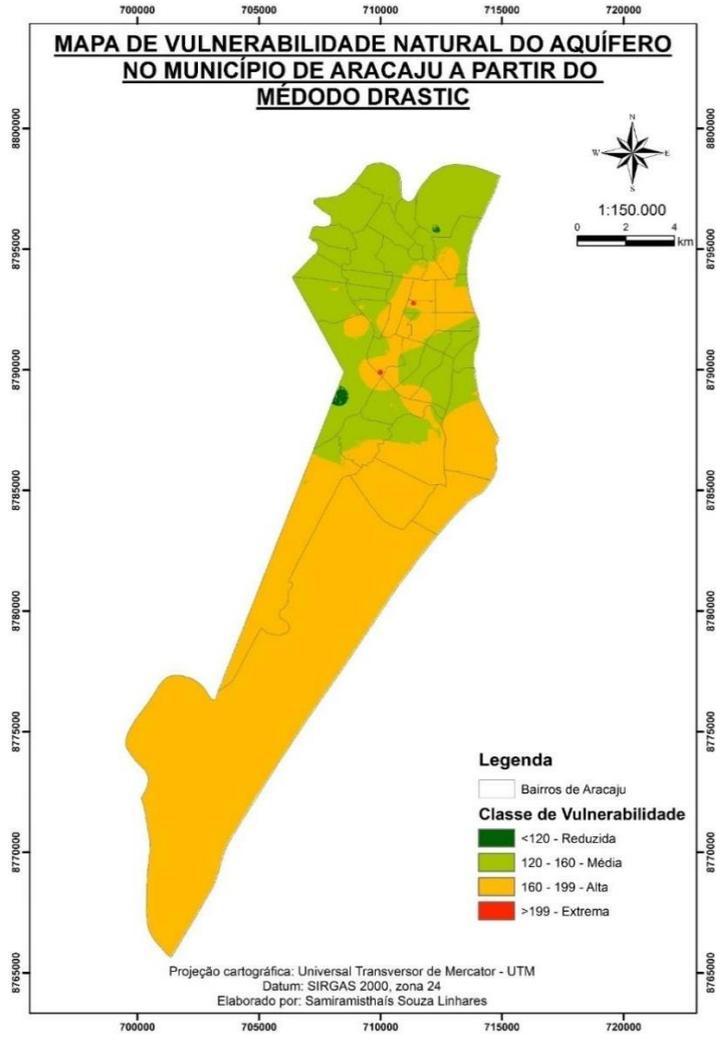
4.3.8 MAPA DE VULNERABILIDADE DE ARACAJU

Os bairros Porto Dantas e Jabotiana apresentaram pontualmente vulnerabilidade reduzida, inferior a 120, em virtude, principalmente, da profundidade do nível estático.

As comunidades das zonas oeste e norte do município apresentaram, predominantemente, vulnerabilidade média (120 – 160), associados aos resultados, principais, do tipo de solo na região.

As regiões sul e central da capital exibiram alta vulnerabilidade (160 – 190), diretamente afetadas pela profundidade do nível estático associado à condutividade hidráulica do meio, fatores que acentuam potencialmente a percolação de contaminantes ao aquífero. Os bairros Cirurgia e Ponto Novo relatou vulnerabilidade extrema, 201, resultante dos altos índices apresentados nos parâmetros anteriores, conforme figura 22.

Figura 22: Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos no município de Aracaju



4.4 CONCLUSÕES

A aplicação do método DRASTIC no município de Aracaju representa um estudo pioneiro no tema, tendo em vista que não há registros bibliográfico a cerca deste. O presente trabalho visa auxiliar na gestão de recursos hídricos e facilitar a tomada de decisão no que se refere a preservação de áreas passíveis

Os resultados obtidos variaram de 112 a 201, de vulnerabilidade reduzida a extrema. Foram classificadas como áreas de reduzida fragilidade (<120) regiões pontuais das comunidades Porto Dantas e Jabotiana. Os bairros das zonas oeste e norte do município apresentaram, predominantemente, vulnerabilidade média (120 – 160).

