

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

THOMAZ YANCA ZULPO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E FONTES DE CONTAMINAÇÕES
DIFUSAS E PONTUAIS DO AQUÍFERO CAIUÁ**

CURITIBA

2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

THOMAZ YANCA ZULPO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E FONTES DE CONTAMINAÇÕES
DIFUSAS E PONTUAIS DO AQUÍFERO CAIUÁ**

Monografia apresentada à disciplina
de Trabalho de Conclusão de Curso
(GC-119), sob orientação da
Professora Dra. Camila de
Vasconcelos Müller Athayde e
coorientação do Professor Luiz
Eduardo Mantovani.

**CURITIBA
2016**

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA AFLORANTE DO AQUÍFERO CAIUÁ.....	7
FIGURA 2: MODELO ESQUEMÁTICO DA ORIGEM E EVOLUÇÃO TECTÔNICA E ESTRATIGRÁFICA DAS BACIAS CAIUÁ E BAURU.....	9
FIGURA 3: ESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU.....	10
FIGURA 4: DIAGRAMA DE PIPER	12
FIGURA 5: PROCESSOS COMUNS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	15
FIGURA 6: INFOGRÁFICO DO MÉTODO GOD.....	17
FIGURA 7: MODELO ESQUEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO DO PERIGO A CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	10
FIGURA 8: GRÁFICOS DE COLUNAS DOS ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	21
FIGURA 9: MAPA DE GRAU DE CONFINAMENTO (G).....	22
FIGURA 10: MAPA DE OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA (O).....	23
FIGURA 11: MAPA DE DISTÂNCIA ATÉ O AQUÍFERO FREÁTICO (D).....	23
FIGURA 12: MAPA DE VULNERABILIDADE.....	25
FIGURA 13: MAPA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS.....	27
FIGURA 14: MAPA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS.....	28
FIGURA 15: MAPA DE VULNERABILIDADE E FONTES PONTUAIS.....	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DADOS QUÍMICOS MÉDIOS DO AQUIFERO CAIUÁ.....	13
TABELA 2: CLASSES DE VULNERABILIDADE DE AQUIFEROS NO MÉTODO GOD.....	16
TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÕES DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS PARA O MÉTODO POSH.....	18
TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÕES DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS PARA O MÉTODO POSH.....	19
TABELA 5: USO DE SOLO E RESPECTIVAS ÁREAS EM PORCENTAGEM.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 BACIA BAURU	8
2.1.1 GRUPO CAIUÁ.....	10
2.2 AQUÍFERO CAIUÁ	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO PELO MÉTODO GOD	16
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE.....	17
3.3 AVALIAÇÃO DO PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO	19
4 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO CAIUÁ.....	20
5 FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS.....	25
6 FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS.....	28
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
8 REFERÊNCIAS.....	32

RESUMO

O Aquífero Caiuá está localizado na porção noroeste do estado do Paraná e possui aproximadamente 30.000 km² de área aflorante. É um aquífero livre e poroso, com águas bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas e cerca de 80% dos municípios da região utilizam suas águas no abastecimento público. É composto por arenitos eólicos do Grupo Caiuá os quais foram depositados no Cretáceo Superior sobre uma paleodepressão formada sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Foram analisados os dados de 94 poços tubulares profundos neste trabalho para a produção de mapas a partir da aplicação de métodos de vulnerabilidade (GOD) e das fontes de contaminação difusa e pontuais. O aquífero possui alta vulnerabilidade em 93% da sua área, as fontes de contaminações difusas e pontuais se enquadram principalmente nos potenciais de contaminação reduzido a moderado e são principalmente relativos as atividades agrícolas e industriais. Devido à alta vulnerabilidade do aquífero e a existência de fontes de contaminação é necessário que os gestores das águas subterrâneas e órgãos públicos tomem medidas para preservar a qualidade da água do Aquífero Caiuá.

