



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Tecnologia  
Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental

DISSERTAÇÃO

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA DE  
AQUÍFEROS DO MUNICÍPIO DE QUEIMADOS-RJ**

Jaqueline Kalaoum

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Tecnologia  
Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA DE  
AQUÍFEROS DO MUNICÍPIO DE QUEIMADOS-RJ**

Jaqueline kalaoum

Sob orientação do Professor  
Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves da Silva

Co- Orientação  
Prof. Dr. Otavio Eurico de Aquino Branco  
Profa. Dra. Camila Ferreira de Pinho

Dissertação submetida como  
requisito parcial em obtenção  
do grau de Mestre em  
Engenharia Agrícola e  
Ambiental, no curso de Pós  
Graduação em Engenharia  
Agrícola e Ambiental, Área de  
Concentração Meio Ambiente

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2016

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Lucía Maria de Lima e Fausi Mustafa,  
Aos meus irmãos Fausi Kalaoum, Priscila Lima de Carvalho

## AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado força para conseguir concluir este trabalho, grandes foram os momentos de fraqueza ao qual acreditava não ser possível continuar.

Aos meus pais, que durante toda a jornada de minha vida me ensinaram que a integridade, honestidade e educação é o que muda um homem. A minha mãe, minha tia Lucimar Maria de Lima e ao meu irmão Fausi Kalaoum por esta sempre ao meu lado, nos momentos em que eu pensava em desistir de tudo.

Agradeço aos professores, os colegas da Pós Graduação e de trabalho de a quem muitas vezes recorri e sempre me acolheu e ajudou.

Em especial agradeço aos meus amigos Salete Oliveira da Silva e Milton dos Santos Oliveira Junior, por dispensarem muitos domingos de descanso, para me ajudar no campo.

Agradeço ainda ao meu companheiro e amigo Saulo Arruda Soares da Costa, por está sempre ao meu lado nos momentos de maior dificuldade da minha vida e por dispensar seus dias de descanso para me ajudar no campo.

Minha eterna gratidão ao professor e orientador Jonathas Batista Gonçalves da Silva por se compreensivo nos diversos momentos que tive, durante esta jornada, sempre sendo solícito as minhas dúvidas. Agradeço ainda aos meus Co-orientadores: Camila Ferreira de Pinho e Otávio Eurico de Aquino Branco.

Ao professor Marcos Gervasio, pelo apoio técnico e científico, por sempre se atencioso, quando precisava sanar *minhas* dúvidas.

Agradeço ainda a equipe do Laboratório de Gênese e formação de solos, por sempre ajudar durante as análises. Em especial agradeço ao João Henrique Gaia e ao Luís Alberto da Silva Rodrigues Pinto por todo o suporte durante as análises.

Agradeço a AGEVAP pelo auxílio a pesquisa para a elaboração do estudo, já que o recurso foi essencial para elaboração deste trabalho.

## RESUMO

KALAOUM, Jaqueline, *M.Sc.*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Fevereiro de 2016. **Avaliação da vulnerabilidade de contaminação do sistema de Aquíferos do município de Queimados-RJ.** Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva. Co-orientadores: Camila Ferreira de Pinho e Otávio Eurico de Aquino Branco.

Com o desenvolvimento e a expansão industrial, a proteção dos solos e águas subterrâneas tornou-se um fator crucial a ser abordado quando nos referimos aos problemas ambientais. Os recursos hídricos vêm merecendo uma atenção especial, principalmente no que diz respeito à vulnerabilidade e aos riscos de contaminação. Atualmente existem diversas metodologias para verificar a vulnerabilidade de um aquífero bem como uma intensificação da legislação protegendo os recursos hídricos contra a contaminação. A metodologia GOD foi amplamente testada na América Latina e no Caribe durante a década de 90. Esta metodologia é umas das mais utilizadas devido à simplicidade e fácil aplicabilidade. O número de indústria cresceu consideravelmente no município de Queimados, sem ocorrer uma avaliação técnica de uso e ocupação do solo bem como a proteção da água subterrânea. Objetivou-se neste trabalho avaliar a vulnerabilidade à contaminação do sistema de aquíferos do município de Queimados-RJ. A área experimental fica localizada no Distrito Industrial deste município, onde foram cadastrados trinta e dois pontos de coletas. As atividades foram realizadas entre Outubro de 2015 e Fevereiro de 2016. Entre os trinta e dois pontos cadastrados, sete pontos foram oriundos de perfuração, onde ocorreu a análise química e física do material litológico, devido à particularidade da área possuir material de aterro. Foi possível constatar com a metodologia que a área é classificada como de extrema vulnerabilidade, com peso variando entre 0,7 a 0,8. Nesta situação, onde a vulnerabilidade é classificada como extrema, o aquífero é vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação. O mapa de Vulnerabilidade do aquífero foi associado com o uso e ocupação do solo atual, bem como discutido o histórico do uso da área, verificando a necessidade de um plano estratégico de proteção de água subterrânea bem como de uso e ocupação do solo, já que a área industrial continua expandindo. O resultado deste estudo pode auxiliar no processo de tomada de decisão de órgãos ambientais na gestão da proteção das águas subterrâneas, tornando se uma ferramenta eficaz para promover a proteção da água subterrânea e o uso e ocupação da área de estudo.

**Palavras-chave:** Água subterrânea, Vulnerabilidade de aquífero, Metodologia GOD, Uso e ocupação do solo.

## ABSTRACT

With the development and industrial expansion, protection of soil and groundwater has become a crucial factor to be addressed when we refer to environmental problems. Water resources come deserving special attention, especially with regard to vulnerability and risks of contamination. Currently there are several methodologies for verifying an aquifer vulnerability as well as an intensification of legislation protecting water resources against contamination. The methodology was tested extensively in Latin America GOD and in the Caribbean during the 90. This methodology is one of the most used due to simplicity and easy applicability. The number of industry grew considerably in the municipality of Burned, without a technical evaluation of soil use and occupation as well as the protection of groundwater. The objective of this work to assess the vulnerability to contamination of the aquifer system of the municipality of Queimados-RJ. The experimental area is located in the Industrial District of this municipality where they were registered 32 points of collections. The activities were carried out between October and February 2015 2016. Among the 32 registered points, seven points were from drilling, where occurred the chemical and physical analysis of lithological material, due to the particularity of the area own landfill material. It was found with the methodology which the area is classified as extreme vulnerability, with weight ranging from 0.7 to 0.8. In this situation, where the vulnerability is classified as extreme, the aquifer is vulnerable to many pollutants, with quick impact in many scenarios of contamination. The map of vulnerability of the aquifer has been associated with the current soil use and occupation, as well as discussed the history of the use of the area, noting the need for a strategic plan of protection of groundwater and soil use and occupation, since the industrial area is still expanding. The result of this study may assist in the decision-making process of environmental agencies in the management of groundwater protection, becoming an effective tool for promoting the protection of groundwater and the use and occupation of the study area.

**Key words:** groundwater, Vulnerability the aquifer, GOD method, use and occupation the soil.

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	7
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. Objetivo Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1. Ciclo Hidrológico .....	11
3.2. Importância da Água Subterrânea .....	12
3.3. Aquífero.....	13
3.3.1. Tipo de Aquíferos .....	13
3.4. Recarga de Aquíferos .....	15
3.5. Contaminação do Aquífero.....	16
3.6. Fontes de Contaminação do solo e da água subterrânea .....	17
3.7. Vulnerabilidade do Aquífero.....	18
3.8. Metodologia de Vulnerabilidade de Aquífero.....	19
3.8.1. GOD .....	21
3.9. Legislação Ambiental para áreas contaminadas .....	23
3.10 Distrito Industrial de Queimados.....	25
3.10.1. Indústrias instaladas no Distrito Industrial .....	25
3.10.2. Áreas Contaminadas .....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1 Caracterização da área do estudo .....	30
4.1.1 Caracterização do Uso e ocupação do Solo .....	30
4.1.2 Caracterização do clima.....	32
4.1.3 Caracterização da Geologia.....	33
4.1.4. Caracterização do Relevo .....	35
4.1.6 Caracterização do solo .....	35
4.2 Método GOD.....	38
4.3 Modelagem espacial.....	40
4.4 Confeção dos mapas.....	40
4.4.1 Mapa de ocorrência de água subterrânea (G) .....	41
4.4.2 Mapa de litologia da zona não saturada (O) .....	41
4.4.3 Mapa do Nível do lençol freático (D) .....	46
5.RESULTADOS .....	51
5.1 Mapa de ocorrência de água subterrânea (G) .....	51
5.2 Mapa de litologia da zona não saturada (O) .....	52
5.3 Mapa do Nível do lençol freático (D) .....	55
5.4 Vulnerabilidade do aquífero.....	58
5.5 Uso atual X Mapa de Vulnerabilidade .....	61
6. CONCLUSÃO.....	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologias mais empregadas no mundo .....	20
Tabela 2: Empreendimentos em Operação na área de estudo .....	26
Tabela 3: Áreas Contaminadas e/ou reabilitadas no Município .....	27
Tabela 4: Caracterização Química das amostras de solo coletadas.....	37
Tabela 5: Definição das classes de Vulnerabilidade da Metodologia GOD .	39
Tabela 6: Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao grau de confinamento.....	41
Tabela 7: Classificação da Granulometria e cor do solo dos pontos de perfuração.....	42
Tabela 8: Índices de vulnerabilidade do aquífero associado ao tipo de unidade litológica.....	46
Tabela 9: Informações dos pontos cadastrados na área de estudo .....	48
Tabela 10: Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao nível do lençol freático .....	50
Tabela 11: Uso e ocupação da área em hectares e porcentagem .....	62



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico esquematizado .....	11
Figura 2: Distinção dos três tipos de aquíferos .....	14
Figura 3: Tipos de aquífero quanto à pressão .....	15
Figura 4: Fluxograma da Metodologia GOD.....	22
Figura 5: Área de estudo. ....	30
Figura 6: Mapa de uso e ocupação da área de estudo. ....	31
Figura 7: Escola Municipal na área de estudo. ....	32
Figura 8: Pequenos Comércio na área de estudo .....	32
Figura 9: Média de Precipitação-Estação Ecológica-Seropédica-RJ I.....	33
Figura 10: Geologia da área de estudo.....	34
Figura 11: Relevo da área de estudo .....	35
Figura 12: Solo da área de estudo .....	36
Figura 13: Trincheira aberta.....	38
Figura 14: Parâmetros relevantes para obter o mapa de vulnerabilidade.....	39
Figura 15: Distribuição dos poços perfurados na área de estudo.....	47
Figura 16: Perfuração com trado manual .....	47
Figura 17: Distribuição dos pontos na área de estudo .....	48
Figura 18: Grau de Confinamento hidráulico da água subterrânea .....	51
Figura 19: Litologia da área de estudo.....	53
Figura 20: Área com material de aterro e dispersão dos pontos na área .....	54
Figura 21: Ocorrência de estrato geológico .....	55
Figura 22: Nível do lençol freático da área de estudo .....	56
Figura 23: Profundidade do nível do lençol freático .....	57
Figura 24: Vulnerabilidade do aquífero. ....	58
Figura 25: Uso e ocupação do sol .....	62
Figura 26: Fonte de contaminação com dejetos suínos .....	64
Figura 27: Fonte de contaminação devido à proximidade com o esgotamento sanitário .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

A proteção dos solos e águas subterrâneas se tornou um fator crucial a ser abordado quando nos referimos aos problemas ambientais decorrentes da expansão industrial. Por longos anos utilizou-se o solo como um receptor de diversos resíduos, entretanto o mesmo fato tornou-se um ponto relevante para a contaminação do solo e águas subterrâneas. Devido a todos os impactos causados foi necessário criar ações e medidas mitigadoras.

De acordo com BEAULIEU (1998) o mundo industrializado começou a se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas no final da década de 70 e início da década de 80, após a ocorrência de casos extremamente relevantes, como o "Love Canal", nos Estados Unidos; "Lekkerkerk", na Holanda; e "Villela Salle", no Canadá. Após esses eventos foram criadas políticas e legislações em vários países, províncias e estados.

Os recursos hídricos vêm merecendo especial atenção, principalmente no que diz respeito à vulnerabilidade, aos riscos de contaminação e a exploração predatória das águas subterrâneas. A qualidade das águas subterrâneas e sua exploração têm sido motivo de grande preocupação. O aquífero quando sofre contaminação é de difícil tratamento e posterior reabilitação, pois, o processo é praticamente irreversível e de custos muito elevados.

FOSTER & HIRATA (1993) definem o risco de contaminação das águas subterrâneas como a probabilidade destas serem contaminadas com concentrações superiores aos padrões recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde), considerando a qualidade da água para o consumo humano.

Várias atividades antrópicas contribuem para o processo de contaminação do solo que podem resultar na contaminação dos recursos hídricos. Atualmente verifica-se que diversos são os impactos ocasionados pelo desenvolvimento industrial e a ocupação urbana desordenada. O desenvolvimento propicia a geração de empregos, o aumento do Produto Interno Bruto, mas também proporciona uma drástica mudança no perfil ambiental do local em questão.

Conforme o aumento da expansão do desenvolvimento Industrial no estado do Rio de Janeiro, foi verificada a necessidade de iniciativas técnicas e políticas ambientais mais efetivas, desta maneira no ano 2013, foi lançado o Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas do Estado do Rio de Janeiro.

Conforme Relatório de Área Contaminadas do Estado do Rio de Janeiro 2014-3ª edição existe, atualmente, 598 áreas contaminadas no estado do Rio de Janeiro, sendo que 55 % das áreas contaminadas correspondem a Postos de combustível, 41% à área industrial e 3% viação e 1 % aterro de resíduos. Dentre estas áreas, existem (06) seis áreas contaminadas cadastrada no município de Queimados, sendo que (04) Quatro áreas estão presentes na área de estudo.

Através do estudo da avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação podem ser elaborados programas de proteção e controle dos recursos hídricos subterrâneos, orientados às políticas estabelecidas pelos órgãos gestores dos recursos hídricos.

Diante do exposto, se faz necessário uma melhor avaliação desta área, verificando o processo de contaminação e a vulnerabilidade do aquífero presente nesta região, estabelecendo desta maneira as características de suscetibilidade que este aquífero esta sendo submetido, assim como a carga poluente antrópica que possa ocorrer.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a vulnerabilidade na área do Distrito Industrial do município de Queimados localizado no estado do Rio de Janeiro - Brasil.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar a vulnerabilidade, através da Metodologia GOD na área Industrial do Município de Queimados;
- Elaboração de mapas de uso de áreas de conflito entre a vulnerabilidade “a contaminação e uso e ocupação do solo”.

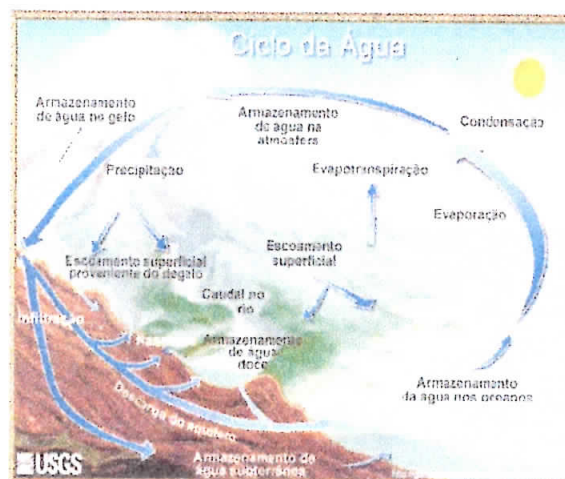
### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico compreende o movimento contínuo da água entre a terra e a atmosfera através de processos de evaporação da superfície da água, e do solo, além da transpiração das plantas e a precipitação (EPA, 2015).

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2012), uma parte da energia emanada pelo Sol chega a Terra em forma de luz e calor. Ao aquecer a superfície, no qual há água, ocorre a evaporação da superfície.

A água é um recurso natural renovável, no entanto não é inesgotável, sofrendo assim sensivelmente com as ações humanas que modificam a qualidade e a quantidade da água no tempo e no espaço (CIHRISTOFIDIS, 2002). A constante circulação da água na natureza tem sua origem solar, que provoca tanto a evaporação da água dos oceanos como a evapotranspiração (evaporação direta da água do meio e transpiração da vegetação) que, transporta pela circulação atmosférica, condensa-se sob condições apropriadas e precipita (BRANCO et al, 2001). Na Figura 1 elucida-se o processo do ciclo hidrológico.



**Figura. 1:** Ciclo hidrológico esquematizado- Fonte : Furtado (2007) (adaptado de Teixeira et al 2000).

### 3.2. Importância da Água Subterrânea

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, água subterrânea ocorre naturalmente ou artificialmente no subsolo. Segundo GUERRA & GUERRA (1997), água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o nível hidrostático. De acordo com MUSETTI (2001), ocorrem vestígios da utilização de águas subterrâneas que datam do ano 12.000 A.C.

O homem dispõe de dois tipos de recursos para o abastecimento: as águas de superfície (lagos, cursos de água, represas etc.) e as águas subterrâneas que apesar de sua importância são pouco conhecidas. (CHAVES, 2007).

A água subterrânea encontra-se mais protegida em relação à contaminação, e geralmente apresenta boa qualidade (CARDOSO, 2010), assim o uso de águas subterrâneas como fonte de água potável para o consumo humano é preferível, devido a sua boa qualidade microbiana em estado natural (LINHARES, 2012). De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (CETESB, 2015) a água subterrânea apresenta condições adequadas para o uso “*in natura*”, necessitando apenas de simples desinfecção, sendo que o uso prioritário é o abastecimento humano. CETESB (2015) ressalta-se que é fundamental a proteção e controle da qualidade da água subterrânea.

Apenas há cerca de duas décadas, é que a população mundial começou a preocupar-se com os recursos hídricos subterrâneos. Até então estes eram desprezados. Quem dependia destes recursos para consumo de água potável nada fez para manter a qualidade da água, muito menos avaliou se haveria perigo de contaminação (FOSTER et al., 2006). Gerenciar a utilização de águas subterrâneas significa propor políticas que garantam que os aquíferos sejam fontes seguras e confiáveis de abastecimento de água. (TRINDADE, 2013).

De acordo com (SILVA e ARAÚJO, 2003), as águas subterrâneas podem ser contaminadas mediante um manejo incorreto ao destinar os efluentes domésticos e industriais em fossas e tanques sépticos, pela distribuição inadequada dos resíduos urbanos, industriais, de postos de combustíveis, e outros tipos de poluições pontuais causadas pelo homem.

O perigo de contaminação das águas subterrâneas, por sua vez, consiste em um conceito que pretende associar as características naturais do aquífero em ser afetado

adversamente, ou seja, a vulnerabilidade, com a existência, ou previsão de existência, de alguma atividade ou ação poluente desenvolvida em superfície. (MONTERO et al, 2014).

### 3.3. Aquífero

De acordo com a ABNT-NBR 15.492, o aquífero pode se definido como formação ou grupo de formações geológicas capazes de armazenar e conduzir água subterrânea. (MARTINEZ, 2008) define aquífero como corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, físsuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos; já o Departamento de Recursos Minerais do estado do Rio de Janeiro - DRM (DRM, 2009), define como formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água economicamente passível de extração.

Segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS (ABAS, 2014), o aquífero desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios e brejos, cumprindo uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada.

#### 3.3.1. Tipo de Aquíferos

Aquífero é uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000).

De acordo com o DRM (2009), existem três tipos básicos de aquíferos ao qual está correlacionada com a formação rochosa, na qual está contida, sendo os mesmos respectivamente:

- Aquíferos granulares ou porosos - A água está armazenada e flui nos espaços entre os poros em sedimentos e rochas sedimentares de estrutura granular. Podemos citar exemplo: arenitos e aluviões.
- Aquíferos físsurais - A água está presente nas fraturas e fendas das rochas cristalinas. Podemos citar exemplo: granitos, gnaiesses e diabásios.
- Aquíferos cárstico ou cavernoso- A água se faz presente em cavidade produzido pela dissolução causada pela água. Podemos citar exemplo: Mármore e calcário.

Na Figura 2 apresenta-se a tipologia dos aquíferos existentes quanto a sua formação rochosa.