As regiões sul e central da capital exibiram alta vulnerabilidade (160 – 190) e, pontualmente nos bairros Cirurgia e Ponto Novo, relatou vulnerabilidade extrema (>199). Recomendam-se nessas regiões estudos detalhados referentes a fontes contaminantes, utilizando, se possível, dados de uso e ocupação com possíveis zonas poluidoras.

Conclui-se que resultados obtidos neste trabalho podem corroborar nas tomadas de decisões que objetivem a proteção das águas subterrâneas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como finalidade avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos visando um melhor entendimento das águas subterrâneas.

A aplicação do uso de técnicas de geoprocessamento foi fundamental para determinação da vulnerabilidade de aquíferos, possibilitando a utilização de distintas metodologias e comparação de resultados, contribuindo para identificação de áreas que necessitam de gerenciamento quanto a utilização das águas subterrâneas.

O método GOD no estado de Sergipe apresentou cerca de 65 % de sua área vulnerabilidade baixa, porém obteve um total de quatro classes de vulnerabilidade. A classe desprezível esteve presente em cerca de 5% da área de estudo, sendo localizada, principalmente, na região do Baixo São Francisco. Foi considerada vulnerabilidade moderada principalmente a região do Leste e Sul Sergipano

O método DRASTIC, no município de Aracaju obteve as quatro classes de vulnerabilidade, variando de 112 a 201. Sendo classificado principalmente como vulnerabilidade média a alta.

Com isso, estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos no estado de Sergipe e município de Aracaju mostrou-se válido, uma vez que esta análise possui baixo custo operacional, de cunho preventivo e orientativo, visando tomadas de decisões no planejamento de uso e ocupação do solo, além de conservação dos aquíferos, tendo em vista que o papel da comunidade científica é alertar as autoridades competentes ao melhor uso das águas subterrâneas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Ao aplicar o método GOD, recomenda-se a redução da área de análise, devido à ínfima quantidade de poços perfurados e produtores na região nordeste do Estado.
- Executar ensaios técnicos inerentes a recarga do aquífero e a condutividade hidráulica *in loco*.
- Catalogar dados de análises físico-químicas e bacteriológicas para geração de qualidade das águas subterrâneas em Aracaju e no Estado de Sergipe.
- Incluir o parâmetro Intrusão Salina na determinação da vulnerabilidade.
- Quantificar e qualificar cargas poluidoras (pluma de contaminantes) que chegam aos aquíferos, através das fossas sépticas, postos de combustíveis, indústrias e sumidouros. Correlacionar a Pluma de Contaminantes com regiões naturalmente mais vulneráveis a contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINET, M.; MARGAT, J. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. **Bulletin du BRGM, 2^{ème}. Série.** Orléans, v. 3, n. 4, p – 13 – 22, 1970.

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H., PETTY, R.J., HACKETT, G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. [Washington, D. C]: **US Environmental Protection Agency.** Ada, Oklahoma. p. 643, 1987. Disponível em:

<<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20007KU4.PDF?Dockey=20007KU4.PDF>>, acesso em 10 de agosto de 2016.

ALMEIDA, F. F. M.; NEVES, B. B. de B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**, 8., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

AGUIAR, F. G., **Estudos hidrométricos do Nordeste Brasileiro**, Rio de Janeiro: IFOCS, 1939. (Bol. 12).

ANJOS, Max et al. REDE CLIMATOLÓGICA DE MESOESCALA APLICADA AO ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO: O CASO DE ARACAJU-SE. **Caminhos de Geografia**, [S.l.], v. 18, n. 62, p. 203-216, jun. 2017. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/37003>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

ARTUSO, E.; OLIVEIRA, M.M.; LOBO FERREIRA, J.P.C. – Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas no setor de Évora do Sistema Aquífero de Évora – Montemor – Cuba. In: **Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento.** Editora Universitária da UFPE, v. 4, p. 277 – 331, 2004.

ARACAJU. **Plano diretor de desenvolvimento urbano de Aracaju – Diagnóstico Municipal: [CAPÍTULO VI – ASPECTOS DA INFRAESTRURA]**. Aracaju, 2015. Relatório. Disponível em <<https://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/plano-diretor-vpreliminar-jul2015/CAPITULO-VI-INFRAESTRUTURA.pdf>>, acesso em 15 de abril de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002b.

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n. 4, p. 85-103. 2004.

AUZANI, G. M. **Uso da terra e caracterização hidropedológica na região de Vila Kramer, São Francisco de Assis – RS**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F.; GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha ES. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, Anais...** p. 3279-3286, 2007. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.42/doc/3279-3286.pdf>>, acesso em 05 de janeiro de 2018.

BANCO MUNDIAL E MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Análises e Proposta de Aperfeiçoamento do Sistema do Ceará** – 1ª edição – Brasília – 2004. 84p.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. et al. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 13, nº 2, p. 93-97, jun. 1983. BRUNI, M. A. L.; SILVA, H. P. Geologia. In: **MAPA Geológico do Estado de Sergipe**. Escala 1:250.000. Aracaju: MME/DNPM/SICT/CODISE, 1983.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente, **Ambiente, Meio Ambiente e Vida**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/cgmi/nossoamb/agua/agua/ndx01.html>>, acesso em: 10/10/2016.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988. p. 292 Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>, acesso em: 03/09/2016.

BRASIL, **DECRETO Nº 24.643, DE 10 DE JULHO DE 1934**, Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934; 113º da Independência e 46º da República. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>, acesso em: 03/09/2016.

BRASIL. **LEI NO. 9.433. DE 8 DE JANEIRO DE 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília, 8 de janeiro de 1997; 176º da Independência e 109º da República Brasília, DF. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>, acesso em: 05/09/2016.

BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981.** Dispõe sobre Política Nacional do Meio Ambiente, Brasília, em 31 de agosto de 1981; 160º da Independência e 93º da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>, acesso em: 05/09/2016.

BÓS, S. M. Importância do estudo da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas. **Periódico Eletrônico.** Fórum Ambiental da Alta Paulista. ISSN 1980 – 0827. Volume III, 2007.

BOSCATTO, F.; PROCHNOW, R. M.; OLIVEIRA, F. H. de. A Utilização do Sistema de Informações Geográfica – SIG como apoio ao planejamento legal da malacocultura. Congresso Brasileiro de Cartografia, 23, Rio de Janeiro. *Anais...*, p. 1678-1686, 2007.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES. **Groudwater**, 2014. Disponível em: <<http://www.water.ca.gov/groundwater/>>. Acesso em: 09/10/2016.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. A.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** 10a. Escola de Computação. Campinas. Instituto de Computação - UNICAMP. 1996. 197p.

CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A.M.V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação.** São José dos Campos, INPE, 2001 (2a Ed. revista e ampliada). Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>, acesso em: 04 de agosto 2016.

CARDOSO, F. B. da F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F. S. do; VARELLA NETO, P. L.; FLORES, P. M. **Poços tubulares construídos no Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XV, São Paulo. *Anais...* Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23806>>, acesso em 08/04/2017.

CARVALHO, Gonçalo. Vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas: comparação de modelos baseados no método DRASTIC. 2013. **Cadernos de Geografia** nº 32 - 2013 Coimbra, FLUC - pp. 289-299. Disponível em <https://dl.uc.pt/bitstream/10316.2/30257/1/CG32_artigo26.pdf>, acesso em 21 de fevereiro de 2018.

CHRISPIM, Z. M. P. Análise da vulnerabilidade e caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da Bacia Sedimentar de Campos / Zélia Maria Peixoto Chrispim. – Campos dos Goytacazes, 2016. xxvii, 320 f. : il. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência.

CIVITTA, M. **La carte della vulnerabilità deli aquíferi all'inquinamento: teoria e pratica.** Bologna: Pitagora Editrice, 1994, 325p.