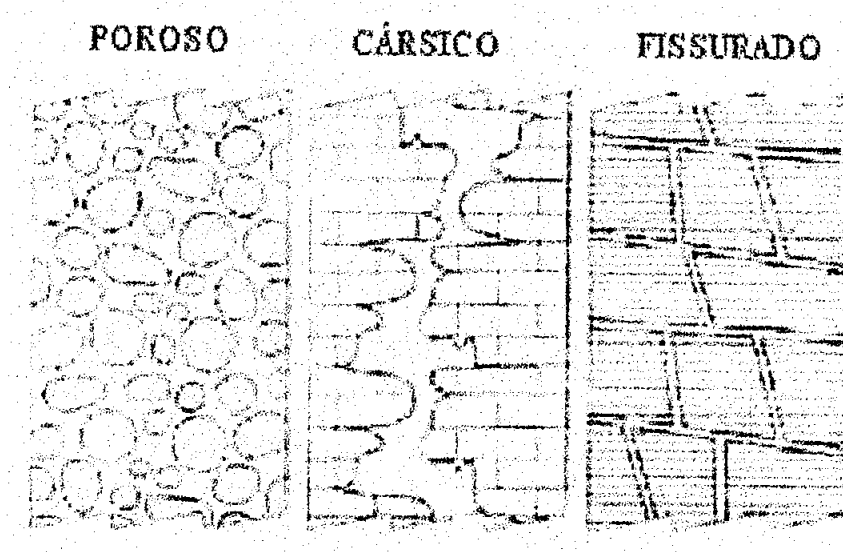


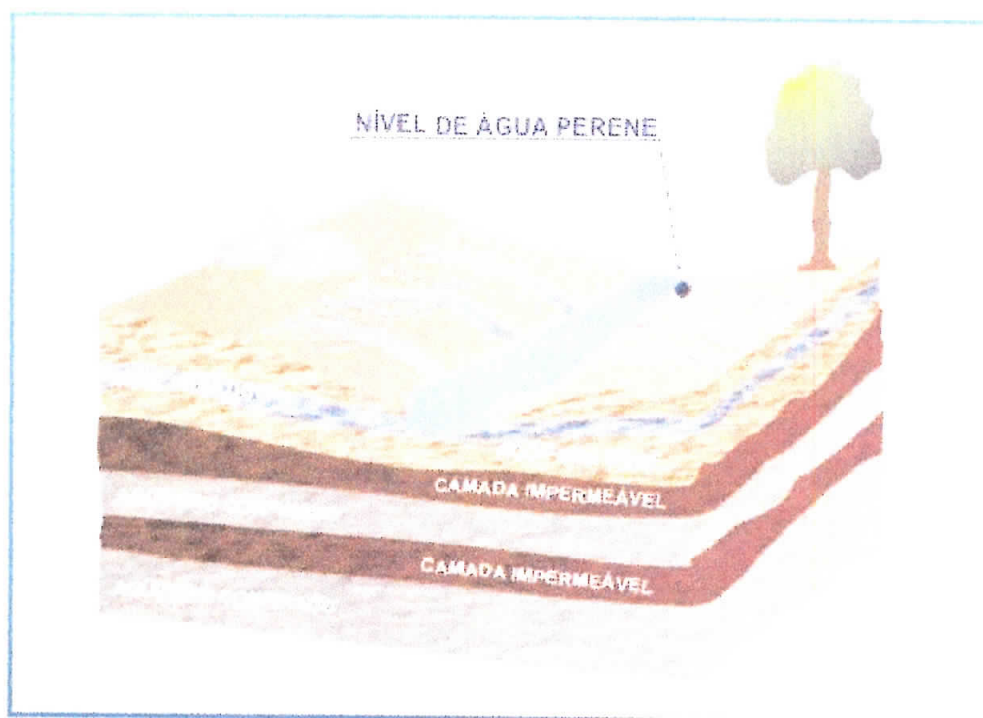
Figura. 2: Distinção dos três tipos de aquíferos .Fonte: CARDOSO (2010)

De acordo com (CARDOSO, 2010), quanto à superfície limitante à zona saturada, pode-se classificar os aquíferos em livres, semi confinados e confinados.

- Aquíferos livres - São delimitados por uma camada impermeável e outra camada permeável que encontra se acima do nível freático, nesta situação a pressão exercida pela água é igual à pressão atmosférica.
- Aquíferos confinados – Ocorrem quando a água subterrânea está sob pressão maior que a atmosférica.
- Aquíferos semi confinados - São adjacentes a uma fina camada de material semipermeável.

Na Figura 3 apresenta-se a tipologia dos aquíferos existentes quanto ao seu grau de confinamento.





**Figura. 3:** Tipos de Aquífero quanto a pressão. Fonte :Boscardin Borghetti et al (2004), adaptado de IGM, ABAS (2014)

Segundo (HELLER ET AL, 2006), existem seis propriedades do fluido e do meio geológico que precisam se conhecidas para descrever os aspectos hidráulicos do fluxo de água subterrânea, sendo os mesmos, respectivamente: massa específica, viscosidade, dinâmica e compressibilidade da água, permeabilidade e compressibilidade do meio geológico. De acordo com este mesmo autor, demais parâmetros envolvidos na descrição da hidrogeologia de aquíferos seria derivados dos parâmetros citados anteriormente.

### 3.4. Recarga de Aquíferos

A recarga é definida como o fluxo de água descendente que se infiltra e alcança o aquífero, resultando em um volume adicional ao reservatório subterrâneo, contribuindo para aumentar, dessa forma, as reservas renováveis e permanentes de um aquífero (INEA, 2014).

A recarga de um aquífero pode ocorrer naturalmente devido a água da chuva, água de superfície, ou seja, através de rios, lagos, áreas úmidas ou ainda através de transferências de outras unidades hidrogeológicas ou aquíferos. Igualmente, pode ser produzida artificialmente por atividades, tais como, irrigação, vazamentos em redes de abastecimento, barragens e reservatórios de infiltração, além da recarga artificial de aquíferos (CUSTÓDIO, 1997).

### 3.5. Contaminação do Aquífero

FOSTER (1987) definem o risco de contaminação como “o perigo de perda da qualidade da água armazenada em um aquífero, pela existência real ou potencial de substâncias contaminantes em seu entorno”.

DORES (2004) afirma que a degradação da água subterrânea depende da carga poluidora e do comportamento dos contaminantes, assim como dos fatores geológicos e hidrogeoquímicos que controlam o fluxo e a dispersão dessas substâncias. CARDOSO (2010) relata que o risco de contaminação da água subterrânea depende da relação entre as características naturais dos estratos que afastam o aquífero da superfície terrestre (vulnerabilidade à contaminação) e a carga poluente. Já KEMERICH et al. (2011) concluíram que uma caracterização aproximada da ideia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície.

O fluxo dos aquíferos e o transporte de contaminantes não são fáceis de serem observados e medidos. Ambos são geralmente lentos. Por estas razões, existe uma ampla despreocupação sobre os riscos de contaminação das águas subterrâneas, sobretudo entre os administradores dos recursos hídricos e dos solos. No entanto, o assunto é de grande importância, não só pelos impactos diretos ao recurso e pela persistência dos episódios de contaminação, como também pelos custos excessivos ou pela impraticabilidade técnica da reabilitação dos aquíferos (HELLER ET AL, 2006).

Todos os aquíferos são vulneráveis a médio ou em longo prazo a contaminantes que apresentam características persistentes e móveis, gerados por uma atividade amplamente distribuída em uma região. Contudo de acordo com KEMERICH et al (2011) é importante lembrar que se existir um aquífero com elevada vulnerabilidade não significa que este já esteja contaminado, mais sim que está área é de risco. Sua contaminação ou não vai depender de atividades antrópicas que estão sobre ele localizadas, ou seja, ele pode ser altamente vulnerável, mas não correr nenhum risco de ser contaminado por estar localizado numa área distante de fontes contaminantes, principalmente da presença humana, tais como lixões, cemitérios, distritos industriais, postos de combustíveis, dentre outros.

### 3.6. Fontes de Contaminação do solo e da água subterrânea

Diversas são as fontes que podem estar associada à contaminação, já que a atividade humana propicia a geração de resíduos e efluentes, que ocasionam a contaminação do solo e da água subterrânea.

De acordo com FETTER (1983), diversas são as fontes de contaminação das águas subterrâneas ao qual por consequência se tornam potenciais contaminantes do solo, os mesmos são classificados nas seguintes categorias:

- Fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo, como exemplo tanques sépticos e fossas negras, poços de ingestão de substâncias perigosas.
- Fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo, como por exemplo, área utilizada para a disposição de resíduos desta maneira pode citar aterros sanitários, bota fora, tanque de armazenamento de substâncias.
- Fontes projetadas para reter substâncias no período correspondido à logística do transporte, como por exemplo, oleoduto, tubulações de esgoto e efluentes industriais, transporte de substâncias perigosas como gasolina através de caminhões.
- Fontes projetadas para a descarga de substâncias com um planejamento adequado, como por exemplo, a irrigação e fertirrigação.
- Fontes projetadas como um caminho preferencial para os contaminantes se transportem para o aquífero, como por exemplo, poços de monitoramentos com falhas de instaladas.
- Fontes associados a fenômenos naturais, sejam eles associados a ações humanas. Como por exemplo, a ocorrência de substâncias inorgânicas nas águas subterrâneas, ocasionadas por poluição atmosférica através de veículos automotivos que posteriormente vai se infiltrar ao solo carregados pela chuva.

Contudo diversos são os riscos potenciais de contaminação, quando analisamos uma área urbana, assim como ERTEL (2012), que verificou possíveis riscos potenciais de contaminação, tais como: esgotos parcialmente coletados e não tratados, postos de combustível, cemitérios, lavagens de veículos automotores, lixões e aterros sanitários. Ao longo dos tempos, diversos tipos de contaminação têm contribuído para uma gradual deterioração da qualidade dos solos e águas subterrâneas associadas, muitas vezes sem que tenham existido ações legais efetivas para sua proteção (MIRALDO, 2007).

### 3.7. Vulnerabilidade do Aquífero

De acordo com FOSTER & HIRATA (1991) esclarecem que a expressão vulnerabilidade à contaminação do aquífero é usada para representar as características intrínsecas que determinam as susceptibilidades de um aquífero vir a ser afetado por uma carga contaminante. De um modo geral a vulnerabilidade é compreendida como sendo a susceptibilidade do aquífero à contaminação (KEMERICH et al, 2011). A *American Society for Testing Materials* - ASTM, agência reguladora norte-americana, define vulnerabilidade nas águas subterrâneas como a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de interesse em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área. Portanto, a vulnerabilidade depende tanto das características do aquífero (litologias, porosidade, etc.), da área (uso do solo, topografia, etc.) e do contaminante (mobilidade, densidade, etc.).

De acordo com BOVOLATO (2005), a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à poluição constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento de uso do solo e para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos. Desta maneira os primeiros conceitos a respeito da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas surgiram na literatura no final dos anos 60 e início da década de 70 do século 20 (ALBINET & MARGAT, 1970).

A evolução histórica do conceito de vulnerabilidade foi revisada por diversos estudiosos, que têm debatido se a vulnerabilidade deve ser determinada de maneira geral para todos os poluentes, ou específica para grupos de poluentes (LINHARES, 2012).

De acordo com HIDRORED (2014), o conceito de vulnerabilidade de aquíferos foi inicialmente utilizado por LE GRAND (1964) nos EUA e ALBINET & MARGAT (1970) na França, e mais amplamente nos anos 1980 por vários outros autores (ALLER et al, 1985; BACHMAT & COLLIN, 1987; FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA, 1988).

De acordo com RIBETRA (2004), na hidrologia subterrânea a vulnerabilidade pode consistir na subdivisão em dois termos: vulnerabilidade natural e vulnerabilidade específica. FOSTER & HIRATA (1988), definiram a vulnerabilidade natural como a susceptibilidade que um sistema aquífero tem de vir a ser degradado por uma carga contaminante. No entanto SANTOS (2005) conclui-se que a definição de vulnerabilidade natural dos recursos hídricos

subterrâneos é distinta de risco de poluição, ou seja, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente, ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo, pois o risco depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo.

De acordo com BRITO (2013) e AUGÉ (2004) têm surgido inúmeras definições, qualificações e metodologias sobre a vulnerabilidade dos aquíferos, entretanto, não há um consenso sobre o alcance do termo. Neste sentido existem duas grandes correntes: aqueles investigadores que consideram a vulnerabilidade como uma propriedade referente ao meio (vulnerabilidade intrínseca) e outros que consideram, além do comportamento do meio aquífero, a carga contaminante (vulnerabilidade específica).

### **3.8. Metodologia de Vulnerabilidade de Aquífero**

MAIA (2011) descreve em seu trabalho que os diversos métodos podem ser classificados em três grupos principais, de acordo com a abordagem adotada:

- Ambientes hidrogeológicos: baseiam a avaliação da vulnerabilidade, em termos qualitativos, nas características gerais do ambiente, usando mapas temáticos (ALBINET & MARGAT, 1970).
- Modelos análogos: utilizam expressões matemáticas para os parâmetros essenciais tais como tempo de trânsito médio na zona vadosa como indicadores do índice de vulnerabilidade (MONKHOUS, 1983).
- Sistemas paramétricos: usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para vulnerabilidade apresentam o risco de obscurecer o óbvio e tornar indistintas as sutilezas (NRC, 1993).

MAIA (2011) menciona que existem dezenas de métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos em todo o mundo. Diversas são as metodologias a fim de verificar a vulnerabilidade de aquíferos, sendo que os métodos mais utilizados, quanto no Brasil, países Europeus e nos Estados Unidos, são: o DRASTIC (ALLER et al., 1987) e o GOD (FOSTER, 1987).

Na Tabela 1 apresentam-se os métodos de determinação de vulnerabilidade de aquíferos mais utilizados no mundo.

Tabela 1: Metodologias mais empregadas no mundo

Nº	MÉTODO	AVALIA	VARIÁVEIS	REFERÊNCIAS
1	Δh.T	Vuln. em aquíferos semiconfinados	Potencial hidráulico e Transmissividade vertical	AUGE (2001), Argentina
2	IS	Vuln. geral	Profundidade da água, recarga, litologia, topografia e ocupação do solo	FRANCÉS et al. (2001)&PARALTA et al.(2001)
3	EPPNA	Vuln. geral	Características litológicas e hidrogeológicas	PLANO NAC. (PORT.) DA ÁGLA (1998)
4	EPIK	Vuln. em aquíferos cársticos	Carstificação superficial, Cobertura de proteção, Infiltração e rede cárstica	DOERFLIGER Y ZWAHLEM (1997)
5	Ekv	Vuln. Geral	Espessura da zona subsaturada e permeabilidade da zona subsaturada	AUGE (1995)
6	AVI	Vuln. Geral	Espessura da camada acima do aquífero e condutividade hidráulica	VAN STEMPVOORT (1993)
7	Saneamento em Situ	Vuln. a saneamento em situ	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade e qualidade da água	FERREIRA & HIRATA (1993)
8	Sem nome	Vuln. Geral	Características litológica, permeabilidade e profundidade da água	ADAMS & FOSTER (1992)
9	SINTACS	Vuln. Geral	Profu. da água, tipo de solo, infiltração, aquífero, subsaturada, condutividade, topografia	CIVITA et al. (1990)
10	GOD	Vuln. Geral	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade da água	FOSTER & HIRATA (1988)
11	Sem nome	Vuln. geral/fluxo pistão	Condutividade, prof. Água, umidade do solo e recarga real	MARCOLONGO & PRETTO (1987)
12	Potential Faste Sites (PWDS)	Disposição de resíduos sólidos	Vuln., confinamento, prox. da fonte, tipo e quant. do cont., veloc., zona saturada, percolação	BGS (NÃO DATADO)
13	Groundwater Vulnerability Map for Nitrate	Potencial de lixiviação de nitrato	Tipo de solo, caract. hidráulicas e litológicas do aquífero	CARTER et al. (1987)
14	DRASTIC	Vuln. Geral	Prof. Da água, recarga, aquífero, solo, topografia, impacto, cond. Hidráulica	ALLER et al. (1985)
15	Landfill Site Ranking	Aterros Sanitários	Dist. Aterro/poços, gradientc, permeabilidade e capacidade de atenuação	LE GRAND (1983)

16	Site Ranking Methodology	Disposição de resíd. Sól. e líquidos	Receptor, população, uso água, prof. água, degradação, caminhos cont., pluv., perm. Solo, caract. resíduo, manejo e aspecto operacional e construtivo.	KULFS et al. (1980)
17	Poluição dos Lençóis Aquífero	Vuln. Geral	Geologia (litologia e estrutura)	TALTASSE (1972)
18	Site Ranking System	Disposição de produtos químicos	Solo, caract. hidrául, sorção e tamponam. químico, hidrodinâmica, ar, população	HARGERTY et al. (1973)
19	Surface Impoundment Assessment	Disposição de águas servidas	Zona não saturada, importância do rec., qualidade da água, periculosidade do material	LE GRAND (1964)

BRITO 2013 (Modificado MAIA 2011)

### 3.8.1. GOD

O método GOD consiste num método simples e sistemático, e foi desenvolvido em 1987 por Foster (CARDOSO, 2010). Devido a sua simplicidade de conceito e aplicação, converteu-se em uma das técnicas mais utilizadas na América Latina e Caribe em trabalhos de avaliação de vulnerabilidade (HIRATA e FERNANDES, 2004).

De acordo com VOGEL (2008) a metodologia GOD consiste na avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos e de cargas poluentes provenientes de atividades antrópicas realizadas na superfície terrestre. A determinação do índice de vulnerabilidade GOD compreende uma sequência de fases. Os princípios do método estão baseados em dois fatores hidrogeológicos de proteção do aquífero: a acessibilidade hidráulica à zona saturada e a capacidade de atenuação da zona não saturada. Somente o método GOD contempla parcialmente o tipo de aquífero em relação ao seu comportamento hidráulico e o grau de consolidação (BRITO, 2013). Assim o método GOD, define a vulnerabilidade das águas subterrâneas a uma contaminação geral, em função de três parâmetros: grau de confinamento do aquífero, litologia da zona não saturada e profundidade da água subterrânea (HIRATA, 1994).

Segundo GUIGUER (2009) é uma metodologia simplificada, mas apresenta a vantagem da facilidade de sua utilização e no fato de utilizar os parâmetros mais importantes. De acordo com HIRATA (1994), a metodologia se baseia nos seguintes parâmetros: o grau de confinamento da água subterrânea (*ground water hydraulic confinement*); as características, em termos litológicos e grau de consolidação, dos estratos acima da zona saturada, e a

profundidade do nível freático ou do aquífero confinado (*Depth to ground water table*), conforme pode ser visto na Figura 4.

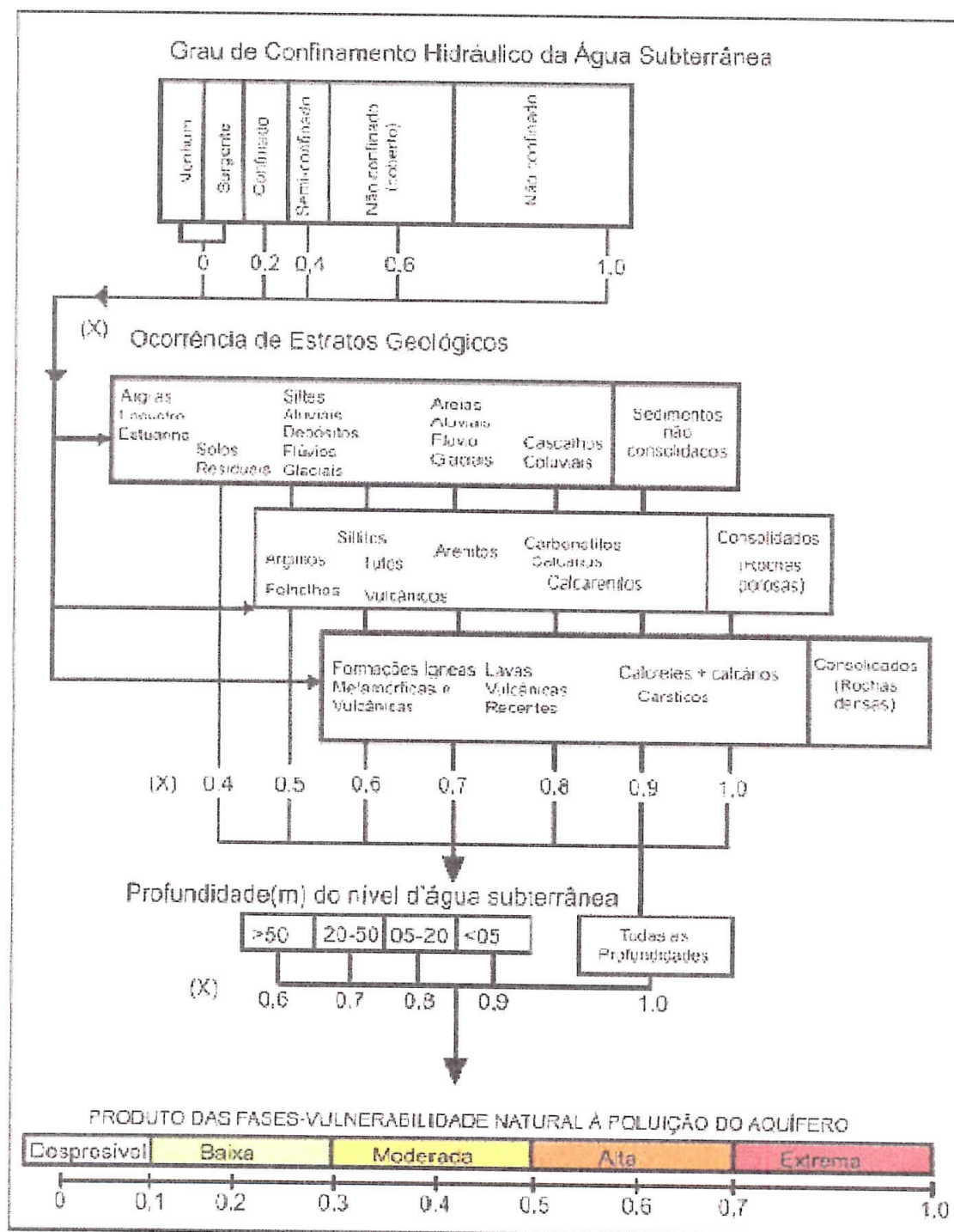


Figura 4: Fluxograma da Metodologia GOD. Adaptado de (FOSTER et al, 2002)

O primeiro dos parâmetros para avaliação da vulnerabilidade natural segundo o método GOD corresponde ao tipo de ocorrência da água subterrânea (G) que varia no intervalo de 0,0 a 1,0, sendo atribuído o valor ou grau de qualificação 1,0 para aquíferos não confinados por



apresentar maior vulnerabilidade. O segundo parâmetro, litologia da zona não saturada (O), apresenta uma qualificação um pouco mais complexa variando o grau de 0,4 a 1,0, pois envolve a classificação do tipo de sedimentos, rochas porosas e rochas consolidadas (FOSTER et al., 2002). A profundidade do aquífero (D) apresenta valores entre 0,3 e 1,0 correspondendo à variação de aquíferos rasos a aquíferos profundos, respectivamente. A multiplicação dos três parâmetros, acima mencionados, será o índice de vulnerabilidade (I.V.), expresso numa escala de 0 a 1,0 (vulnerabilidade insignificante à extrema, respectivamente).