CNIG – Carta CORINE Land Cover (1985 -1987) [online]. 1ª Ed. [Lisboa, Portugal]: Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), 1988. Disponível em <<http://www.cnig.pt>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

COSTA, W. D. O aquífero infra-barreiras na região costeira do Rio Grande do Norte ». In: Suplemento dos Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. *Revista Águas Subterrâneas*. São Paulo, 2000.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO. Programa de Subterrânea Para o Nordeste. **Programa Anual de Trabalho** – 2001.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>, acesso de 30 de abril de 2016 a 31 de maio de 2018.

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. **Revista Ambiente Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 402-413, June 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1797>>, acesso em 03 Junho 2018.

DUIJVENBOODEN, W. van and WAEGENINGH, H. G. van. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution. In: **Proceedings and Information** No. 38 of the International Conference Held in the Netherlands, 1987. TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands, 1987.

EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. OS Nº 09 / 2014 - Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros. **RELATÓRIO FINAL**. Aracaju – 2014.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Organização das Nações Unidas. **A ONU e a água**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>> Acesso em: 09/10/2016.

FRANCÉS, A.; PARALTA, E.; FERNANDES, J.; & RIBEIRO, L. – Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index. **Lisboa, Geosystem Center IST, Third International Conference on Future Groundwater Resources at Risk**, June, 2001.

FEITOSA, Fernando A. C.; VIDAL, Cláudio. **Estudos Hidrogeológicos de Bacias Sedimentares da Região Semiárida do Nordeste Brasileiro**. Brasília, Ministério de Minas e Energia - Secretaria de Minas e Metalurgia- Serviço Geológico do Brasil, 2004.

FEITOSA, F. A. C., MANUEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., DEMETRIO, J. G. A., **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**, 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2008, CPRM: LABHID 2008. 812 p.

FERREIRA, J.P.C.L. e OLIVEIRA, M.M. – On experience of Groundwater vulnerability Assessment in Portugal. **International Workshop AVR03 – aquifer Vulnerability and Risk**. Salamanca, Mexico, 2003. Disponível em <<http://www.dha.lenec.pt>>. Acesso em 10 de Novembro de 2016.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 2. ed. NewYork: Macmillan, 1988.

FREIRE, C. C., MODELO DE GESTÃO PARA ÁGUA SUBTERRANEA, 2002, 156 f. TESE (Doutorado em Engenharia) Instituto de pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

FOSTER S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS. **Proceedings...**The Hague: TNO Committee on Hydrological Research; 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. Groundwater Pollution Risk Assessment – A Methodology Using Available Data. **Pan American Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS)**, Lima, Peru, 81 p. 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. **World Bank, GWMATE**. Washington, 114 p., 2006.

HIRATA, R., As águas subterrâneas são um recurso pouco entendido e ainda pouco apreciado, [04 Fevereiro 2014], *Instituto Humanitas UNISINOS – ADITAL*, entrevista concedida a Luciano Gallas, portal IHU.UNISINOS. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/527810-as-aguas-subterraneas-sao-um-recurso-pouco-entendido-e-ainda-pouco-apreciado-entrevista-especial-com-ricardo-hirata>>, Acesso em 08/12/2016.

HIRATA, R., FERNANDES, A. J., Vulnerabilidade a Poluição, In: FEITOSA, F. A. C., MANUEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., DEMETRIO, J. G. A., **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**, 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2008, CPRM: LABHID 2008. p. 405 – 424.

HOWARD, B. C. California Drought Spurs Groundwater Drilling Boom in Central Valley, 2014. Disponível em <<http://news.nationalgeographic.com/news/2014/08/140815-central-valley-california-drilling-boom-groundwater-drought-wells/>> Acesso em 08/12/2016.

GASSER, Rodolfo Santos; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca a contaminação do aquífero cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 70-78, 2018.

Disponível em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29090>, acesso em 05 maio de 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Sinopse do Censo Demográfico 2010**, 2010 [online]. Disponível em

<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P15&uf=00>>, Acesso em 08/12/2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Panorama de Sergipe 2018** [online]. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/panorama>>. Acesso em 08/04/2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Panorama de Aracaju 2018** [online]. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama>>. Acesso em 08/04/2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados climatológicos do município de Aracaju - SE**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>, acesso em 10 de abril de 2018.

INTERNATIONAL YEAR OF PLANET EARTH, Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede? Ciências da Terra para a Sociedade, *Prospecto relativo a um tema-chave do Ano Internacional do Planeta Terra 2007-2009 - International Year of Planet Earth*, Portugal, 2009, p. 16. Disponível em:

<http://yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura2_web.pdf>, Acesso em: 05/12/2016.

JACOB, A. A. E.; YOUNG, A.F. Uso de Métodos de Interpolação Espacial de Dados nas Análises Sociodemográficas. **Anais...** Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 15., Caxambú: ABEP, 2006.

JESUS, J. B. de; CRUZ, M. A. S. Modelagem do nível superficial e vulnerabilidade dos aquíferos de Sergipe In: ENCONTRO DE RECURSO HÍDRICO EM SERGIPE, 7., 2014, Aracaju. Anais... Brasília, DF: Embrapa, 2014.

KAZAKIS, N.; VOUDOURIS, K. S. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate: modifying the DRASTIC method using quantitative parameters. **Journal of Hydrology**, v. 525, p. 13-25, 2015. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415002061>>, acesso em 09 de maio de 2017.

KEGEL, W. AGUA SUBTERRÂNEA NO Piauí. **Boletim DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia**, Rio de Janeiro, nº 156, 1955.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapas Probabilísticos de Riscos. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. **Geomatemática**, Texto Didático 06., p. 19, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 10 de Outubro de 2016.

LEGRAND, Harry E. System for evaluation of contamination potential of some waste disposal sites. **Journal-American Water Works Association**, v. 56, n. 8, p. 959-974, 1964. Disponível em <<https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1551-8833.1964.tb01292.x>>, acesso em 05 de novembro de 2016.

LINHARES, F. M., ALMEIDA, C. das N.; SILANS, A. M. B. P. de; COELHO, V. H. R. Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Gramame (PB). **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, 2014. Disponível em <<http://www.redalyc.org/html/3213/321330589010/>>, acesso em 07 de outubro de 2017.

LUCENA, L. R. F. de; ROSA FILHO, E. F. da; BITTENCOUR, A. V. L. A potenciometria do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do rio Pirangi-RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais ». *Revista Águas Subterrâneas*. Nº 18 - Janeiro 2004.

LUCENA, L. R. R. de. **Análise de lacunaridade de fenômenos agroambientais**. 2015. 104 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MANGHI, G.; CAVALLINI, P. e NEVES, V. Quantum GIS: Um desktop potente e amigável. *Revista FOSSGIS Brasil*, Junho 2011. Disponível em: www.fossgisbrasil.com.br. Acesso dia 12 de novembro de 2016.

MANOEL FILHO, J., Contaminação das Águas Subterâneas, In: FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., DEMETRIO, J. G. A., **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**, 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2008, CPRM: LABHID 2008. p. 381 – 404.

MELO, G. K. R. M. M. de; MARACAJ, K. F. B.; DANTAS NETO, J. Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XV, n. 100, maio 2012. Disponível em:

<http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11606>. Acesso em dez 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA Nº 002, de 22 de agosto de 1991. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília, 20/09/1991, págs. 20293-2029. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=116>>. Acesso em: 06/09/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA Nº 273 DE 29 DE NOVEMBRO 2000. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília, nº 5, de 8 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 20-23,. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2000_273.pdf>. Acesso em: 06/09/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília, nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>Acesso em: 06/09/2016>. Acesso em: 06/09/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA Nº Resolução CONAMA Nº 396/2008, de 03 de Abril de 2008. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília, nº 66, de 07/04/2008, págs. 66-68. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 05/09/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA Nº Resolução CONAMA Nº420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília, nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 05/09/2016.