### **3.9. Legislação Ambiental para áreas contaminadas**

No âmbito Estadual, a CONEMA nº 44/12, dispõe a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação ambiental no solo e das águas subterrâneas, por agente químico no processo de Licenciamento Ambiental. A mesma legislação visa identificar, recuperar e reabilitar áreas contaminadas, além de promover uma melhor modernização e eficiência no processo de Licenciamento Ambiental.

Contudo a legislação busca classificar as áreas com potencial de contaminação, segundo a CONEMA Nº 44/2012, as áreas são classificadas como: área com potencial de contaminação (AP), área suspeita de Contaminação (AS) e área Contaminada (AC).

Área com potencial de contaminação (AP) é aquela em que ocorreram atividades que, por suas características, tenha propiciado o acúmulo de substâncias químicas em condições que possam ter ocasionado contaminação do solo e das águas subterrâneas, que de certa maneira ocasiona danos à saúde humana e ao meio ambiente.

Área Suspeita de Contaminação (AS) pode se definida como aquela mediante a Avaliação Preliminar, foi comprovada a existência de um ou mais indícios de contaminação.

Área contaminada (AC) é aquela em que comprovadamente foi constatada mediante a investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.

Já a CONAMA nº420/2009, define as áreas classificadas como:

- Área Suspeita de Contaminação (AS) - aquela que após a realização de uma avaliação preliminar, foram observados indícios da presença de contaminação ou identificadas sob condições que represente perigo.
- Área Contaminada sob Suspeita de investigação (AI) - aquela em que comprovadamente for constatada, mediante a investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.
- Área Contaminada sob Intervenção (ACT) - aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco à saúde humana.
- Área em processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR) - aquela que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco.
- Área Reabilitada para uso declarado (AR) - aquela que após o período de monitoramento, se faz confirmado pelo órgão ambiental a eliminação do perigo ou a redução dos riscos dentro do nível de tolerância.

Desta maneira a Resolução CONAMA nº 420 estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas além do aprimoramento técnico nas medidas tomadas.

A legislação prevê que o possível passivo Ambiental em solo e água subterrânea, siga a ABNT-NBR 15515, ao qual se subdivide em três partes:

- Parte 1: Avaliação Preliminar- Avalia e identifica a possível existência de contaminação na área, através do diagnóstico, coleta de dados e realização de inspeção de reconhecimento da área (NBR 15515/1).
- Parte 2: Investigação Confirmatória- Verifica a existência ou a ausência de contaminação na área de estudo, nesta etapa ocorre a coleta e análise química de amostras representativas de solo e água subterrânea, a interpretação destes resultados é feito através dos valores orientadores da legislação em vigor (NBR 15515/2).
- Parte 3: Investigação detalhada – Estabelece os procedimentos mínimos para a investigação detalhada de áreas onde foi confirmada contaminação em solo ou água subterrânea com base em série histórica de monitoramento, avaliação preliminar, investigação confirmatória ou estudos ambientais (NBR 15515/3)..

Sobre os valores de referência adotados no Órgão Ambiental do estado do Rio de Janeiro, é adotado os valores de referência previsto na CONAMA nº 420, que dispõe os valores orientadores de acordo com o uso da área, sendo os mesmos respectivamente: residencial, agrícola e industrial.

No estado de São Paulo, os valores orientadores são mais restritivos, sendo que estes valores são modificados anualmente, levando em conta a realidade encontrada no estado.

### **3.10 Distrito Industrial de Queimados**

O Distrito Industrial foi fundado no ano de 1976, possuindo localização privilegiada, às margens da Rodovia Presidente Dutra. No ano de 1978, ocorreu a instalação de dois empreendimentos: Ideal Standard e Siderúrgica Hinc.

Em 1985, existiam seis empreendimentos instalados na área do Distrito. Contudo, verificou-se a necessidade de se criar uma associação que fosse responsável em administrar o interesse dos empreendedores, interagindo com o Órgão Público e privado. A fim de garantir estes interesses, foi criada a Associação das Empresas do Distrito Industrial de Queimados - ASDINQ.

Apesar da Lei Nº 748/05, que autoriza o poder executivo a conceder incentivos fiscais para a implantação de empresas no Distrito Industrial. O estopim do crescimento na área do Distrito ocorreu a partir do ano de 2011. Devido ao interesse da expansão econômica da gestão política na época, foi incentivada a entrada das empresas para a área industrial do município de Queimados com a baixa taxa de imposto. Desta maneira a associação da redução de imposto, com o acesso estratégico, para a Rodovia Presidente Dutra e ao Arco Metropolitano e a infraestrutura necessária para a instalação do empreendimento, propiciou uma intensa mudança no desenvolvimento industrial do município, onde um Distrito que anteriormente, possuía apenas seis empresas, atualmente possui 35.

#### **3.10.1. Indústrias instaladas no Distrito Industrial**

De acordo com informações fornecidas pela ASDINQ, o Distrito possui 35 empresas, que apresentam atividades diferenciadas, desde produção de argamassa a produção de

alimentícios. Na Tabela 2 apresentam-se informações sobre as empresas presentes no distrito industrial de Queimados.

**Tabela 2:** Empreendimentos em Operação na área de estudo

Empresa	Atividade
ARFRIO	Armazéns Frigoríficos
ART SUL	Indústria de Construção Civil
ATIVPLUS	Ind. de bebidas
BURN	Ind. de Higiene e limpeza
CBI (NKS)	Produção e Logística de Eletroportáteis
CITYCOLS.A	Ind. Têxtil
DER/RJ	Usina de Asfalto
DURATEX	Ind. de louças sanitária
GRUPO AJE	Ind. Refrigerantes
GRUPO EURONETE	Ind. Náutica
HENAMAR	Ind. Química
ORTOBOM	Ind.de fabricação de material plástico expandido
LAVAZZA	Ind. de Café
JRM21	Ind. Com.de Plást. e Reciclagem
K2M2	Ind. de Comércio de produtos para laboratórios
MASTERPAV	Ind. C Civil
MK3	Montagem de eletroeletrônicos
MULTIBLOCO	Ind. de Artefato de concreto
NKS	Montagem de eletroeletrônicos
PACTUAL	Ind. de Higiene e limpeza
P & G	Ind. Customização
PIRAQUÊ	Produtos Alimentícios
POWER BOATS	Ind. Náutica
QUEIMADOS INVESTIMENTOS	Logística
QUARTZOLIT	Ind.de Argamassa
RAFT	Ind. de Embalagens Metálicas
REAL POWER BOATS	Ind.de fabricação de embarcações de lazer, pesca e performance
RELUZ	Ind. Cosméticos
SAYLUJ	Indústria de Cosméticos
SANES BRASIL	Armazenamento Agroindustrial
SAYOART	Ind. de tecido
TINTAS ÁGUIA	Ind.de fabricação de tintas, vernizes e similares
TOP LONAS	Ind.de lonas
VIFRIO	Armazéns Frigoríficos
VITRUM	Ind. de vidros

Fonte: Adaptado ASDINQ

Os empreendimentos não relatados na Tabela 2 são a Indústria Kaiser, Gerdau e RHI Refratários do Brasil e o Grupo de Segurança Xavier (empresa responsável pela segurança). A Gerdau, Kaiser e RHI são mencionadas no Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

do RJ- INEA. Contudo a Kaiser e Gerdau possuem Termo de Encerramento, emitido pelo Órgão Ambiental Estadual. A área da Kaiser, foi vendida e nos próximos anos, ocorrerá a instalação de um empreendimento na área, com atividade diferente da anterior. A área Gerdau está inativa no momento, ocorrendo interesse de empresários em adquirir a área.

RHI Refratários possui Licença Prévia de Instalação, no entanto até o presente momento a única intervenção na área foi a terraplenagem.

### 3.10.2. Áreas Contaminadas

Conforme Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas do RJ- INEA 1ª edição (2013), existiam seis (06) áreas contaminadas no município de Queimados, sendo quatro (04) destas presentes distrito industrial. No entanto na 2ª edição (2014), foi verificado mais uma (01) área contaminada, que também está presente no sítio do distrito. Na Tabela 3 apresenta-se a relação das áreas contaminadas e/ou reabilitadas no município de Queimados-RJ.

**Tabela 3: Áreas Contaminadas e/ou reabilitadas no Município de Queimados-RJ**

Razão Social	Atividade	Situação	Uso Atual	Meio Impactado		Classificação
				Solo	Água Subterrânea	
Centres	Aterro de resíduos	Desativada	Sem uso definido	Metais, Voc, Svoc	Organoclorados, PAH, Metais	ACI
Cervejaria Kaiser	Indústria	Desativada	Sem uso definido	PAH, TPH	TPH	AMR
Mahle Hirschvogel Forjas S/A	Indústria	Ativa	Industrial	Metais, TPH	Metais, TPH, VOC	AI
Gerdau Aços longos	Indústria	Desativada	Sem uso definido	-	Metais	AMR
Nebraska Indústria e Comércio LTDA	Indústria	Desativada	Cordoaria (Euronete)	Metais	Metais	AI
RHI REFRAATÓRIOS DO BRASIL LTDA	Indústria	Ativa	Industrial	-	-	AI

VOC-Composto orgânico Voláteis; SVOC-Composto orgânico Semi Voláteis; TPH-Hidrocarbonetos Totais de Petróleo; PAH-Hidrocarbonetos Poliaromáticos

(Fonte: Adaptado da tabela Cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas-RJ- 1ª, 2ª e 3ª edição).

Ao buscar informações, sobre a primeira contaminação na área do estudo, foi possível verificar que a mesma está associada ao Empreendimento Nebraska, que se instalou no Distrito em 1996. Conforme informações do Relatório GERAMRVT 912/11, a possível contaminação da empresa Nebraska Indústria e Comércio Ltda. ocorreu devido à deposição de resíduos de areia de fundição diretamente sobre o solo. O empreendimento Nebraska, operou por um período de 12 anos na área do Distrito, exercendo a atividade de fabricação de peças brutas de ferro fundido. Contudo a partir de 2011 o empreendimento Lankhorst Euronete Brasil Indústria e Comércio Ltda. adquiriu a área, tornando se detentora do passivo ambiental. O atual empreendimento possui Licenciamento Ambiental, no âmbito municipal, assim como realiza o monitoramento e frequentes estudos na área, estando classificada atualmente, como Área Contaminada Sob Suspeita de Investigação (AI), pelo Órgão Ambiental Estadual. No entanto o mesmo não foi mencionado no Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas na 1ª e 2ª edição, sendo inserida após uma revisão da 2ª edição.

Conforme relatório Haztec, oriundo do monitoramento na área do empreendimento Lankhorst Euronete Brasil Indústria e Comércio Ltda (2015), foi possível constatar a presença de metais pesados acima dos valores de referência, adotados pela CONAMA Nº 420/09, na água subterrânea, verificou se que os seguintes elementos estavam acima do permitido na legislação vigente, sendo os mesmos respectivamente, Alumínio, Chumbo, Cobalto, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel e Vanádio. Não foram verificados valores superiores ao valor de referência de bifenilas Policlorados na área. Não foram observados valores superiores aos de referência em amostra do solo.

Entre as áreas apontadas na 1ª edição das áreas contaminadas do Estado do Rio de Janeiro, estão a razão Social Gerdau Aços Longos e Cervejaria Kaiser.

De acordo com o Relatório de Vistoria SELARTRVT 5162/14, a empresa Gerdau, operou no Distrito entre 1982 a 1990, sua área operacional consistia em: aciaria com forno elétrico e lingotamento contínuo, utilidades, manutenção, almoxarifado incluindo posto de abastecimento de combustível, beneficiamento de Escória e subestação. A possível contaminação ocorreu devido à deposição de resíduos de carropa (esfoliação superficial formada por resíduos oxidados), escória, refratários usados, pó de aciaria, entre outros, sendo que esta disposição ocorreu diretamente sobre o solo.

Já o empreendimento Cervejaria Kaiser, operou entre 1987 a 2004. De acordo com as informações do Parecer Técnico-INEA Nº: GELRAM-PT-0086 ocorreu a contaminação por Hidrocarbonetos Orgânicos, Inorgânicos e PCBs, as possíveis justificativas de contaminação é devido a rachaduras no piso, descomissionamento de tanque aéreo, manutenção inadequada de maquinário e contaminação por PCB, devido a subestação.

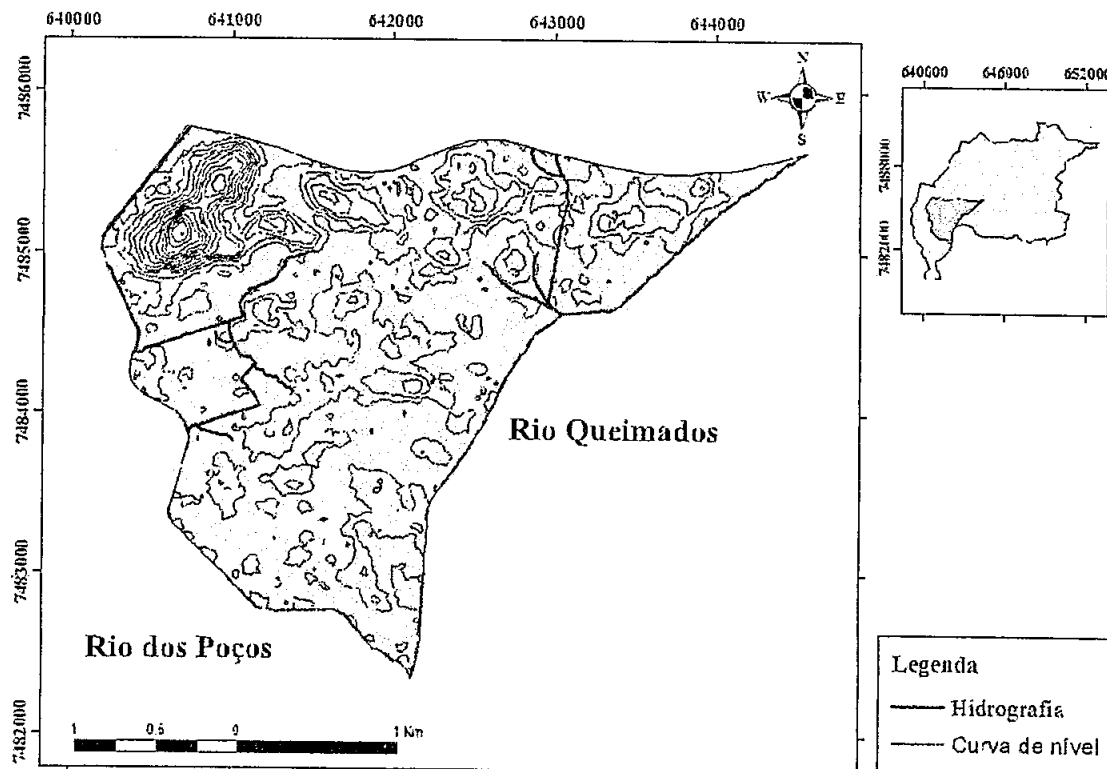
É importante salientar que entre as áreas apontadas no Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas do estado do Rio de Janeiro -INEA, (02) duas já possuem o Termo de encerramento, previsto na DZ 0077, conforme consulta no site do Órgão Ambiental Estadual - Inea. Sendo as mesmas respectivamente Cervejaria Kaiser (TE Nº IN 024046) e Gerdau Aços longos (TE).

Os possíveis contaminantes de ambas as áreas que possuem o Termo de Encerramento, ocorreram devido à exposição de metais, ao solo e água subterrânea ou a contaminação de Bifenilos policlorados (PCB), comercialmente conhecida como ascarel em proximidades à área que possuía subestação.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área do estudo

O presente trabalho tem como área de influência: o Distrito Industrial de Queimados-RJ e sua área de expansão; a área denominada “fazendinha”, que é utilizada para fins de residência e produção agrícola e a Unidade de Conservação Municipal denominada Área de Proteção Ambiental Jacatirã. A área de estudo fica localizada no município de Queimados, no estado do Rio de Janeiro, às margens da Rodovia Presidente Dutra, mais precisamente na altura do km 196,5. A área de estudo possui 694 hectares, tendo como seus confrontantes o rio dos Poços e rio Queimados, conforme apresentado na (Figura 5) da área de estudo. O trabalho foi realizado entre os meses de outubro de 2015 e fevereiro de 2016.



**Figura. 5:** Área de estudo  
Fonte: acervo próprio (2015)

#### 4.1.1 Caracterização do Uso e ocupação do Solo

A área de estudo possui usos distintos, no entanto é possível classificar a área em quatro diferentes classes, sendo as mesmas respectivamente: Industrial, residencial, agrícola e



Área de Proteção Ambiental. Na Figura 6 apresenta-se um mapa que elucida o uso e ocupação do solo.

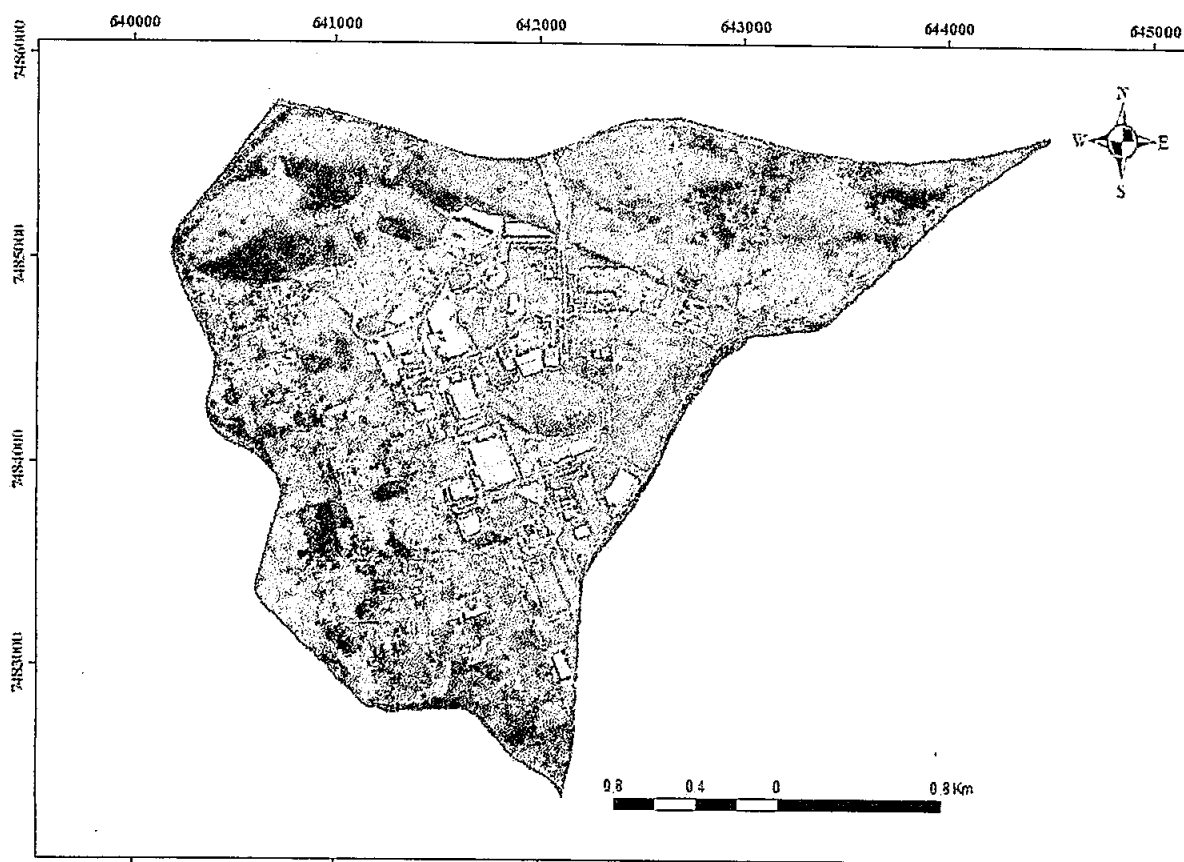


Figura 6: Mapa do uso e ocupação do solo da área de estudo.  
Fonte: Google Earth (2015)

A área Industrial iniciou se na Década de 70, no entanto o seu crescimento foi observado a partir de 2011, onde ocorreu um incentivo para a instalação de Indústrias na área do Distrito. No entanto o uso de ocupação residencial sempre ocorreu, assim como o uso agrícola.