MIRANDA, C. S.; MIOTO, C. L.; LASTORIA; G.; GABAS, S. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na Modelagem da Vulnerabilidade de Aquífero Livre: Comparação entre os métodos GOD e EKv na Bacia do Rio Coxim, São Gabriel do Oeste, MS, Brasil. **Geociências**, v. 34, n. 2, p. 312-322, 2015.

NASCIMENTO, M. M.; ARAÚJO, H. M. de. A urbanização extensiva de Aracaju e a formação de novos aglomerados habitacionais: avaliação a partir da desagregação de dados dos CENSOS-IBGE / The extensive urbanization of Aracaju and the formation of new housing agglomerates: evaluation (...). **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 28, n. 52,

p. 166-196, fev. 2018. ISSN 2318-2962. Disponível em:
<<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2018v28n52p166/12962>>. Acesso em: 08 junho de 2018.

NESHAT, A.; PRADHAN, B.; PIRASTEH, S.; SHAFRI, H. Z. M. Estimating groundwater vulnerability to pollution using a modified DRASTIC model in the Kerman agricultural area, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 7, p. 3119-3131, 2014. Disponível em:
<<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-013-2690-7>>, acesso em: 08 de julho 2018

NOBRE, R.C.M., 2006. **Avaliação de Risco para o Uso e Proteção de Aquíferos. Estudo de Caso: Região Metropolitana de Maceió**. 2006. p. 311. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PARALTA, E.A., Eduardo; FRANCÉS, Alain; RIBEIRO, Luís F. T., Avaliação da vulnerabilidade do sistema aquífero dos gabros de Beja e análise crítica das redes de monitorização no contexto da directiva do quadro da água In: **ACTAS DO VII SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA - SILUSBA**, Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005. HAS - Comunicações em Actas de Encontros Científicos Internacionais: [19], 2005, 1 – 16. Disponível em: <<https://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/448/1/33609.pdf>>, Acesso em: 10/12/2016.

PAVÃO, Andrea Dutra Moreira. **Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Santa Maria – RS**. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PEÑA-ARANCIBIA, J. L., MAINUDDIN, M., KIRBY, J. M., CHIEW, F. H. S., MCVICAR, T. R., VAZE, J., Assessing irrigated agriculture's surface water and groundwater consumption by combining satellite remote sensing and hydrologic modelling, *Science of The Total Environment*, Australia, v. 542, p. A, 2016, p. 372-382

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batata – São Luís – MA**. 2006. 133 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PEREIRA JÚNIOR, L. C.; SOARES, H. L. T.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do Aquífero Bauru no município de Rio Verde – GO. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 2, p. 129-145, 2015. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/Selma_De_Castro/publication/276501608_Vulnerabilidade_natural_e_risco_de_contaminacao_do_Aquifero_Bauru_no_municipio_de_Rio_Verde_-_GO/links/5620077a08ae70315b552774.pdf>, acesso em 05 de maio de 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, Água para um Mundo Sustentável. Sumário Executivo. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. **Programa de Avaliação Mundial da Água – WWAP – em nome da UN-Water**. Itália, 2015

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. In: Conferência de Estocolmo. Estocolmo, 5 – 16 de junho, 1972. Disponível em < <http://www.un-documents.net/unchedec.htm>>, acesso em 04 de dezembro de 2017.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. P. F.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. **Escrituras**, v. 2, p. 687-703, 2002.

RIBEIRO, M. D.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. **Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da Sub-Bacia do Rio Siriri, Sergipe**. *Águas Subterrâneas*, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2011.

RIBEIRO, D. D. de M.; NASCIMENTO, S. A. de M.; GARCIA, A. J. V. **Caracterização hidrogeológica dos aquíferos cársticos Sapucari e Maruim, Bacia Sedimentar de Sergipe-Alagoas, nordeste do Brasil**. *Águas Subterrâneas*, v. 31, n. 3, p. 207-221, 2017. Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28806/18724>>, acesso em 05 de abril de 2018.