Com o início da expansão Industrial, o panorama da área foi modificado, diminuindo o uso da área para a agropecuária. Anteriormente a área era ocupada pela agropecuária, notadamente criação de gados e búfalos, e ainda cultivos de culturas anuais. Atualmente o uso se restringe a produção em pequena proporção, com o cultivo de cana de açúcar, mandioca, olerícolas e frutíferas. Ocorre também a criação de suínos (para engorda), bovinos em pequena proporção, caprinos e aves, para fins de consumo próprio.

É possível verificar o uso da área com fins residencial, onde ocorrem trechos com residências e/ou área de lazer. E infraestrutura como escola, pequenos comércios e posto de Saúde, a fim de atender a população local, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8.



**Figura 7:** Escola Municipal na área de estudo  
Fonte: acervo próprio (2016)



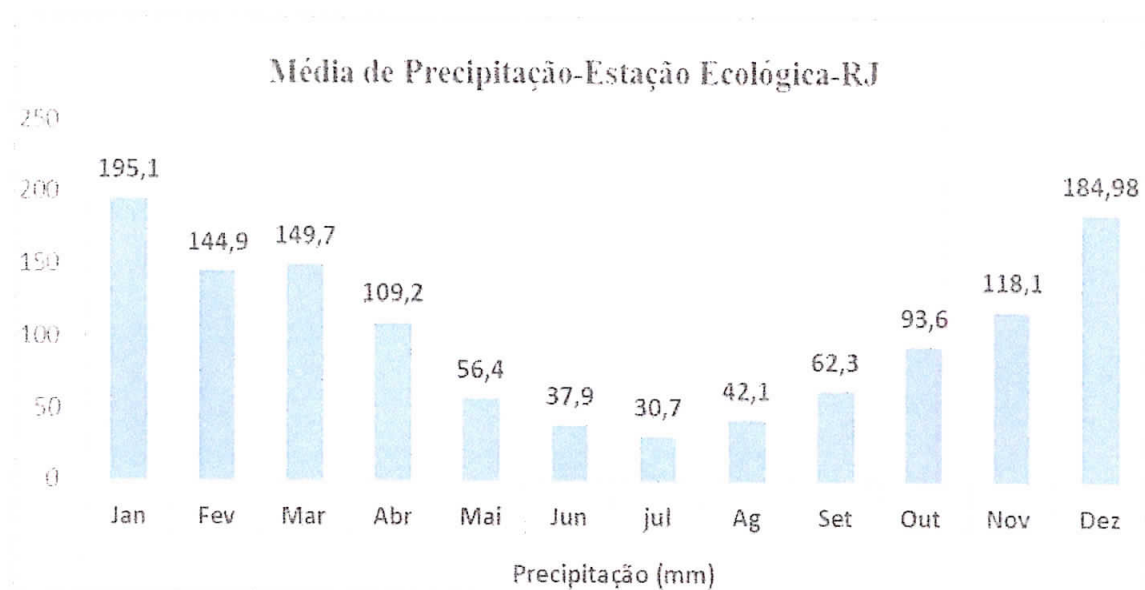
**Figura 8:** Pequenos Comércios na área de estudo  
Fonte: acervo próprio (2016)

Na área de estudo 40 hectares é destinado com fins de proteção ambiental, conforme Decreto Municipal Nº1200/11, que Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal Jacatirão.

#### 4.1.2 Caracterização do clima

Segundo a FUNDAÇÃO CINTRA (2006) o clima de predominância da região é o tropical quente úmido, caracterizado por apresentar de um a três meses seco. A estimativa da temperatura máxima média do ar é de 29,4°C e a média das mínimas de 19,9°C. A umidade relativa do ar varia em uma faixa de 65% a 88%.

Na Figura 9 apresenta-se um gráfico do regime pluviométrico de Queimados, onde é possível verificar que o período correspondente aos meses de maior precipitação vai de Outubro a Março. Já o período correspondente aos meses de Abril a Setembro caracteriza-se como aquele de menor precipitação.

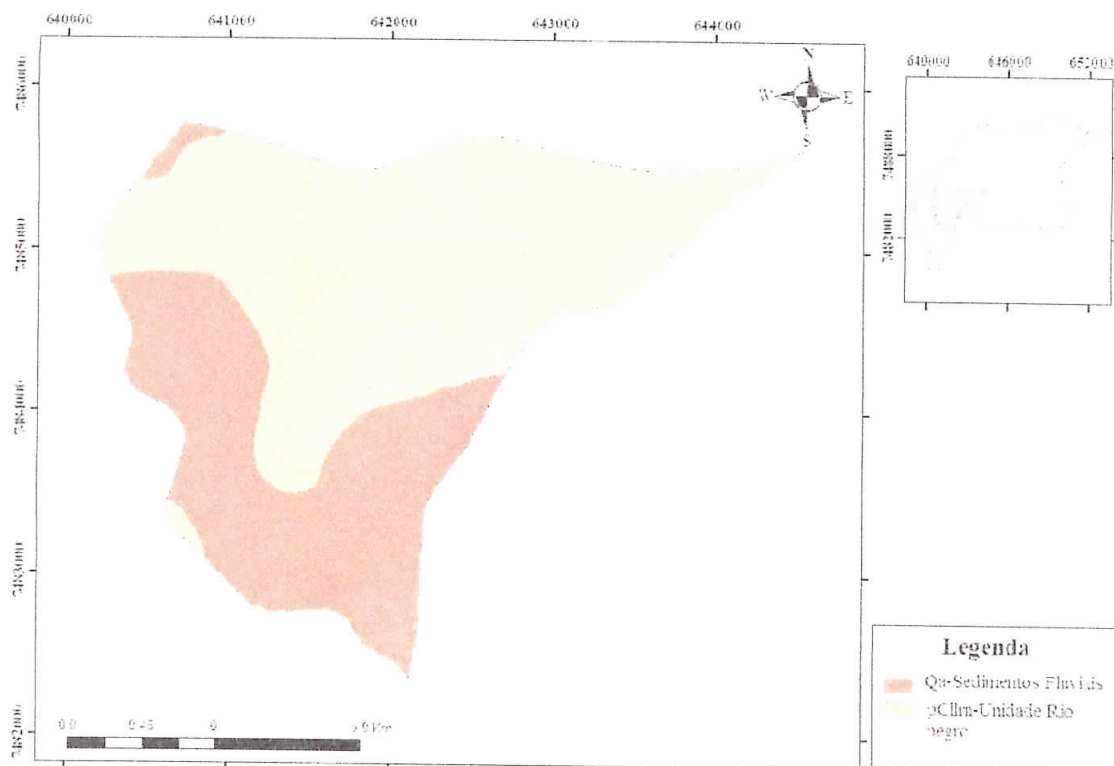


**Figura 9:** Média de Precipitação-Estação Ecológica-Seropédica-RJ  
 Fonte: INMET (Norma Climatológica: 1961-1990)

#### 4.1.3 Caracterização da Geologia

A formação rochosa da região é caracterizada pelo período pré cambriano e deposições do quaternário. As rochas do período pré cambriano, são rochas originadas a mais de 500 milhões de anos e com algumas formações no início do período Paleozóico.

A formação geológica da área é composta por Sedimentos Fluviais (Qa) e Unidade Rio Negro (pCllm), conforme apresentado na Figura 10.



**Figura 10:** Geologia da área de estudo  
Fonte: CPRM (2015)

O sedimento fluvial possui a influência do rio Queimados e rio dos Poços. Este tipo de sedimentação ocorre devido à diminuição da capacidade do rio em transportar o material por conta do relevo, desta maneira ocorre à sedimentação do material transportado. Material mais grosseiro será transportado com maior facilidade, diferentemente de material com menor diâmetro. Sedimentos fluviais possuem características de possuírem camadas de cascalheiras associados a depósitos de rochas não consolidadas, e sedimentos lacustrinos, ou seja, areias, calhaus e vasas.

Já o Complexo Rio Negro é constituído por gnaisses cinzentos, de composição tonalítica e trondhjemitica (TTG), com texturas porfírica recrystalizada e augen. (CPRM, 2015).

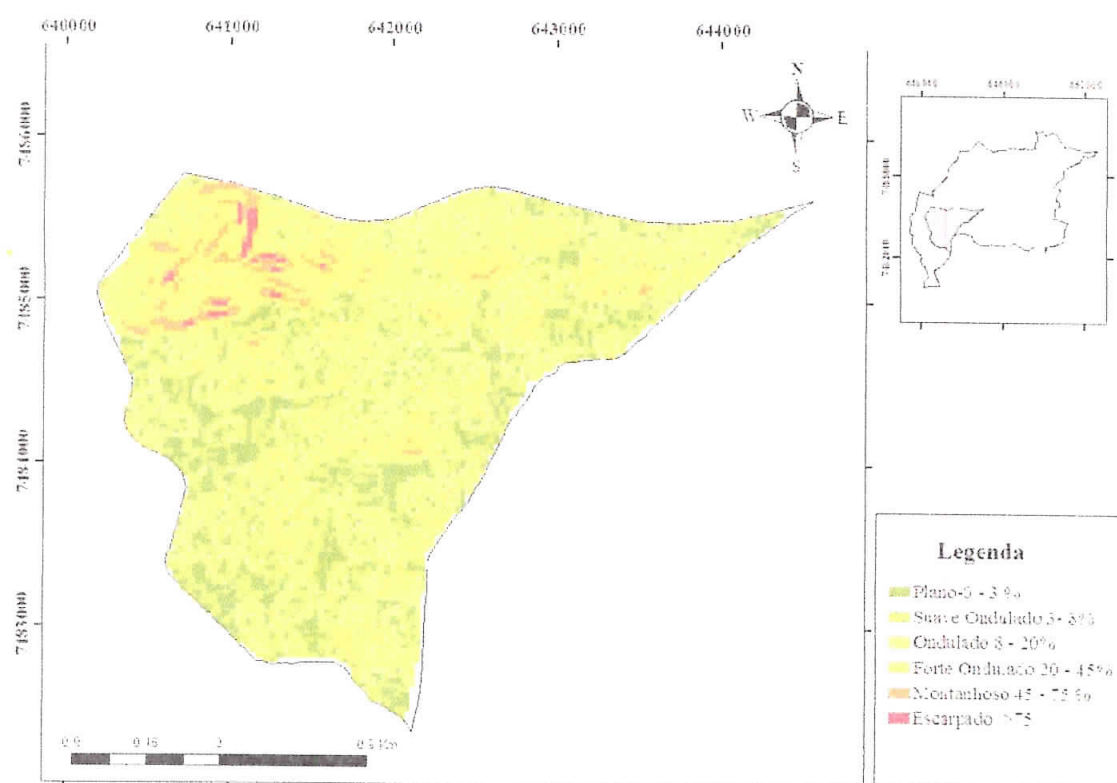
O complexo rio negro é caracterizado por possuir solos de horizontes residuais com espessura variável ocorrendo à presença de solos saprolíticos. Solos saprolíticos são oriundos do processo de decomposição e/ou desagregação da rocha matriz, este processo ocorre devido a fatores abióticos, como chuva, geada, insolação e erosão. Este tipo de solo também sofre

influência das ações humanas, como intervenção devido à construção civil. Este tipo de solo apesar de serem solos residuais jovens, possui uma complexidade em sua mineralogia.

#### 4.1.4. Caracterização do Relevo

Originalmente, o relevo da área de estudo é caracterizado como suavemente ondulado, no entanto, no interior da área do Distrito é possível verificar áreas planas devido à atividade de terraplenagem.

Foi elaborado um mapa do relevo da área de estudo utilizando-se o modelo Digital de Elevação do sensor ASTER (*Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com o software Arcgis 10.1. Posteriormente, procedeu-se a classificação do relevo segundo recomendação de EMBRAPA (1979), conforme apresentado na Figura 11.

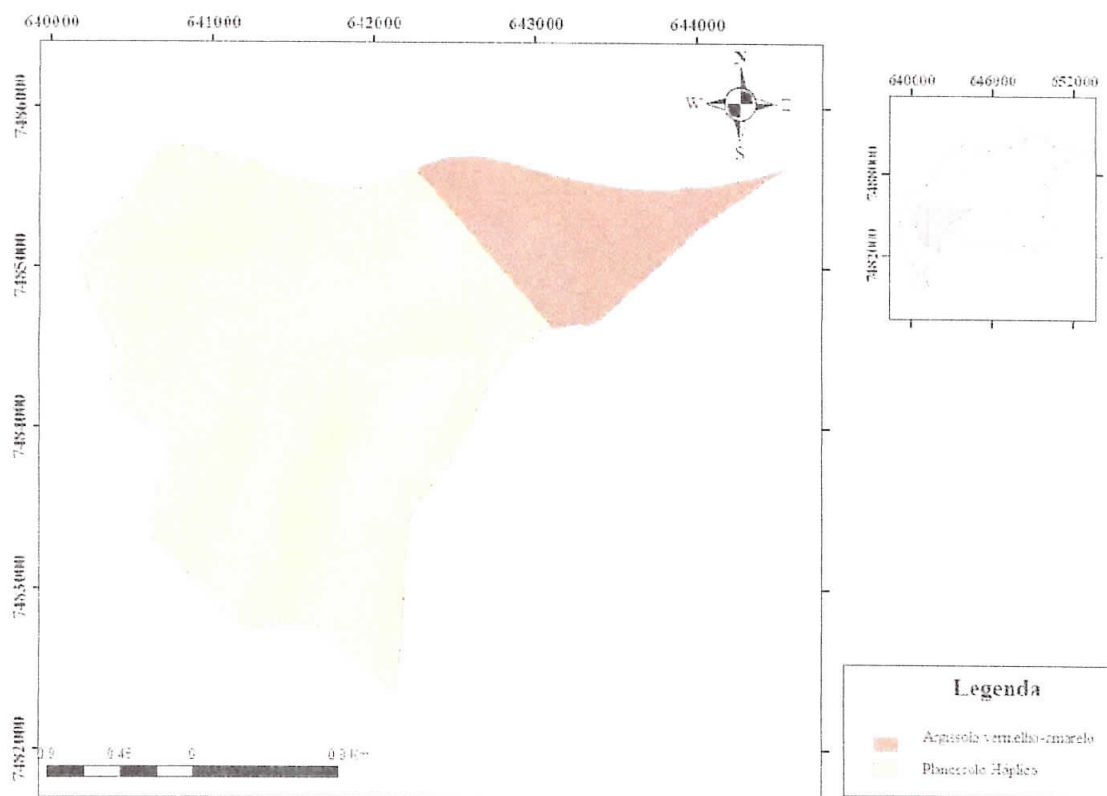


**Figura 11:** Relevo da área de estudo  
Fonte: acervo próprio (2015)

#### 4.1.6 Caracterização do solo

Conhecer as propriedades e características morfológicas do solo é de imensa importância, uma vez que o solo desempenha o papel de atenuação natural, quando discutimos os contaminantes que infiltram e lixiviam ao longo do perfil do solo.

Para a caracterização do solo, foi utilizado o arquivo vetorial, obtido no banco de dados pertencente a Embrapa (EMBRAPA, 2015). Na Figura 12 apresenta-se a classificação do solo da área de estudo conforme apresentada por Embrapa (2015).



**Figura 12:** Solos da área de estudo

Fonte: acervo próprio (2015)

De acordo com relatórios secundários ocorre na área concentração acima do valor de referência da CONAMA N° 420/09 os seguintes elementos: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Mobilidênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio, Zinco. Logo, a elevada concentração de metais no solo propicia a contaminação de águas subterrâneas. Desta maneira, conhecer sua fertilidade e as propriedades que possam intervir na disponibilidade de metais no solo é importante para a gestão da água subterrânea.

De acordo com (DOMINGUES, 2009) várias são as propriedades do solo que podem afetar a disponibilidade e mobilidade do metal no solo. Contudo o material de origem, pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a matéria orgânica do solo, o potencial redox e a interação com outros elementos na solução do solo influênciam toda esta dinâmica.

Durante a perfuração de poços foram coletadas amostras de solo e em seguida estas foram enviadas ao Laboratório de Gênese e Formação de solos, do Instituto de Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foram feitas análises química e física, seguindo a metodologia da EMBRAPA (2011), a fim de verificar os seguintes parâmetros: pH em água, H<sup>+</sup>+Al, Al, Ca, Mg, Na, K e P.

Na Tabela 4 está apresentado a caracterização química das amostras de solo coletadas.

**Tabela.4:** Caracterização Química das amostras de solo coletadas

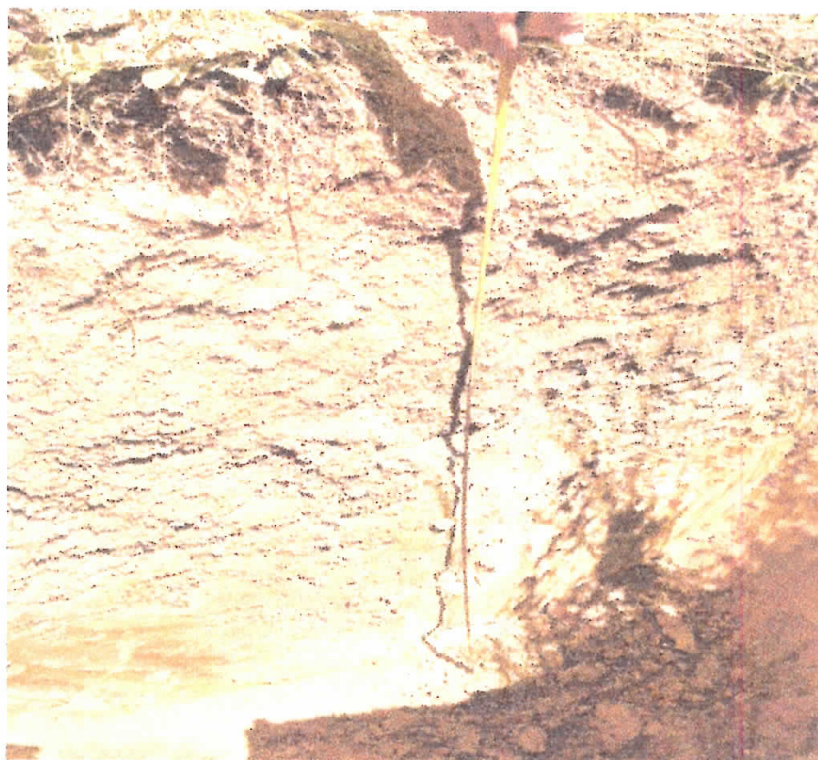
Pm	mmol/kg							mg/Kg	
	pH	H+Al	Ca	Mg	Al	Na	K	CTC	P
1	4,84	10,07	1,14	3,38	1,64	1,71	0,90	16,30	16
2	4,72	9,98	0,47	1,93	3,36	0,98	0,95	13,36	9
3	5,18	7,74	1,38	2,50	0,58	5,83	1,96	17,45	6
4	5,82	9,75	2,43	2,17	0,67	9,79	2,02	24,14	9
5	4,39	10,35	0,93	2,07	1,88	1,53	1,64	14,88	9
6	5,64	10,33	0,89	3,91	1,43	8,50	1,75	23,62	9
7	5,33	8,88	4,08	3,94	0,75	1,28	0,64	18,18	10

Verificou-se que as amostras de solo analisadas apresentam pH ácido, variando entre 4,72 a 5,64. De acordo com (McBRIDE, 1994) o pH é o atributo mais importante do solo que afeta a disponibilidade dos metais pesados. Isto ocorre devido à mobilidade dos metais quando estão em condições ácidas, onde o íon H<sup>+</sup> compete com o metal pelo sítio de troca.

Os solos da região possuem caráter distrófico, ou seja, são característicos por possuírem baixa fertilidade, como pode ser observado na caracterização química, onde é possível verificar que Ca, Mg, Na, K e P estão com baixa disponibilidade no solo. Contudo, solos com baixos teores de macronutrientes, bem como alto teor de Al, podem acarretar baixo valor da Capacidade de troca catiônica (CTC), o que afeta a quantidade de cátions que serão retidas na superfície das argilas e dos colóides. A CTC do solo possui a capacidade de absorção dos contaminantes, no entanto, solos com baixa CTC, associado ao nível do lençol freático próximo à superfície, tornam-se uma associação favorável à contaminação.

Não foi possível disponibilizar a análise de matéria orgânica do solo, já que os dados de análise foram inconclusivos, com a provável justificativa do baixo teor de matéria orgânica disponível no solo.

A fim de constatar as ordens dos solos presentes na área de estudo foi realizada a abertura de trincheiras com dimensões aproximadas de 2,0 x 1,5 x 1,0 m, utilizando-se a Norma Brasileira de Classificação de Solo para posterior interpretação. Na (Figura 13) apresenta-se a trincheira aberta para posterior classificação do solo.



**Figura 13:** Trincheira aberta

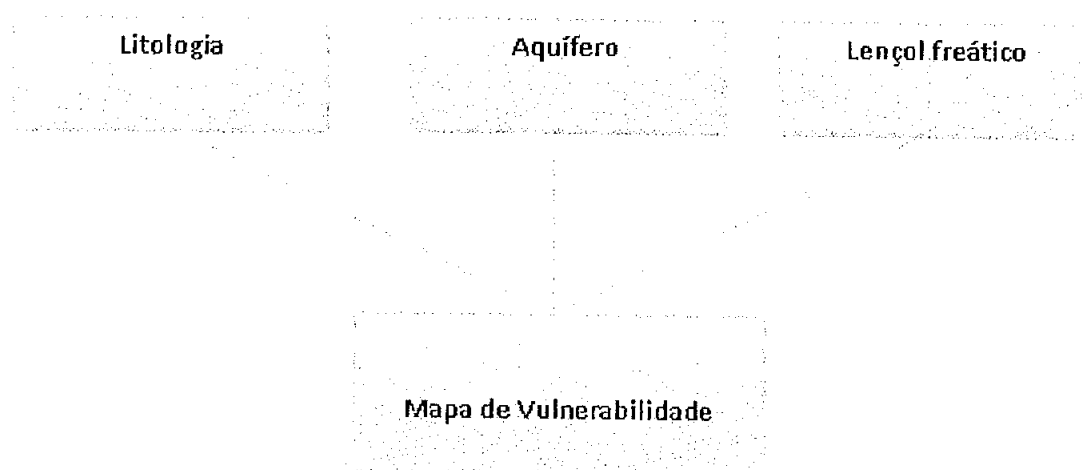
#### **4.2 Método GOD**

A metodologia GOD foi desenvolvida em 1987 por Foster e trata-se de um dos métodos mais utilizados na determinação da vulnerabilidade, devido a sua simplicidade de conceitos e aplicação (RIBEIRO, 2011). A metodologia GOD visa avaliar o quanto um determinado aquífero está suscetível à contaminação (ROMEIRO, 2012). Este método tem sido amplamente utilizado na América Latina e Caribe, devido a sua clareza conceitual e a simplicidade de aplicação, considerando dados pré-existentes (PAVÃO, 2004).

De acordo com FOSTER et al. (2006) na metodologia GOD, são considerados dois fatores básicos na vulnerabilidade e contaminação do aquífero: o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero.



O primeiro parâmetro para a avaliação da vulnerabilidade natural segundo o método GOD corresponde ao tipo de ocorrência da água subterrânea (G) que varia no intervalo de 0 a 1, sendo atribuído o valor ou grau de qualificação um para aquíferos não confinados por apresentar maior vulnerabilidade. O segundo parâmetro, litologia da zona não saturada (O), apresenta uma qualificação um pouco mais complexa variando o grau de vulnerabilidade de 0,4 a 1,0; pois envolve a classificação do tipo de sedimentos, rochas consolidadas e rochas porosas FOSTER et al. (2002). A profundidade do aquífero (D) apresenta valores entre 0,3 a 1,0 correspondendo à variação de aquíferos profundos a rasos, respectivamente. Contudo a vulnerabilidade do aquífero está correlacionada com os seguintes parâmetros: litologia, tipo de aquífero e nível do lençol freático, conforme Figura 14, e a interação entre os três parâmetros será o índice de vulnerabilidade (I.V.), expresso numa escala de 0 a 1,0 (Tabela 4).



**Figura 14:** Parâmetros relevantes para obter o mapa de Vulnerabilidade  
 Fonte: acervo próprio (2016)

**Tabela 5 .** Definição das classes de Vulnerabilidade da Metodologia GOD

Intervalo	Classe	Características
0,0 – 0,1	Insignificantes	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	Alta	Vulneráveis a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

Fonte: Adaptado de (Foster et al., 2006)

### 4.3 Modelagem espacial

Na implementação do modelo de vulnerabilidade GOD é necessário que toda a informação envolvida seja representada por interfaces de informação espacial e que os mapas resultantes sejam obtidos a partir da modelagem destes planos (MEDEIROS ET AL. 2011).

Na elaboração de mapas para este trabalho, foi utilizado o *software*: ARCGIS 10.1 (ESRI).

Para a confecção dos mapas de geologia, litologia, solo e geomorfologia foram utilizados arquivo vetorial, utilizando a extensão *analysy tools* do ArcMap 10.1, onde a extração da área de interesse associado com a área de estudo, ocorreu através da função *Clip*. Para fundir as distintas camadas do mapa de estudo, foi utilizado a extensão *Data management tools e General*.

Para os mapas dos parâmetros G (Grau de confinamento), O (Ocorrência litológicas), D (Distância no nível da água), foi elaborada uma tabela de atributo com as informações obtidas de mapas e dados de campo, atribuindo também o peso da metodologia para cada mapa. Para isso utilizou-se a função *reclassify*, onde cada classe é identificada com uma cor diferente.

Para o mapa final da vulnerabilidade foi necessário transformar os mapas dos três distintos parâmetros da metodologia GOD, do formato *shapfile* para *raster*, com a função *polygon raster*. Após a transformação utilizamos processador *Raster Calculator*, onde inserimos a seguinte equação:

$$\text{Vulnerabilidade do aquífero} = G * O * D \quad (1)$$

### 4.4 Confecção dos mapas

Na confecção dos mapas foram utilizados dados coletados de forma direta na área de estudo (dados primários), além de dados secundários obtidos no Órgão Ambiental Municipal, que consiste de Relatórios de Investigação Ambiental e de Avaliação de Risco a Saúde Humana. Foram utilizadas também informações do *Website* do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), as quais consistem em relatórios de vistoria, de Pareceres Técnicos e Relatório de Gerenciamento de Áreas Contaminadas do estado do Rio de Janeiro.

Para obter os arquivos de dados vetoriais, foram consultados os bancos de dados dos seguintes Órgãos/ Instituições:

- Instituto Estadual do Ambiente - INEA;
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM;
- Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - IBGE;
- Ministério do Meio Ambiente - MMA.

#### 4.4.1 Mapa de ocorrência de água subterrânea (G)

A fim de confeccionar o mapa de ocorrência de água subterrânea (G) foram utilizadas informações coletadas a partir de um banco de dados da CPRM.

Na Tabela 6 estão atribuídos os pesos da metodologia de GOD utilizados para os diferentes tipos de ocorrência de água subterrânea.

Tabela 6. Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao grau de confinamento

Grau de confinamento da água subterrânea	Pesos
Nenhum ou surgente	0
Confinado	0,2
Semiconfinado	0,4
Não Confinado (Coberto)	0,6
Não Confinado	1,0

Fonte: (adaptado do Fluxograma da Metodologia GOD- (Foster et al, 2006))

#### 4.4.2 Mapa de litologia da zona não saturada (O)

De acordo com o (CPRM, 2016) podemos definir Litologia como o estudo da origem e natureza das rochas. Segundo o (IBGE, 1998) o caráter litológico depende mais do ambiente sedimentar do que da idade de todas as unidades litoestratigráficas, ou seja, das camadas de rochas que delimita a área.

Além da utilização de dados da CPRM na caracterização da litologia da área de estudo, foram realizadas sete perfurações a fim de coletar material litológico. O critério visual utilizado para a separação das amostras em campo foram cor e textura. Os parâmetros granulometria e cor foram avaliados no laboratório de Gênese e Formação dos Solos, do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

No laboratório foi utilizada a padronização mundial, ou seja, sistema Munsell de cores para o solo (*Munsell Soil Color Charts*), que consiste em avaliar a cor de acordo com o croma e a matiz da amostra. Nesta etapa avaliamos a cor com a amostra seca e úmida. Quando ocorriam agregados era necessário quebrar e verificar a cor de dentro e fora da amostra, utilizando como critério a cor interna do agregado.

Para a diferenciação da textura em campo, foram utilizados os critérios visuais e táteis, onde distinguia as diferentes camadas pelos seguintes gradientes textural: areia, silte e argila. Nesta etapa umedecemos a amostra e verificamos se ocorria aspereza (arenoso), sedosidade (silte) e pegajosidade ou plasticidade (argila).

Em laboratório foi utilizado à análise do tamanho das partículas, denominada Método da Pipeta (GEE & BAUDER, 1986), obtendo a porcentagem de argila, silte e areia. Com a porcentagem de cada classe textural, utilizou-se triângulo do gradiente textural, onde se adota as classes de textura do Sistema Americano ou o triângulo, de acordo com o Soil Survey Manual (Estados Unidos, 1959, 1993), que dispõe de treze diferentes classes texturais. (EMBRAPA, 2011). Na Tabela 7 apresenta-se a caracterização da análise realizada no laboratório.

Foi possível verificar que os dados da granulometria e classe textural, possuem uma grande variação, não se mantendo em uma classe definida, já que o material não possui uniformidade devido ao acréscimo de material de aterro associado ao material de origem. A cor foi determinada utilizando a carta de Munsell.

**Tabela 7:** Classificação da Granulometria e cor do solo seco dos pontos de perfuração

Amostra	Camada	% Areia	% Silte	% Argila	Classificação	Cor
1	1	61,9	4,3	33,8	franco argiloso arenoso	amarelo alaranjado maçante marrom
1	2	44,8	11,4	43,8	argiloso	amarelado maçante amarelo
1	3	56,6	5	38,4	argilo arenoso	alaranjado maçante marrom
1	4	50,2	20,1	29,7	franco argiloso arenoso	amarelado maçante amarelo
1	5	45,3	29,8	24,9	franca	marrom acinzentado

**Tabela 7: Classificação da Granulometria e cor do solo seco dos pontos de perfuração**

Amostra	Camada	% Areia	% Silte	% Argila	Classificação	Cor
1	6	29,2	26,1	44,7	argiloso	amarelo marrom acinzentado
1	7	23,6	25	51,4	argiloso	amarelo alaranjado maçante
1	8	34,4	30,4	35,2	franco argiloso arenoso	amarelo marrom acinzentado
2	1	59,2	16,7	24,1	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante
2	2	47,8	27,8	24,4	franco	Marrrom marrom
2	3	55,9	40,2	3,9	franco arenoso	amarelado brilhante
2	4	52,5	31,7	15,8	franco	Marrom
2	5	43,3	54,4	2,3	franco siltoso	amarelo alaranjado marrom
2	6	58,4	33,4	8,2	franco arenoso	amarelado maçante marrom
2	7	84,6	4,2	11,2	Areia franca	amarelado maçante marrom
3	1	41,2	18,5	40,3	Argila	amarelado maçante
3	2	31,9	37,4	30,7	franco argiloso	Marrom
3	3	86,2	4,1	9,7	Areia franca	amarelo alaranjado maçante
3	4	89	2,4	8,6	Areia franca	amarelo alaranjado maçante
3	5	84,4	8,3	7,3	Areia franca	amarelo marrom acinzentado
3	1	41,2	18,5	40,3	Argila	marrom amarelado maçante
4	1	72	6,5	21,5	franco argiloso arenoso	Castanho amarelado
4	2	57,8	19,6	22,6	franco arenoso	marrom
4	3	70,6	5,4	24	franco argiloso arenoso	marrom marrom
4	4	69,6	24,6	5,8	franco arenoso	amarelado maçante
4	5	41,9	6,2	51,9	Argiloso	marrom
4	6	49,3	1,8	48,9	argilo arenoso	marrom
4	7	53,8	3,9	42,3	argilo arenoso	preto acastanhado
5	1	57,9	12,9	29,2	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante

Tabela 7: Classificação da Granulometria e cor do solo seco dos pontos de perfuração						
Amostra	Camada	% Areia	% Silte	% Argila	Classificação	Cor
5	2	51,6	8,8	39,6	argilo arenoso	amarelo marrom acinzentado
5	3	37	15,2	47,8	Argiloso	amarelo alaranjado maçante
5	4	26,4	24,5	49,1	Argiloso	amarelo alaranjado maçante
5	5	75,1	5,3	19,6	franco arenoso	amarelo alaranjado maçante
5	6	77,3	3,2	19,5	franco arenoso	preto acastanhado
5	7	81,3	3	15,7	franco arenoso	marrom amarelado maçante
5	8	64,2	3,8	32	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante
5	9	66,9	4,8	28,3	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante
5	10	49,9	6	44,1	argilo arenoso	marrom amarelado maçante
6	1	67	6,8	26,2	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante
6	2	69	18,5	12,5	franco arenoso	marrom amarelado maçante
6	3	57,7	9,3	33	franco argiloso arenoso	marrom amarelado maçante
6	4	60,2	1,8	38	argilo arenoso	marrom amarelado maçante
6	5	47,9	7,69	44,41	Argilo arenoso	cinzento acastanhado
6	6	17,9	29,2	52,9	Argiloso	marrom amarelado maçante
6	7	61,9	1,4	36,7	argilo arenoso	marrom amarelo acinzentado
6	8	56,8	11,1	32,1	franco argiloso arenoso	marrom amarelado brilhante
6	9	83,8	1,2	15	franco arenoso	amarelo alaranjado maçante
6	10	84,5	8,8	6,7	Areia franca	amarelo alaranjado maçante

Tabela 7: Classificação da Granulometria e cor do solo seco dos pontos de perfuração						
Amostra	Camada	% Areia	% Silte	% Argila	Classificação	Cor
7	1	68,6	18,9	12,5	franco arenoso	preto
7	2	66,4	18,7	14,9	franco arenoso	acastanhado
7	3	47,9	2,8	49,3	argilo arenoso	marrom
7	4	52,7	22,3	25	franco argilo arenoso	marrom
7	5	45,9	19,8	34,3	franco argilo arenoso	amarelado
7	6	50,6	26,7	22,7	franco argilo arenoso	maçante
7	7	42,7	10	47,3	Argiloso	amarelado
7	8	61,1	5,3	33,6	franco argilo arenoso	amarelo
7	9	65	2,4	32,6	franco argilo arenoso	marrom
7	10	59,1	7,2	33,7	franco argilo arenoso	acinzentado
7	11	55,2	34,2	10,6	franco arenoso	amarelo
7	12	59	36,5	4,5	franco arenoso	marrom
						acinzentado
						marrom
						amarelado
						maçante
						amarelo
						marrom
						acinzentado
						amarelo
						marrom
						acinzentado
						cinzento
						acastanhado
						amarelo
						alaranjado
						maçante

Além dos dados de campos e análise laboratorial, também foi utilizado relatórios técnicos de investigação ambiental. Estes dados foram comparados com o mapa de litologia da área e com o mapa de solo.

Na classificação de vulnerabilidade quanto à litologia deve-se utilizar os padrões estabelecidos por FOSTER et al. (2002) (Figura 4) de acordo com a unidade litológica da região. No entanto, a área de estudo possui sítios onde ocorreu uma intensa intervenção por terraplenagem e descarte de resíduos da construção civil, notadamente na região do distrito industrial. Neste caso foi necessário que o parâmetro Litologia tivesse uma análise diferenciada, já que a lixiviação dos contaminantes pode possuir um comportamento diferenciado ao compararmos com o material litológico natural. Ressalta-se que em áreas com a presença de entulhos irão existir caminhos preferenciais ao deslocamento de solutos no solo. Desta maneira, e assim como CORIDOLA et al. (2005), foi utilizado um critério diferenciado para definir o peso das diferentes tipos de unidades litológicas encontradas na área. Na Tabela 8 estão atribuídos os pesos da metodologia de GOD utilizados para os diferentes tipos de unidades litológicas.

**Tabela 8.** Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao tipo de unidade litológica

Unidades	Pesos
Solos residuais Argilosos	0,35 a 0,46
Solos residuais mistos argilosos	0,46 a 0,62
Solos residuais mistos argilo-arenosos	0,62 a 0,80
Solos residuais arenosos	0,80 a 0,90

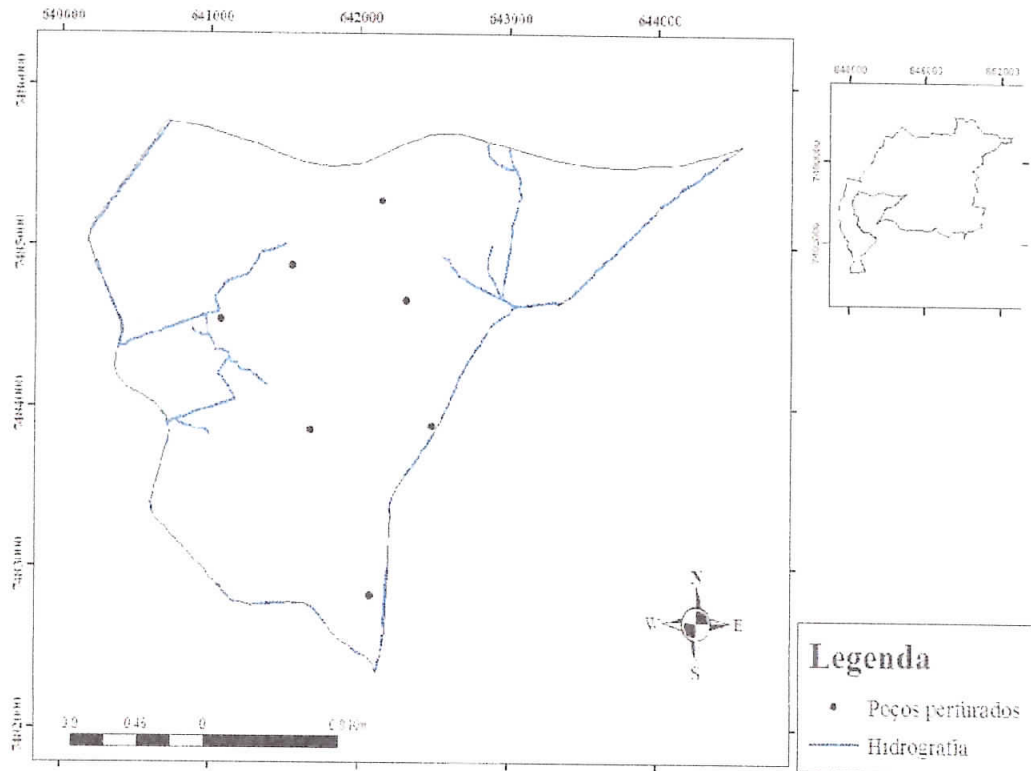
Fonte: adaptado de CORIDOLA et al (2005)

#### 4.4.3 Mapa do Nível do lençol freático (D)

Entre os meses de Abril e Outubro de 2015, foram coletadas informações de campo, cadastrando poço artesiano, olho d'água, lagos na área de estudo e ainda a partir de perfuração de poços.

Nos dias 18 e 24 de Outubro, foram perfurados sete poços, utilizando um trado manual até atingir um metro abaixo do nível da água. Após a perfuração introduziu tubos de PVC com diâmetro de cem milímetros, nos tubos foi feito ranhuras em toda a sua extensão. Nas Figuras 15 e 16 apresentam, respectivamente, os pontos de perfuração dos poços e o momento de abertura, utilizando o trado manual. A escolha do trado manual como método de perfuração, foi devido não utilizar nenhum fluido para perfuração, o que possibilitaria uma melhor classificação e separação do material litológico para posterior análise.





**Figura 15:** Distribuição dos poços perfurados na área de estudo.  
 Fonte: acervo próprio (2016)



**Figura 16.** Perfuração com trado manual  
 Fonte: acervo próprio (2015)

Para a determinação da profundidade do lençol freático, foi utilizado o piezômetro “*water level meter*”, onde verificou o nível do lençol nos trinta e três (33) pontos de estudo presente na área.

Desta maneira, além dos sete pontos de perfuração, foram cadastrados vinte (20) pontos em áreas particulares e seis (06) pontos ao longo dos cursos hídricos, totalizando trinta e três pontos (33) (Figura 17).