ROCHA, W. J. S. da. **Estudo da salinização das águas subterrâneas na região de Maceió a partir da integração de dados hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e geolétricos**. 2005. 203 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SAIDI, S.; BOURI, S.; BEN DHIA, H. Groundwater vulnerability and risk mapping of the Hajeb-jelma aquifer (Central Tunisia) using a GIS-based DRASTIC model. **Environ Earth Sci**, v. 59, p. 1579–1588, 2010. DOI 10.1007/s12665-009-0143-0.

SANTOS, G. C. F. dos; RIBEIRO, M. A. M. de F. Geoprocessamento aplicado à espacialização de serviço de abastecimento de água em municípios da Paraíba. **Revista InterScientia**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 92-104, dez. 2017. ISSN 2317-7217. Disponível em: <<https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/444>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SANTOS, R. A. dos; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P. das; LEAL, R. A. **Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe**. / Organizado por Reginaldo Alves dos Santos, Adriano A. M. Martins, João Pedreira da Neves e Rômulo Alves Leal. – Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE, 2001. 156 p.

SANTOS, P. R. P. dos. **Estudo da Vulnerabilidade à Poluição do Aquífero Marizal na Região de Influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) – Bahia.** 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M.; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro , v. 23, n. 1, p. 33-46, Feb. 2018 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000100033&lng=en&nrm=iso>, acesso em 15 de maio 2018.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** IG/CETESB/DAEE, 1997.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Alto Sertão Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Agreste Central Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Baixo São Francisco Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Centro – Sul Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território da Grande Aracaju.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Leste Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Médio Sertão Sergipano.** 2008. Relatório.

SERGIPE (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. **Plano de desenvolvimento do território do Sul Sergipano**. 2008. Relatório.

SHIRAZI, S. M.; IMRAN, H. M.; AKIB, S. GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment: a review. **Journal of Risk Research**, v. 15, n. 8, p. 991-1011, 2012. Disponível em < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13669877.2012.686053>>, acesso em 14 de maio de 2017.

SIEBERT, S., HENRICH, V., FRENKEN, K., BURKE, J. **Update of the Global Map of Irrigation Areas to version 5**. Project report, 178 p. 2013. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/264556183_Update_of_the_digital_global_map_of_irrigation_areas_to_version_5> Acesso em 21 de abril de 2018.

SILVA, C.C.A. Curso de Gestão Ambiental: Gerenciamento de Riscos Ambientais – USP, FSP, FAU, NISA – Barueri/SP – 2004. p 791-803. In: RUSSO, A. de S. **Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando Sistemas De Informação Geográfica e Geoestatística – geoestatística – UGRHI-PCJ**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, I. L. S. M. da. **Mapa preliminar da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Estado de Sergipe (Brasil)**. 2007. Trabalho de Conclusão (Curso de Especialização em Geologia Sedimentar e Hidroambiental Aplicada a Ambientes Antigos e Recentes) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. Disponível em < http://www.plancol.com.br/vulnerabilidade_aquiferos-se.pdf > Acesso em 05 de janeiro de 2018.

SILVA, W. F. da. **Análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação na região metropolitana de Maceió**. – 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE (SRH). Atlas Digital de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. Aracaju, 2014. CD-Room.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de; COSTA, C. T. F. da; SILVEIRA, J. das g. p. da; e ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. de. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **REM: Revista Escola de Minas Gerais**, v. 62(2), p. 227-236, 2009.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. , *Decifrando a Terra*, 2 ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2009, 624 p.

TROLEI, A. L., SILVA, B. L. da. **Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água** », *Confins* [En ligne], 34 | 2018, mis en ligne le 05 avril 2018, consulté le 08 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/confins/12901> ; DOI : 10.4000/confins.12901

UNESCO. *Água y Empleo. Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016*. Organización de las Naciones Unidas – París. 2016

UNESCO. *Groundwater Resources of The World and Their Use*. Organización de las Naciones Unidas – París. 2004

VAN, S. D.; EWERT, L.; WASSENAAR, L. *AquíferS Vulnerability Index (AVI): a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping*. **Can Water Res J.** v. 18, p. 25-37, 1993.