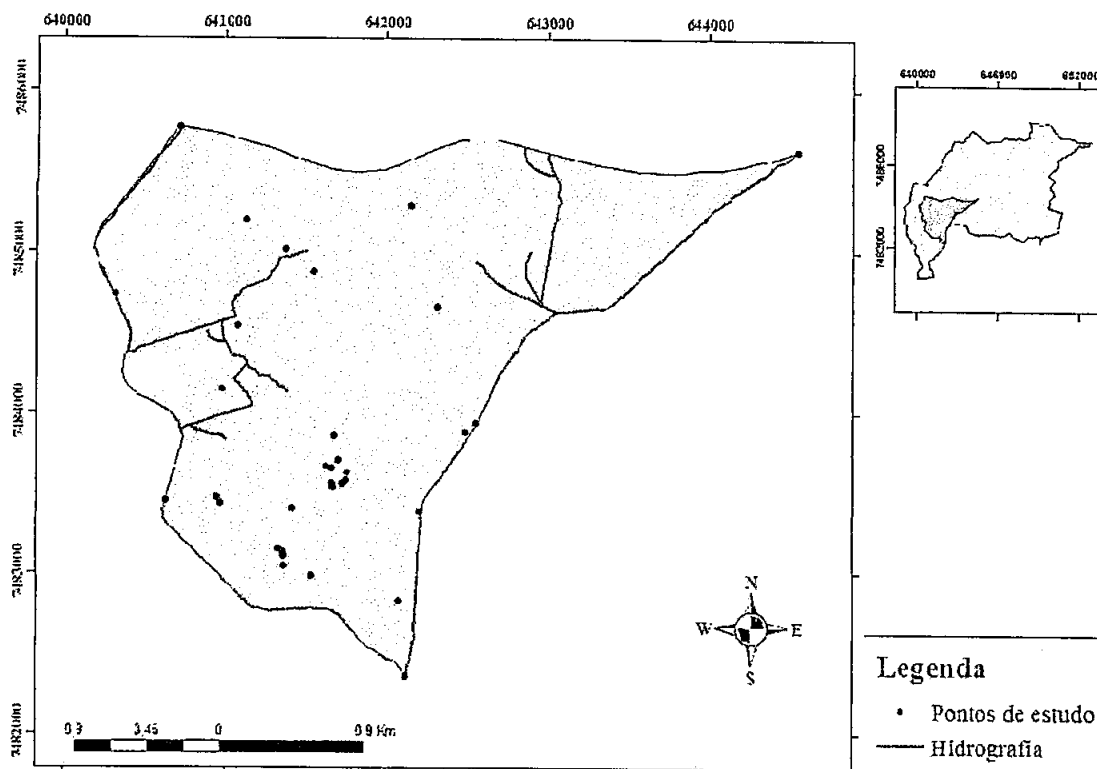


Figura 17: Distribuição dos Pontos na área de estudo  
Fonte: acervo próprio (2016)

Na Tabela 9 apresentam-se informações dos pontos cadastrados na área de estudo.

Tabela 9: Informações dos pontos cadastrados na área de estudo

Pm	X	Y	Nível do LF	Uso da área	Informações
1	642073	7482831	1,67	Industrial	Perfuração
2	641553	7484876	1,11	Industrial	Perfuração
3	641076	7484535	0	Industrial	Perfuração
4	642314	7484658	1,58	Industrial	Perfuração
5	642486	7483882	2,26	Industrial	Perfuração
6	641673	7483857	2,6	Industrial	Perfuração
7	642152	7485282	1,82	Industrial	Perfuração
8	641701	7483703	3,82	Industrial	Poço de monitoramento

**Tabela 9:** Informações dos pontos cadastrados na área de estudo

Pm	X	Y	Nível do LF	Uso da área	Informações
9	641624	7483665	2,27	Industrial	Poço de monitoramento
10	641754	7483631	3,36	Industrial	Poço de monitoramento
11	641724	7483564	3,15	Industrial	Poço de monitoramento
12	641661	7483562	4,68	Industrial	Poço de monitoramento
13	641753	7483579	4,38	Industrial	Poço de monitoramento
14	641671	7483538	1,54	Industrial	Poço de monitoramento
15	641664	7483657	2,89	Industrial	Poço de monitoramento
16	641361	7483051	1,89	Rural	Poço artesiano
17	641357	7483133	1,4	Rural	Poço artesiano
18	641363	7483113	0,25	Propriedade rural	Lago
19	641332	7483153	1,47	Propriedade rural	Poço artesiano
20	641417	7483402	2,37	Propriedade rural	Poço artesiano
21	640971	7483439	1,04	Residencial	Poço artesiano
22	640945	7483472	2,87	Residencial	Poço artesiano
23	641537	7482987	1,38	Residencial	Poço artesiano
24	641124	7485195	2,9	Residencial	Poço artesiano
25	640977	7484145	2,61	Residencial	Poço artesiano
26	641376	7485011	0	Industrial	Olho d'água
27	642119	7482359	0,19	Curso hídrico rio dos Poços/ Queimados	Encontro dos rios
28	642206	7483389	0,64	Curso hídrico	Rios Queimados
29	642552	7483936	0,34	Curso hídrico	Rios Queimados
30	644545	7485628	0,21	Curso hídrico	Rios Queimados
31	640627	7483453	0,18	Curso hídrico	Rio dos Poços
32	640314	7484733	0,25	Curso hídrico	Rio dos Poços
33	640713	7485766	0,49	Curso hídrico	Rio dos Poços

Para o georreferenciamento dos pontos de estudo foi utilizado um GPS (*Global Positioning System*) de navegação modelo Garmin76MAP CSX. Foi adotado o *datum* do sistema Geodésico Brasileiro atual, o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). O sistema de coordenadas adotado foi o Universal Transverse Mercator-UTM.

Após o georreferenciamento dos pontos cadastrados foi realizada uma interpolação a fim de se obter o mapa da distribuição do nível do lençol freático na área de estudo. Para tanto, foi utilizado o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighed*), presente no pacote do *software* ArcGis. Ressalta-se que o uso do interpolador IDW é recomendado quando a variável a ser mapeada diminui com a distância na localização amostrada.

Na Equação 2 apresenta-se como o valor do ponto desconhecido é calculado:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (2)$$

Em que,

$\bar{Z}$  = valor resultante calculado a partir das amostras  $Z_i$  até  $Z_n$ ;

$n$  = número de amostras da região a ser analisada;

$d_i$  = distancia de cada ponto em relação ao ponto a ser calculado;

$p$  = expoente de ponderação;

$Z_i$  = valor década amostra.

Neste estudo foi considerado um número de amostras igual a 12 por ponto a ser calculado e um expoente de ponderação igual a três. MEDEIROS et al. (2011) avaliaram métodos de interpolação na determinação de um mapa de nível de lençol freático e verificaram que o IDW foi aquele que apresentou valores mais próximos entre o dado observado e o medido.

Na Tabela 10 estão atribuídos os pesos da metodologia de GOD utilizados para os diferentes níveis do lençol freático.

**Tabela 10:** Índices de vulnerabilidades do aquífero associado ao nível do lençol freático

Profundidade do lençol freático	Pesos
Maior que 50 m	0,6
Entre 50 e 20 m	0,7
Entre 20 e 5 m	0,8
Menor que 5 m	0,9

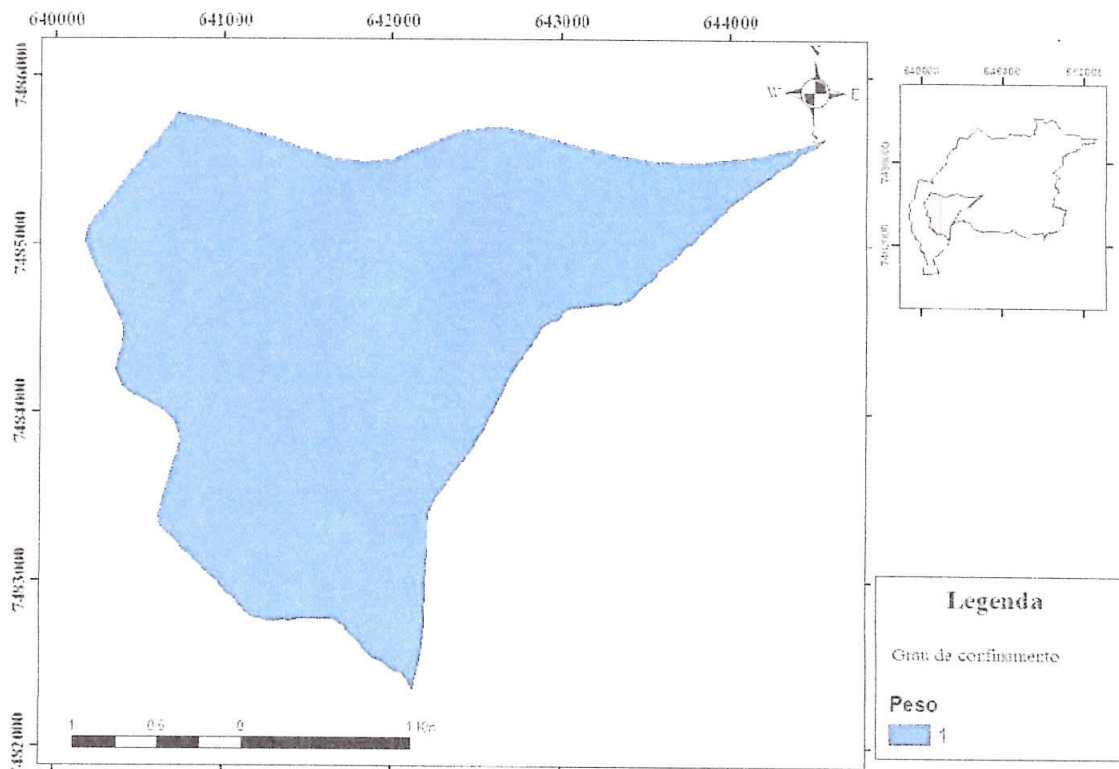
Fonte: adaptado do Fluxograma da Metodologia GOD- (Foster et al, 2006)

## 5.RESULTADOS

### 5.1 Mapa de ocorrência de água subterrânea (G)

O aquífero do estado do Rio de Janeiro pode ser classificado como de domínio Cristalino. No domínio cristalino pode ocorrer aquífero poroso ou fraturado. O aquífero fraturado ocupa 80% do estado do Rio de Janeiro, já o poroso apenas 20%. Nos aquíferos fraturados o armazenamento e a circulação da água subterrânea estão relacionados às fraturas abertas que se intercomunicam. Já nos aquíferos porosos o armazenamento e a circulação da água subterrânea se dá através dos poros intergranulares.

A área de estudo é caracterizada por apresentar aquífero não confinado fraturado, onde a água circula pelas físsuras resultantes do faturamento das rochas relativamente impermeáveis, que no caso da área de estudo possui como características rochas metamórficas. Desta maneira o índice GOD atribuído para o parâmetro grau de confinamento foi igual a um (01) para toda a área de estudo, conforme apresentado na Figura 18.



**Figura 18:** Grau de Confinamento hidráulico da água subterrânea.  
Fonte: acervo próprio (2016)

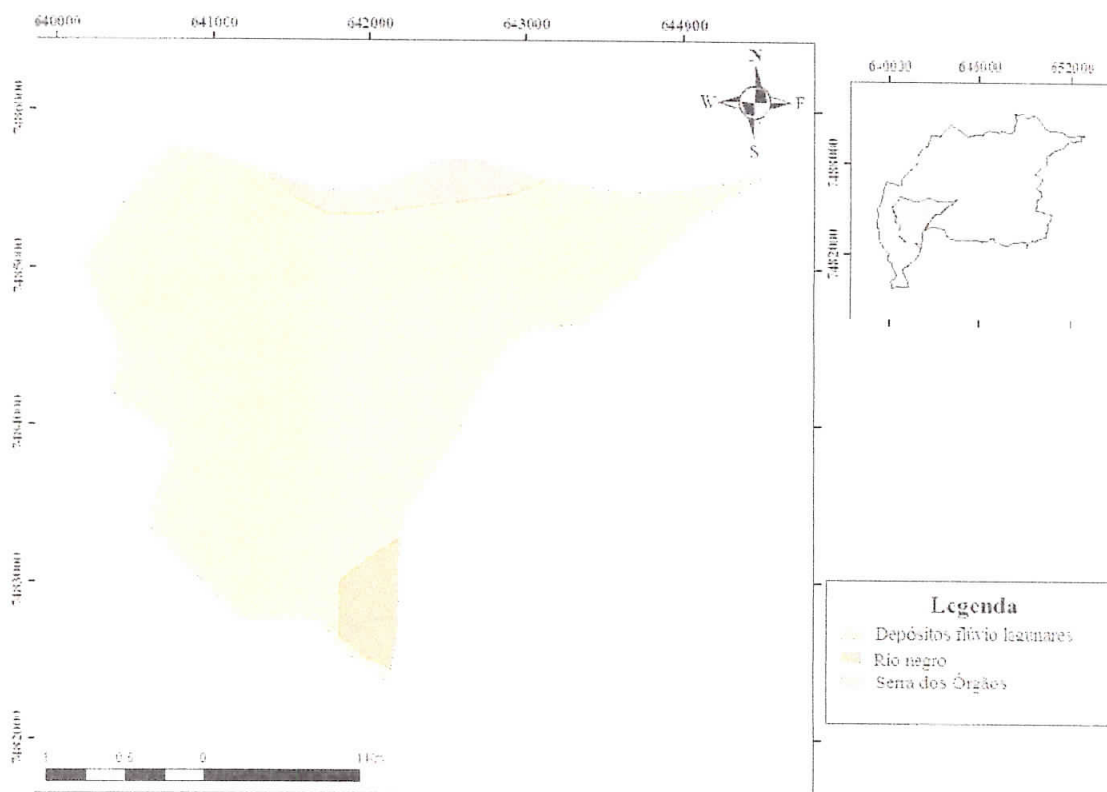
De acordo com FOSTER et al. (2006), existem uma grande preocupação com os aquíferos não confinados, principalmente em áreas em que a zona vadosa é pouca espessa e o lençol freático é raso. Nestes aquíferos os riscos de contaminação são de relevante significância.

CUTRIM et al (2010) concluíram que o modo de ocorrência do aquífero tem grande correlação com o seu grau de vulnerabilidade. RIBEIRO et al. (2011) ao avaliarem um aquífero não confinado ressaltaram a preocupação com relação á possibilidade de contaminação das águas subterrâneas que se concentram nos aquíferos não confinados, onde a zona vadosa é pouco espessa e o nível do lençol freático é raso.

MONTERO (2012), em seu trabalho avaliou aquíferos não confinados e classificou quatro diferentes unidades hidrogeológica propondo diferentes pesos, que variaram entre 0,90 a 1,0 para as quatro unidades que possui o mesmo grau de confinamento. Verificou-se que aquíferos não confinados com sedimentos do quaternário, característica do presente trabalho, encontram-se desprovidos, obtendo desta maneira o maior peso, ou seja, 1,0. Foi possível verificar que este tipo de aquífero obteve vulnerabilidade Extrema e Muito Alta.

## **5.2 Mapa de litologia da zona não saturada (O)**

Segundo DOM CINTRA (2006) e CPRM (2015) ocorrem três diferentes unidades litológicas na área de estudo, a saber: Depósito flúvio-lagunares, Rio Negro e Serra dos Órgãos (suíte serra dos órgãos), conforme ilustrado na Figura 19.



**Figura 19:** Litologia da área de estudo  
 Fonte: acervo próprio (2016)

De acordo com a CPRM (2000) os depósitos flúvios-lagunares (Qhfl) têm sua origem a partir de regiões que sofreram a deposição fluvial em um ambiente transional marinho raso. Estes depósitos são compostos por areias e lamias que ficam acima das camadas de areias biodetríticas e/ou sedimentos lamosos de fundo lagunar. Os sedimentos arenosos são compostos por lentes de silte e argila, areias brancas, vasas, mangues e cascalhos.

O complexo Rio negro é formado por rochas do Período Pré Cambriano que são representados por Ortogaisses (gnaisse derivado de uma rocha ígnea) com intercalações de anfibolito, que consiste em rocha metamórfica de grau médio e intrusões de granada leucogranitos. Os suítes são formados por granitos com rochas originárias do metamorfismo de antigos sedimentos.

Já a unidade Serra dos Órgãos é formada por rochas da unidade Duas Barras (N<sub>7</sub>1rd) representadas por granitos, por vezes localmente foliados, de composição tonalítica. Bolsões e veios de leucogranito tipo-S são comuns. Essas rochas são de idade do período geológico Neoproterozóica, que equivale ao intervalo de tempo entre 2.500 e 540 milhões de anos atrás.

No entanto, a partir das análises realizadas em campo e de amostras coletas ao longo do perfil litológico, foi verificado que as primeiras camadas são oriundas de material de resíduo de material de construção civil. Foi possível verificar também que em algumas áreas os horizontes superficiais eram compostos por material oriundo de bota fora de terraplenagem, o que modifica as propriedades físicas e químicas destas camadas.

Na Figura 20 apresenta-se a área onde foi verificada a presença de entulho e solos de áreas de empréstimo. A delimitação deste polígono foi realizada tomando-se por base a análise da textura de sete pontos de amostragem de solo dentro da área do distrito.

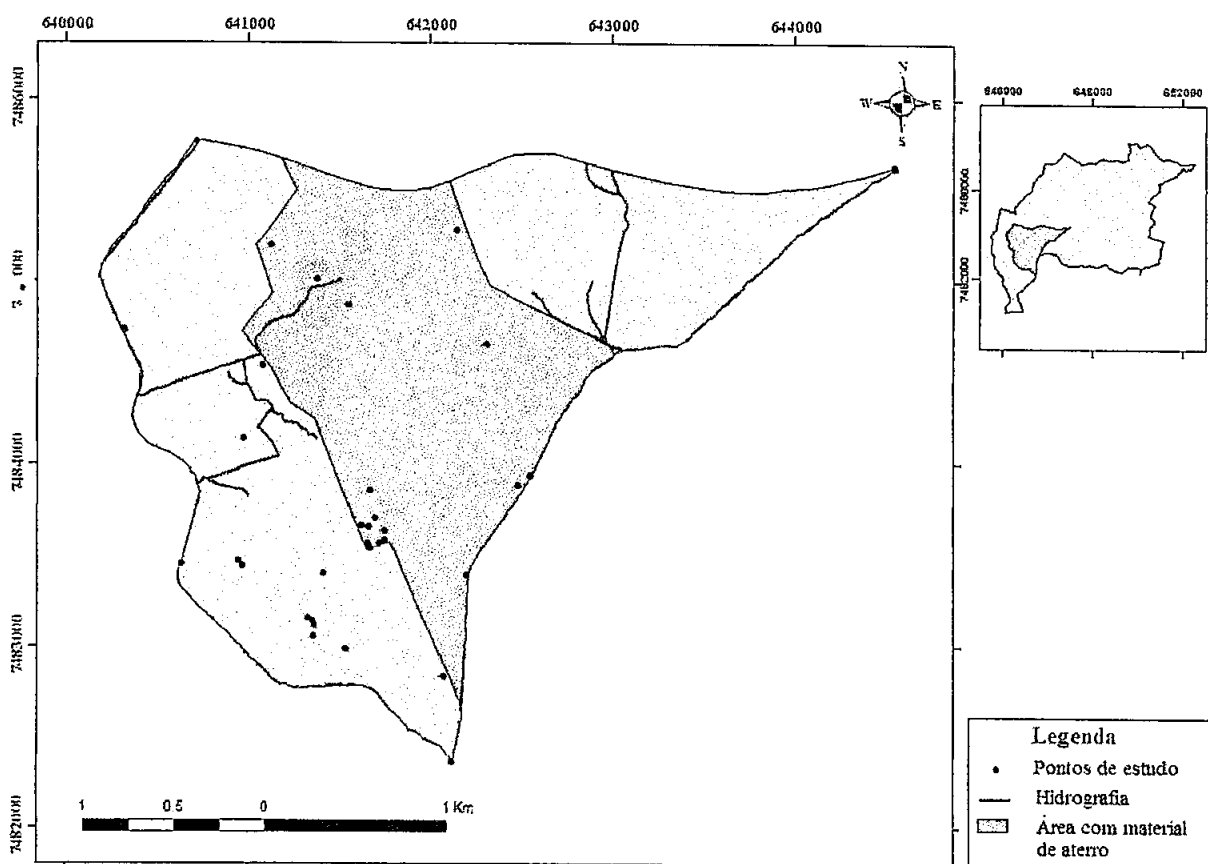


Figura 20: Área com material de aterro e dispersão dos pontos na área  
Fonte: acervo próprio (2016)

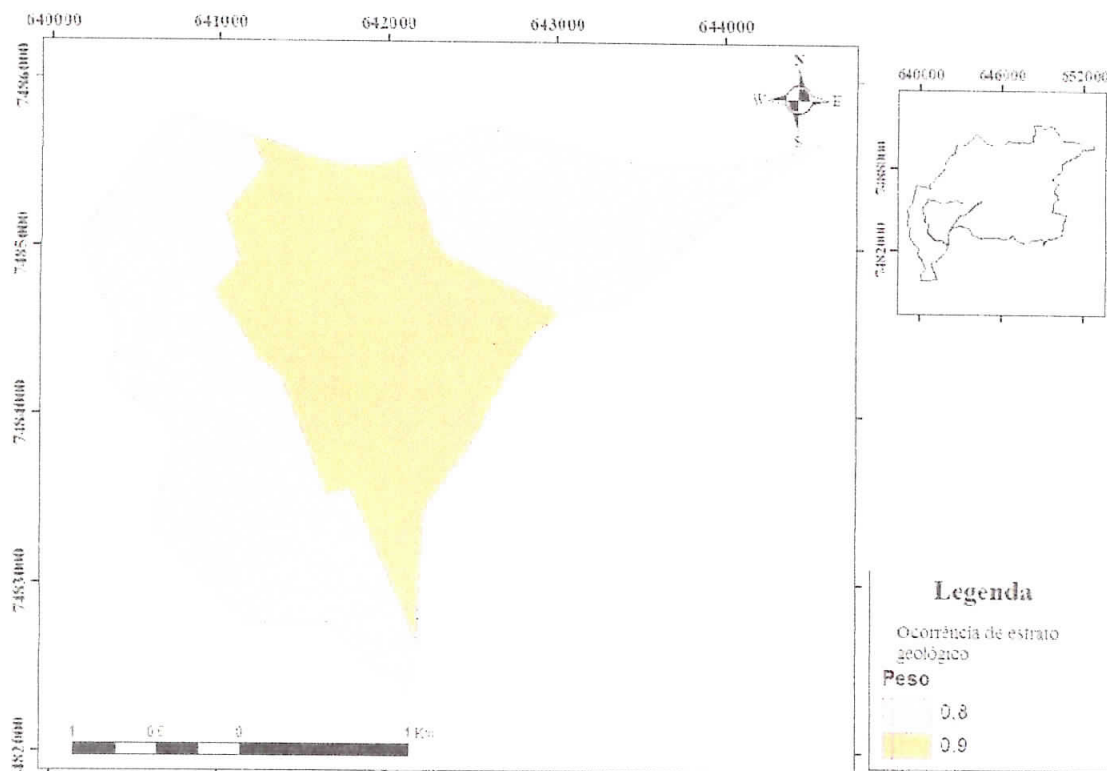
Na área de estudo é possível verificar que (17) dezessete pontos estão presentes na área que ocorre intervenção com material de aterro e os (16) dezesseis pontos estão fora deste polígono.

Como ressaltado anteriormente, foi necessário que o parâmetro litologia tivesse uma análise diferenciada, já que a lixiviação dos contaminantes pode possuir um comportamento diferenciado ao compararmos com o material litológico de origem. Ressalta-se que em áreas



com a presença de entulhos irão existir caminhos preferenciais ao deslocamento de solutos no solo. Diante do exposto, considerou-se uma nota de 0,9 para os locais onde foi identificada a presença de entulho e solo proveniente de áreas de empréstimo.

Na Figura 21 apresenta-se um mapa com os pesos de vulnerabilidade de acordo com as características litológicas do local.

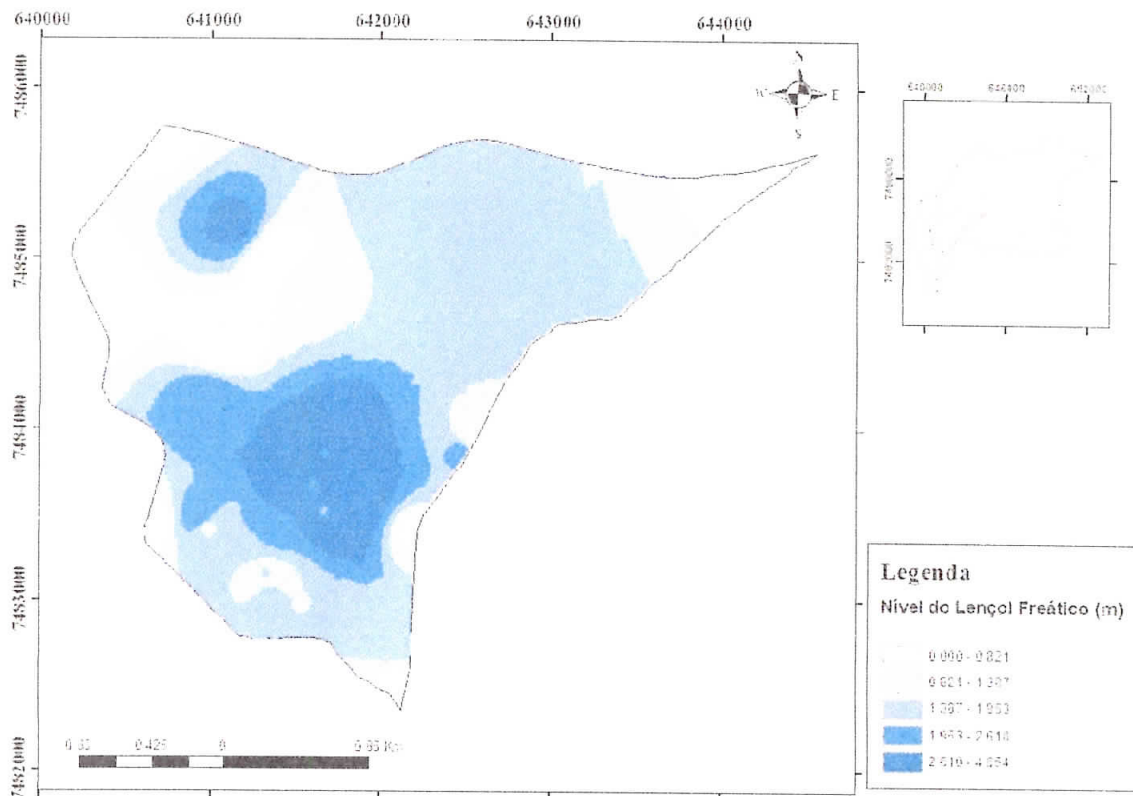


**Figura 21:** Ocorrência de estrato geológico  
Fonte: acervo próprio (2016)

Na área onde foi atribuído peso 0,8, utilizamos como auxílio o parâmetro descrito no arquivo vetorial, neste caso a deposição fúlvio lagunares possui constituição arenosa, o que ocasiona uma maior porosidade e permeabilidade, o que pode propiciar uma maior infiltração do material contaminante.

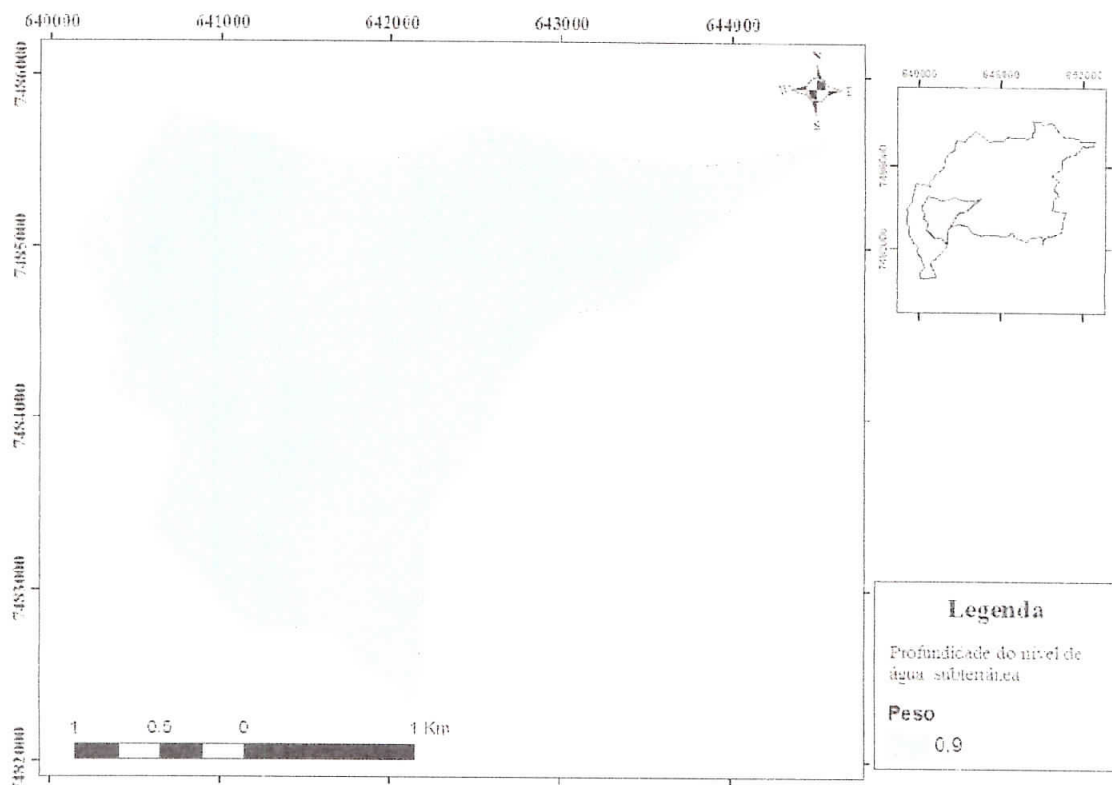
### 5.3 Mapa do Nível do lençol freático (D)

Na Figura 22 apresenta-se o mapa de distribuição no nível do lençol freático na área de estudo.



**Figura 22:** Nível do lençol freático da área de estudo  
 Fonte: acervo próprio (2016)

Na área de estudo o nível do lençol freático variou entre 0 a 4,68 m, desta maneira todos os trinta e três pontos de estudos obterão o mesmo peso, já que a metodologia GOD propõe que profundidade inferior ou igual a cinco metros obtenha peso 0,9 no parâmetro D (profundidade do nível freático). Lençol freático com maior proximidade da superfície favorece a vulnerabilidade, devido a isto o peso adotado na metodologia GOD é maior quando comparado a demais profundidades. Na Figura 23 apresenta-se um mapa da área com o peso adotado para o parâmetro profundidade de água subterrânea.



**Figura 23:** Profundidade do nível do lençol freático  
 Fonte: acervo próprio (2016)

O parâmetro profundidade do Lençol Freático do Método GOD, pondera a distância que um determinado contaminante deve se infiltrar até atingir a zona saturada da formação aquífera (MONTERO, 2012). A profundidade do aquífero está associada com o tipo de aquífero da região, uma vez que o mesmo é não confinado, apresentando o lençol freático raso devido à zona vadosa pouco espessa. GOD et al. (2006) relatam que este tipo de aquífero merece uma atenção especial por conta da maior possibilidade de contaminação. KEMERICH et al. (2011) utilizaram a metodologia GOD e verificaram que o nível estático em sua área de estudo variou de 0,20 m a 4,90 m, portanto o peso atribuído também foi de 0,9.

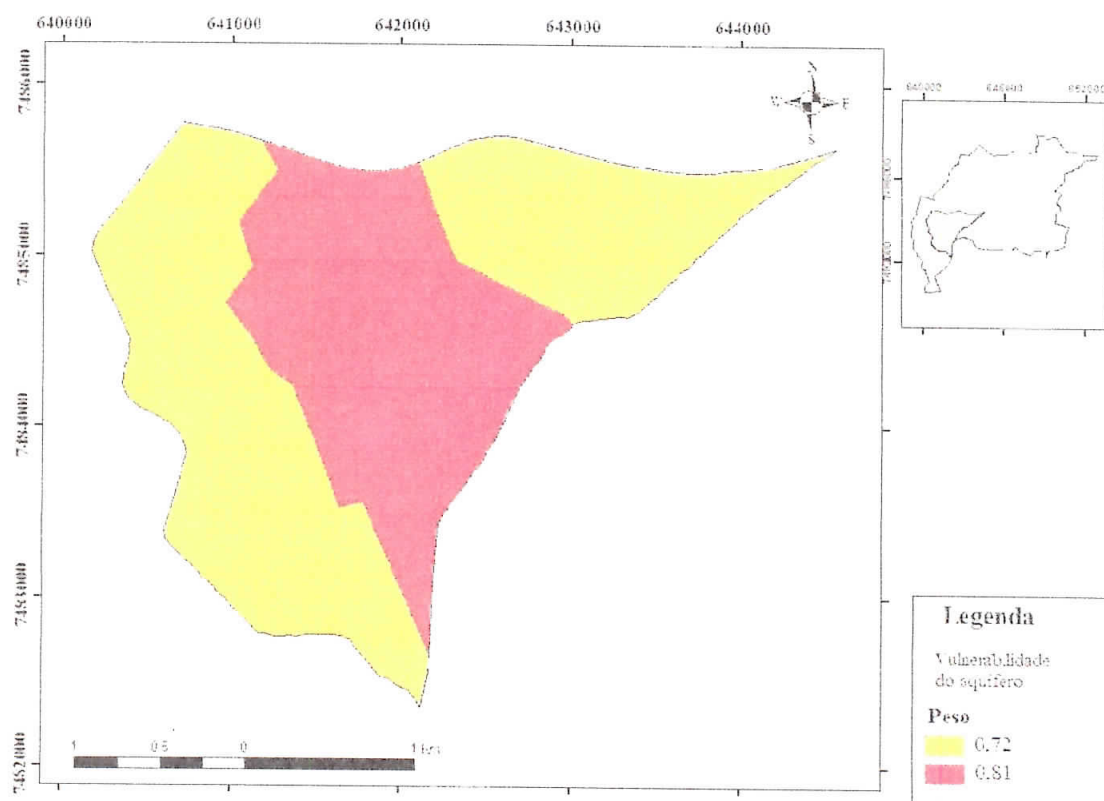
A área de estudo possui como seus confrontantes, ao leste o Rio dos Poços e ao oeste o Rio Queimados. Segundo MONTERO (2012) curso hídrico possui uma maior vulnerabilidade natural, já que a água subterrânea apresenta menor proteção natural à contaminação presente na superfície.

CHAVES (2007) verificou em sua área de estudo a inexistência de sistema de captação e tratamento, lançando os resíduos diretamente nos cursos hídricos, tornando-se uma fonte de contaminação da água subterrânea. De igual modo, na área de estudo do presente

trabalho foi possível verificar que também ocorre o lançamento de esgoto no curso hídrico, tanto da população local, quanto do Distrito Industrial, que têm o efluente industrial e esgotamento lançado na rede de drenagem que é direcionada ao curso hídrico. Ressalta-se que o mesmo curso d'água recebe o esgoto do município de Queimados, que apesar de possuir seis estações de tratamento de esgoto nenhuma delas esta em funcionamento.

#### 5.4 Vulnerabilidade do aquífero

A Vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três parâmetros da metodologia GOD, o peso do índice de vulnerabilidade varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de zero (0) o aquífero é menos vulnerável a contaminação e quanto mais próximo a um (1) mais vulnerável é o aquífero. Foi possível verificar que a área de estudo possui extrema vulnerabilidade, uma vez que o peso variou de 0,72 a 0,81, conforme apresentado pela Figura 24.



**Figura 24** Vulnerabilidade do aquífero  
Fonte: acervo próprio (2016)

A área de estudo recebeu a classificação de extrema vulnerabilidade, no entanto obteve dois pesos distintos. Onde ocorre a concentração de atividade industrial obteve peso 0,81, equivalendo a 39,49 % da área, ou seja, 272,83 hectares. A área que recebeu peso 0,72 equivale a 60,55 % da área, possuindo 418,85 hectares.

Destaca-se que a área que obteve maior no índice de vulnerabilidade possui um histórico de contaminação, uma vez que apresenta três sítios já contaminados, conforme Cadastro de Áreas Contaminadas do estado do Rio de Janeiro – INEA. De acordo com estes relatórios a área possui contaminação de metais pesados na água subterrânea e no solo.

Através de análise de fertilidade realizada na área verificou-se que os solos da região são caracterizados como solos distróficos, com pH ácido, baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica, acarretando em solos de baixa retenção de solutos. Desta maneira a dinâmica dos solos facilita a contaminação, tornando estas características um fator de extrema preocupação, constatando a necessidade de uma rápida intervenção.

A área que recebeu peso 0,72, apesar de extrema vulnerabilidade, possui um diferencial no parâmetro O, pois a área não possui intervenção ocasionada por terraplenagem e despejo de resíduos de material de construção civil, podendo considerar a litologia natural da região. No entanto, a tipologia do tipo de aquífero e do nível da água subterrânea torna esta área vulnerável à contaminação. Ressalta-se que nesta área é possível encontrar fontes de contaminação por esgotamento sanitário, despejo irregular de resíduo, uso inadequado do poço artesiano, além de contaminação por dejetos de criação de animais.

DA SILVA MATTA et al. (2007) ao avaliarem uma área Industrial verificaram que ocorria vulnerabilidade moderada, no entanto não foi exposto complexidades como encontrada em nossa área de estudo. Já NICOHELLI et al. (2009) constatou que na sua área de estudo existia apenas vulnerabilidade baixa e moderada, contudo diferente do presente trabalho a área apresentava uma tipologia de zona vadosa que não favorece a vulnerabilidade, além de que o nível freático não está tão próximo a superfície.

CORIDOLA et al. (2005) aplicaram a metodologia GOD no município de Campos dos Goytacazes, obtendo classes de vulnerabilidade baixa, moderada, alta e extrema. O autor verificou que as áreas que apresentaram vulnerabilidade extrema são caracterizadas por níveis d'água superficiais, menores que cinco metros e por materiais muito arenosos.

Os índices de vulnerabilidade encontrados foram influenciados essencialmente pela variação do nível estático dos poços, já que o tipo de aquífero abrangendo toda a região é do tipo não confinado e a litologia dos poços não difere em grande escala. Em virtude disso, os valores da classificação apresentam uma única tendência, não apresentando grandes variações.

FELDKICHER et al. (2014) verificaram que no município de Teutônia, a vulnerabilidade encontrada variou de baixa a alta, no entanto, o mesmo não expõe o uso da área bem como as possíveis fontes de contaminação.

PINHEIRO et al (2014) aplicaram a metodologia GOD no município de Santa Maria no Rio Grande do Sul e verificaram que ocorreu vulnerabilidade de baixa a alta. O estudo constatou que na área ocorria pontos de contaminação como posto de combustível, cemitérios e depósitos de lixo. Neste trabalho verificou-se que a litologia situada acima da zona saturada do aquífero contribuiu na capacidade de atenuação do contaminante.

De acordo com LINHARES (2012) as águas subterrâneas devem ser incluídas no plano de gestão ambiental municipal porque exibem conexão com os corpos hídricos superficiais através da descarga, auxiliam no fluxo superficial em período de estiagem e demandam importância como alternativa de abastecimento rural e urbano-industrial.

De acordo com PAVÃO (2004), geralmente as atividades industriais ocorrem em locais de grande vulnerabilidade, sendo que na maioria das vezes são implantadas sem levar em consideração a necessidade de proteção dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. Assim como o autor, foi possível verificar que as atividades industriais no município de Queimados ocorrem em uma área de extrema vulnerabilidade, ocorrendo a instalação sem verificar a necessidade da proteção dos corpos hídricos.

De acordo com FOSTER et al. (2006) quando ocorre uma vulnerabilidade do aquífero moderada e surgindo a existência de um significativo perigo de contaminação da água subterrânea é necessário incluir medidas no planejamento de uso e ocupação do solo. Conforme discutido, é extremamente importante a necessidade de implementação e do desenvolvimento de ferramentas de proteção pelo Órgão Ambiental Fiscalizador e Comitê de bacias. Desta maneira, estudar as possíveis fontes de contaminação, bem como a confecção de um mapa de vulnerabilidade de aquífero, favorece e auxilia o início da implementação e do desenvolvimento de ferramentas de proteção da água subterrânea.

O desenvolvimento de uma ferramenta de proteção de água subterrânea na área é de extrema importância pelo fato de que de acordo com a Lei Complementar Nº 035/06, que estabelece as normas para o ordenamento físico territorial e urbano, instituindo o Plano Diretor Municipal, prevê que a área de estudo é uma Zonas Especial de Negócios de Queimados (ZENQs). Sendo assim há uma expectativa de implantação de novos empreendimentos.

É importante salientar que além do uso da ferramenta de proteção de aquífero e importante criar uma estratégia para o uso da água subterrânea das áreas agrícola e residencial, já que é comum na área o uso de poço para consumo, criação de animais e agricultura.

### 5.5. Uso atual X Mapa de Vulnerabilidade

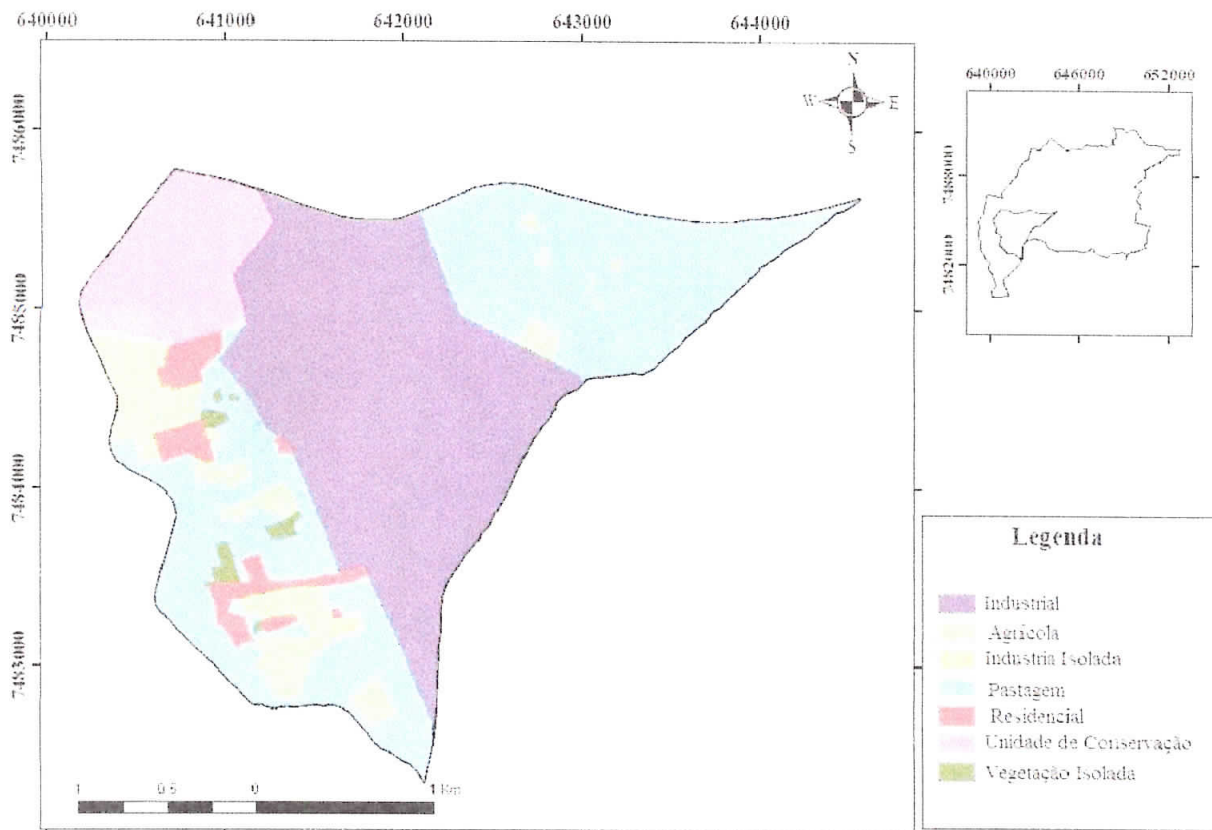
O uso e a ocupação do solo ocasionam interferência e impactos ambientais sobre a quantidade e qualidade da água subterrânea. Desta maneira o uso e ocupação do solo refletem em pontos de contaminação para a água subterrânea. De acordo com MENDES & CIRILO (2001), a alteração do uso do solo reflete nos componentes do ciclo hidrológico, no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos e na qualidade da água.