VRBA, J.; ZAPOREC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. Hannover: Heinz Heise Verlag, 1994, p.131.

VASCONCELOS, M. B. **HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO AÇU NA BORDA SUL DA BACIA POTIGUAR; TRECHO UPANEMA-AFONSO BEZERRA** Dissertação (Mestrado em Geociências)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geociências. 2006 100 f.

APÊNDICE

DADOS TÉCNICOS DOS POÇOS UTILIZADOS NO MUNICÍPIO DE ARACAJU - SERGIPE				
UTME	UTMN	PROFUNDIDADE (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO(m)
707372	8785819	70,00	1,40	1,90
711278	8788868	38,00	10,00	11,40
709200	8793700	65,00	15,00	57,28
712627	8790733	34,00	16,50	27,20
708083	8782926	41,00	0,00	0,87
708042	8781267	15,50	1,00	4,80
706751	8778848	18,50	1,35	7,05
709558	8785651	18,00	0,90	9,75
712628	8790795	76,00	28,40	34,70
706003	8775717	18,00	3,45	10,45
705775	8778085	35,00	4,10	13,50
706912	8785115	52,00	10,30	14,30
707125	8785114	26,00	3,00	13,05
706426	8780110	25,00	6,30	15,45
706932	8783426	37,00	4,95	19,95
712628	8790857	82,00	7,20	39,25
708000	8793836	60,00	1,50	24,90
709558	8785682	29,00	0,30	9,81
713263	8795154	77,00	0,50	38,86
712628	8790826	73,00	16,70	24,19
712627	8790764	78,00	11,95	30,30
706759	8784839	53,00	9,70	11,00
708083	8782957	50,00	0,00	20,15
713027	8791560	41,00	1,90	10,00
706914	8785331	52,00	10,50	18,25
712835	8794789	22,00	2,00	7,00
710486	8788381	21,00	3,00	11,35
710316	8790195	34,00	7,30	12,00
710443	8791177	40,50	19,55	26,40
709805	8791121	41,00	4,20	32,50
706215	8775686	17,00	2,50	5,70
711301	8792401	41,00	4,50	31,80
711301	8792371	48,00	10,50	37,70
709237	8792599	20,00	1,50	7,90
709082	8791955	25,00	2,00	4,87
713176	8795862	77,00	0,00	36,12
704374	8777357	35,70	5,35	7,60
708272	8788887	62,00	21,70	46,70
706352	8782968	30,00	2,25	22,20
711797	8793935	47,00	1,55	22,60
707778	8787569	16,00	2,05	7,86

712494	8784312	14,00	1,83	5,96
709049	8796472	53,00	15,14	18,14
707280	8776144	18,00	3,47	4,09
707280	8776113	18,00	4,90	5,82
707279	8776082	18,00	5,15	6,12
706772	8783048	45,00	0,80	6,40
710598	8782265	130,00	1,30	6,50
708098	8793464	48,00	19,11	22,60
710322	8788285	25,00	9,15	13,00
707068	8783846	56,00	3,05	3,80
713910	8787222	36,00	1,70	21,30
710694	8791588	30,00	7,00	9,50
710688	8791926	20,00	7,70	8,60
711411	8790113	35,00	3,00	16,40
711910	8791983	30,00	8,00	19,50
707685	8793232	45,00	2,50	20,50
709662	8793277	100,00	7,50	39,00
711208	8790501	22,00	6,15	15,30
712521	8795988	27,00	10,30	20,50
712428	8795950	82,00	13,35	49,60
712577	8796082	84,00	8,75	44,95
712357	8795879	75,00	25,40	32,50
710013	8789902	25,00	1,25	15,20
711356	8792730	55,00	1,00	20,50
708669	8793035	59,50	5,50	41,50