A área de estudo possui quatro diferentes usos, além de áreas isoladas com fragmentos de vegetação. Desta maneira podemos subdividir a área, em cinco classes distintas quanto ao uso e ocupação, sendo os mesmos respectivamente:

- Uso agrícola – Consiste em área com pequenas criações de animais (suínos, aves, caprinos, bovinos, equídeos), agricultura de subsistência (mandioca, quiabo, cana de açúcar, frutíferas como citrus e áreas de maior produção de *Cocus nucifera*) ou sítios onde os proprietários usufruem apenas nos finais de semana;
- Área residencial- Consiste em áreas com edificações, onde o uso apenas restringe a moradia, possuindo infraestrutura no entorno como escola, posto de saúde e pequenos comércios;
- Área industrial- Consiste na área onde ocorre um maior agrupamento de indústrias;
- Área de pastagem- Extensas áreas caracterizadas por espécies gramíneas e fragmentos de espécies arbóreas. No passado estas áreas eram utilizadas para a criação de bovinos (atualmente ocorre criação de bovinos com o rebanho extremamente reduzido), nas áreas de várzeas ocorria à criação de bubalinos (últimos animais em 2015);

- Unidade de conservação.

Na Figura 25 é possível observar o uso e ocupação do solo na área de estudo.



**Figura 25:** Uso e ocupação do solo  
Fonte: acervo próprio (2016)

Conforme apresentado na Tabela 11, é possível verificar que a área industrial é responsável por 39,44% de ocupação, seguido de áreas de pastagem, com 36,56%.

**Tabela 11:** Uso e ocupação da área em hectares e porcentagem

Uso	Área (ha)	Porcentagem (%)
Residencial	26,69	3,86
Vegetação isolada	6,59	0,95
Agrícola	63,08	9,12
Indústria Isolada	1,52	0,22
Indústria	272,83	39,44
Pastagem	252,86	36,56
Unidade de Conservação	68,11	9,85
<b>Área total</b>	<b>691,68</b>	<b>100,00</b>



As áreas de uso residencial abrangendo 3,86% e de uso agrícola com 9,12%, por consequência da expansão da industrialização irão sofrer impactos negativos, uma vez que ocorrerá o crescimento do fluxo de caminhões e poluição sonora ocasionada por equipamentos industriais e pelos veículos que transitam na via. Estes impactos negativos alteram desde as atividades cotidianas até alterações de comportamento. O que de fato ocasionara um desinteresse em continuar residindo ou utilizando as áreas para fins agrícolas.

A Unidade de Conservação, que representa 9,85 % da área é a única que não sofreu impacto direto ou modificação da área com a expansão industrial, já que a área é protegida pelo Decreto municipal Nº 1200/11 e pela Lei Federal Nº 9985/2000, que rege o sistema Nacional de Unidades de Conservação-SNUC.

A área de estudo no passado era utilizada para fins agrícolas, no entanto nos últimos anos vêm perdendo espaço para área industrial. A área para fins agrícola que era implantada no passado não possuía alta tecnologia, não ocorrendo uso de fertilizantes e agroquímicos em demasia, consistia em maior proporção na criação de bovinos e búfalos. Atualmente a produção agrícola encontra-se em baixa e na maioria das vezes as áreas são utilizadas como de lazer no final de semana. Ou áreas com pequena produção de subsistência, que não apresentam nível tecnológico, ou seja, possíveis fontes de contaminação. Ainda é possível verificar a existência de criação de bovinos, caprinos, aves, suínos e equídeos para o trabalho do campo. No entanto, na criação de animais foi possível verificar pontos de possível contaminação por dejetos de suínos, além de que o ponto de contaminação está próximo do poço artesiano que abastece a produção, conforme Figura 22. Foi possível evidenciar que algumas áreas agrícolas possuem maquinários como retroescavadeira e trator e os galpões não possuem pavimentação, a área também é destinada para a manutenção e abastecimento, podendo ocorrer contaminação de óleo ou combustível, devido ao contato com o solo. Na área agrícola também ocorre produção de cana de açúcar e foi possível verificar que o efluente produzido pelo beneficiamento desta cultura não é destinada de maneira adequada, desta maneira este indicador torna-se um ponto de uma possível contaminação.

A área residencial não possui saneamento básico, evidenciando a possibilidade de fontes de contaminação, devido à disposição inadequada ou a ocorrência de um sinistro no esgotamento sanitário domiciliar, ocasionando vazamento sobre o solo. Foi possível verificar

contaminação do poço cacimba devido ao não planejamento de construção e o local inadequado de esgotamento sanitário, conforme Figura 23.



**Figura 26:** Fonte de contaminação com dejetos suínos  
Fonte: acervo próprio (2016)



**Figura 27:** Fonte de contaminação devido a proximidade com o esgotamento sanitário  
Fonte: acervo próprio (2016)

Não foi verificado foco de uma possível fonte pontual de contaminação industrial, apesar de que no passado a contaminação na área foi proveniente de atividade industrial e devido ao uso do ascarel nas subestações e disposição inadequada dos resíduos. Não verificar fontes pontuais de contaminação na área industrial não implica que não ocorram pontos de contaminação, já que não é possível o acesso à indústria.

Na área de estudo ocorrem possíveis pontos de contaminação devido à disposição inadequada de diversos resíduos, entre eles resíduos de construção civil, dispostos em proximidade com a margem do Rio dos Poços.

FEITOSA & MANOEL FILHO (2000) expõe que águas superficiais contaminadas podem ter contato com água subterrânea ocasionando contaminação. A área de estudo possui como seus limitantes dois rios, o Rio Queimados e o Rio dos Poços, sendo que o primeiro recebe o efluente sanitário da população do município de Queimados e o efluente do Distrito Industrial.

A área de estudo possui característica geomorfológica que favorece a vulnerabilidade, como foi verificado na metodologia GOD. Ao associar a vulnerabilidade extrema com o uso e ocupação do solo, é possível verificar que em três diferentes classes de uso da área foi possível identificar possíveis fontes de contaminação.

Vale salientar que de acordo com o Plano Diretor Municipal, a área é classificada como zona especial de negócios, considerando o incentivo fiscal e o interesse do governo em manter a expansão industrial, com o decorrer dos anos vai ocorrer uma modificação no uso do solo, devido à expansão industrial.

O Distrito Industrial não possui Licença Ambiental, assim como não prever um planejamento ou um controle dos empreendimentos que possui Licença Ambiental. A área destinada ao uso industrial não baseia se em viabilidade técnica da escolha do melhor local para a instalação da indústria, de acordo com o seu potencial poluidor para o aquífero.

## 6. CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que a área de estudo possui extrema vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea. Associado a este grau de vulnerabilidade e ainda ao tipo de uso e ocupação do solo, recomenda-se a necessidade da continuidade deste estudo, a fim de cadastrar novas possíveis fontes de contaminação, e ainda da elaboração de medidas de monitoramento de qualidade da água subterrânea periodicamente.

A área de estudo apresenta características diferenciadas, já que em sua maior proporção sofreu interferência no solo, sendo sua composição em grande proporção de material de corte ou empréstimo, oriundo da atividade de terraplenagem e aterro de resíduo de construção civil. Logo, é necessário aprofundar melhor sobre estas características, entendendo a dinâmica dos possíveis contaminantes no solo

Desta maneira o avanço de estudos auxiliaria e aprimoraria a tomada de decisão de órgãos ambientais na gestão da proteção das águas subterrâneas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-15515 –Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Rio de Janeiro ABNT, 2011.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-15492 –Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade Ambiental. Rio de Janeiro ABNT, 2007.

ANA-Associação Nacional de Águas (2012). Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/AguaNaMedidaCerta.pdf>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2015.

ALBINET, M. & MARGAT, J. *Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine*. Bull BRGM 2me Series. P.13-22, 1970.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H. AND PETTY, R.J .- **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeological setting**. U.S.EPA Report .600/2-85/018; 1987

AUGE, M. **Vulnerabilidad de Acuiferos**. Universidad de Buenos Aires – Departamento de Ciencias Geológicas. Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.4, p.85-103, 2004.

BACHMAT, Y. & COLLIN, M. 1987. **Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution**. In: **Vulnerability of soil and groundwater to pollutants (W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds.)**. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceeding and Information No. 38, p. 297-307.

BARBOSA, Laise Kelley Lemos. **zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João pessoa–pb**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba.

BRANCO, R. M. G. C., DA CUNHA, L. S., DE CASTRO, D. L., DE SOUZA FILHO, O. A., RIBEIRO, J. A., & FEITOSA, F. A. C. **Integração De Métodos Geofísicos (Er, Em-34, Vlf) E Dados Geológicos Aplicados À Pesquisa De Água Subterrânea Em Terrenos Cristalinos Da Região Do Fumo (Irauçuba), Estado Do Ceará, Nordeste Do Brasil**. In: 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. 2001.

BEAULIEU, M. **The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening**. In: **CONTAMINATEDSOIL'98**, Edinburgh, 1998. Proceedings. London, The Reserch CenterKarlsruhe (FZK). Netherlands Organization for Applied Scientific ResearchTNO and Scottish Enterprise. v.1, p. 51-59. 1998.

BOVOLATO, L.E. **Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia “GOD” para a área urbana de Araguaína/TO**.2005.

BRITO, V. S. **Vulnerabilidade Natural à Contaminação de Aquíferos no Município de Campo Formoso – Bahia**. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Curso de Geologia/Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2013.

CARDOSO, L.V.R.Q. **Estudo Comparativo dos Métodos Drastic e God na Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à Poluição da Bacia Hidrográfica do Rio Cabril – Vila Real**. 2010.

CEDDIA, M.B. **Apostila de Física do Solo: Curso de Pós Graduação em Ciências do Solo**. 2002.

CETESB –Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em :<http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em : 10 de Outubro de 2015

CHAVES, A. de. **Análise dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de São Luiz Gonzaga/RS**. 2007. 119 p. Monografia (Trabalho de Graduação B) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

CHRISTOFIDIS, D. **Conflitos e uso sustentável dos recursos hídricos**. In. Conflito e uso dos recursos naturais. Theodoro, S. H. (org.). Rio de Janeiro: Garamond.2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 420. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em 05 Nov. 2014.

CONEMA-CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 44.2012. Disponível em:[http://download.tj.gov.br/documentos/10112/1052411/DLFE-59663.pdf/Res\\_CONEMA\\_44\\_12.pdf](http://download.tj.gov.br/documentos/10112/1052411/DLFE-59663.pdf/Res_CONEMA_44_12.pdf). Acesso em 05 Nov.2014,

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 396, de 3 de abril de 2008. Disponível em:[www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2008\\_396.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_396.pdf)Acesso em: 12 fevereiro de 2015.

CORIDOLA, R., VIEIRA, E., ALVES, M. D. G., & ALMEIDA. **Uso das técnicas de geoprocessamento na elaboração de mapa preliminar de vulnerabilidade dos aquíferos do Município de Campos de Goytacazes-RJ**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 12, p. 2933-2940, 2005.

CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Disponível em :<http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: 23 de Março de 2015.

CUTRIM, A.O & CAMPOS, J.E.G.. **Avaliação da vulnerabilidade e ~ perigo a contaminação ` ao do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis ´ (MT), com aplicação dos m ~ métodos GOD e POSH**. Revista de Geociências. 2010.

CUSTODIO, E. **Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos.** En: **La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica.** Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 83–108.

DA SILVA MATTA, M. A., BANDEIRA, Í. C. N., & NAZARENO, I. **vulnerabilidade e risco de contaminação do sistema aquífero superior da região de barcaena/pa.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007.

DOMINGUES, Thabata Costa de Godoy. **Teor de metais pesados em solo contaminado com resíduo de sucata metálica, em função de sua acidificação.** Dissertação de Mestrado em Agricultura tropical e subtropical. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

DORES, E. F. G. C. **Contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em Primavera do Leste, Mato Grosso.** Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

DRM- Departamento de Recursos Minerais \_ Rio de Janeiro, **Águas subterrâneas (2009).** Disponível em [www.drm.rj.gov.br](http://www.drm.rj.gov.br). Acesso em 25 de Fevereiro de 2015.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA Disponível em: [www.embrapa.br](http://www.embrapa.br). Acesso em 10 de Dezembro de 2015.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA **Manual de Métodos de análise de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solo. 2011.

EPA- Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos. Disponível em: <http://www3.epa.gov>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2016.

ERTEL, T.; LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Índice de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no Município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria*, v. 7, p. 1400–1408, 2012.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.** 2ª Edição, 391 p. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. Fortaleza, 2000.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology.** 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 500p.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; GOMES, Daniel; D’ELIA, Monica; PARIS, Marta **“Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies;** s.l., The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2002; Tradução: Silvana Vicira, **Proteção da qualidade da água: Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais,** Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, Brasil, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. **Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterrâneas – una metodologia basada en datos existentes.** 2ª Edição. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organizacion Mundial de la Salud. 81p. 1991.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. & Rocha, G. A. **Riscos de poluição de água subterrânea: uma proposta de avaliação regional.** São Paulo: CEPIS/ OPS. 1988.

FOSTER, S.S.D.- **Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, pollution Risk and Protection Strategy,** In: W. van Duijvanboode and H.G. van Waegeningh ( Eds), **Vulnerability of soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and information N° 38 of the International Conference held in the Netherlands.** TNO Committee on Hydrological Research, Delft, the Netherlands. 1987

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GUIGUER, Nilson; KOHNKE, Michael Wolfgang. **Métodos para Determinação da Vulnerabilidade Aquíferos.** In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis. 2002.

HELLER, L. e PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.

HIDRORED – disponível em :<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>. Acesso em: 19 de Dezembro de 2015.

HIRATA, R; FERNANDES, A. **Vunerabilidad de acuíferos a la contaminación antrópica .In: Carlos Diaz- Delgado; Maria Vicenta Esteller; Fernando Lopez-Vera. (Org). Recursos hídricos-Conceptos básicos y estúdios de caso em iberoamérica.** 1 ed. Uruguay: Piriquazú Ediciones, v.1, p.443-454. 2005.

HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas.** Estudo de casos no estado de São Paulo – Tese de doutorado – Universidade De São Paulo – Instituto de Geociências. 1994.

IBGE. 2007. **Manual Técnico de Pedologia.** Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1. Rio de Janeiro, IBGE.



INEA – Instituto Estadual do Ambiente .Gerenciamento de Áreas Contaminadas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: [www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde1/~edisp/inea0015445.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde1/~edisp/inea0015445.pdf) Acesso em: 09 de Janeiro de 2016.

INEA-Instituto Estadual do Ambiente Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/index.htm>. Acesso em: 10 de Outubro de 2015.

INEA-Base legal para a gestão de águas do estado do rio de janeiro. n 2.Rio de Janeiro 2014. Disponível em: [www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdiw/~edisp/inea0020734.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdiw/~edisp/inea0020734.pdf). Acesso em: 12 de Março de 2015.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente .elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do rio de janeiro. Disponível em [www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062144.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062144.pdf). Acesso em : 05 de janeiro de 2015.

KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO da SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATTO, F.; SAUCEDO, E. M. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria, RS. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n.3, p. 85-98, jul. /set. 2011.

LE GRAND, H. 1964. **System for evaluating contamination potential for some waste sites.** *American Water Work Association Journal*, 56(8):959-974.

LINHARES, M.F. **CONTAMINAÇÃO, VULNERABILIDADE INTRÍNSECA E RISCO.** Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba.2012.

MAIA, P.H.P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos.** 2011. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UFBA, 2011.

MARTINEZ, M. M.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; LOPES, G. N. **Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS/Brasil.** *Agro@ambiente On-line*, v. 2, p. 1–8, 2008.

McBRIDE, M. B. *Environmental chemistry of soils.* New York: Oxford University Press, 406p., 1994.

MEDEIROS, Camila Macêdo et al. Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, XV**, p. 3822, 2011.

MELO JUNIOR, H. R. **Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação Como instrumentos de proteção das águas subterrâneas em áreas industriais: Caso da**

ALBRAS, Barcarena – PA. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. Dissertação de Mestrado, 154 p.2002.

MENDES, C.A.B, Cirilo JA. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MIRALDO, C.M. **Estudo de Contaminação do aquífero superior na região de Estarreja.**Coimbra.Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.2007.

MONKHOUS, R. A. **Vulnerability of aquifers and groundwater quality in the United Kingdom.** Institute of Geological Sciences Report. Nottingham, Reino Unido.1983.

MONTERO, R. C; PEIXOTO, A.S. P. **vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos no Alto Aguapeí e Alto Peixe, SP.** Ciência & Engenharia, v. 22, n. 1, p. p. 115-124, 2014.

MONTERO, Rafael Carrion. **Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos nas sub-bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe-SP.**(Dissertação).Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2012.

MUSETTI, R.A. **Da Proteção jurídico ambiental dos recursos hídricos.**Lcmc: Editora de Direito,2001.

NOBRE, R.C.M. – **Avaliação de Risco para o Uso e Proteção de Aquíferos. Estudo de Caso: Região Metropolitana de Maceió.** Tese de Doutorado, Dep. Eng. Civil, COPPE/UFRJ, 296, 2006.

NRC (National Research Council). **Groundwater vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty.** Washington, D.C.: National Academy Press.1993.

PAVÃO, A. D. M. **Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria – RS.** 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria/ UFSM, Santa Maria, 2004.

PEREIRA, R. S.**Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos.** RERH – Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, V. 1, nº 1, Julh/Set 2004; Porto Alegre/RS. IPH 2004. 20 – 36p.

PINHEIRO, R. J, NUMMER, A. V., RAUBER, A. C., & DA SILVA, J. L. S. **Vulnerabilidade dos Aquíferos Caturrita e Passo das Tropas no Município de Santa Maria-RS.** XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiânia-GO, 2014.

RAMOS, F. Engenharia hidrogeológica. Rio de Janeiro: UFRJ/ABRH, 404p. 1989.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas.** In: **Águas Doces no Brasil.** Org. por REBOUÇAS .2006.

RIBEIRA, F. **Calidad, contaminación y protección de acuíferos** In: III CURSO HISPANOAMERICANO DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA. 4 de outubro a 3 de dezembro de 2004, Montevideo – UY, 2004.

RIBEIRO, D. M.; 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.

ROMEIRO, C. I.da.R. **A Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste**. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica). Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informações da Universidade Nova de Lisboa, 2012.

SANTOS, R.D; LEMOS. R.C; DOS SANTOS. H.G; KER, J.C; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2005. Embrapa – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4 , p. 1019-1028. 2003.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área Selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L. & DILL CARVALHO, A. M. M. 2006. **Evaluation of an intrinsic and specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the South of Portugal**. *Hidrogeology Journal*. Vol. 14, n. 1-2, pp. 79-99.2006.

TODD, D. K. **Hidrologia de aguas subterrâneas**. New York, Edgard Blucher, 1980. 319p.

TRINDADE, Pedro Henrique Dias; DA SILVA, Márcio Luiz. **VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO SOB A CIDADE DE MANACAPURU–AM**. 2013.

VOGEL, Mercia Maria. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Cultural da Quarta Colônia de Emigração Italiana, RS**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de ciências naturais e exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Santa Maria, RS, Brasil, 2008.

VRBA, J. E ZAPOREZEC, A. **Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability**. International Association of Hydrogeologists. Verlag Heinz Heise, Vol.16. 131p.1994.

ZANETTI, Natália. **Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero livre no município de Rio Claro/SP**. SP. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Dissertação de Mestrado, 2012.