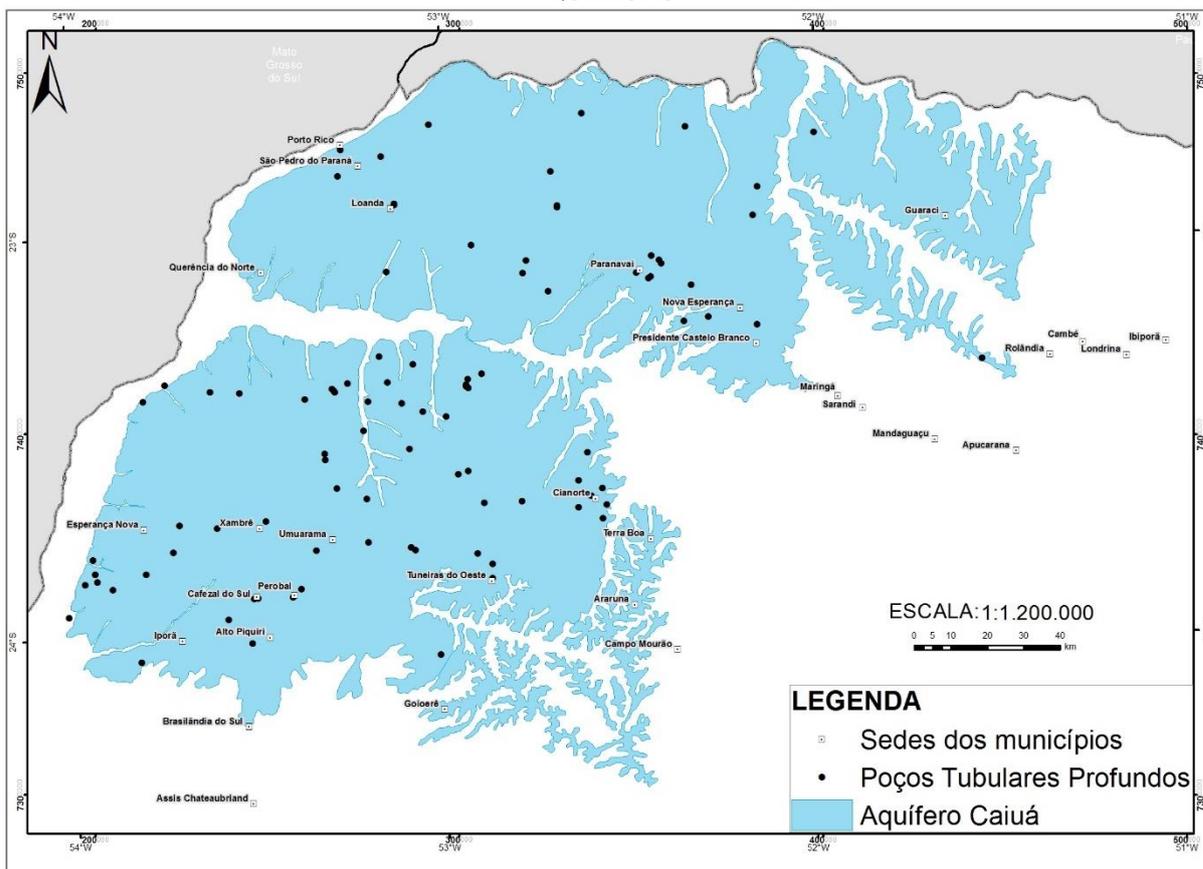
ABSTRACT

The Caiuá Aquifer is located in the northwestern part of the Paraná state, Brazil, and has around 30.000 km² of surface area. It is considered an unconfined and porous aquifer composed of calcic bicarbonated to calcic-magnesian waters and around 80% of the counties use its water for public supply. The aquifer is composed of eolic sandstones from the Caiuá Group, which were deposited in the Superior Cretaceous over a paleodepression formed on the basalts of the Serra Geral Formation. For this work the data of 94 wells were used for the production of maps based on the application of the vulnerability method (GOD) and the diffuse and punctual contamination method. The aquifer have a high vulnerability at 93% of its area, the diffuse and punctual contamination are mostly low to moderate potentials and are related mainly to agriculture and industries. Due to its high vulnerability and the existence of contamination sources, it is important that the administrative division of the state takes measures to preserve the quality of the Caiuá Aquifer water.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo analisar a vulnerabilidade e as fontes de contaminação pontuais e difusas do Aquífero Caiuá em sua região aflorante no estado do Paraná (Figura 1). Sua importância para a população local é inestimável tendo em vista que a maior parte do abastecimento público é feita por meio deste aquífero, que possui uma água naturalmente de boa qualidade para o consumo humano, para a agricultura e é pouco restrita para o uso industrial devido aos teores de bicarbonato.

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA AFLORANTE DO AQUÍFERO CAIUÁ NO ESTADO DO PARANÁ E POÇOS TUBULARES PROFUNDOS (PONTOS PRETOS) COM ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS



FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

O Aquífero Caiuá é constituído predominantemente por arenitos eólicos quartzosos do Grupo Caiuá (FERNANDES; COIMBRA, 1994). Estes foram depositados no Cretáceo Superior em ambiente desértico e respectivos subambientes em clima árido a semiárido, diretamente sobre uma paleodepressão formada nos derrames basálticos da Formação Serra Geral (FERNANDES; COIMBRA, 2000). Este aquífero é caracterizado como livre e poroso, com águas bicarbonatadas cálcicas a

cálcio-magnesianas e raramente sódicas. (CELLIGOI, 2002). Ocorre mistura de águas dos Aquíferos Caiuá e Serra Geral, principalmente na região norte, o que causa variação na composição iônica das águas do Aquífero Caiuá (CELLIGOI, 2002).

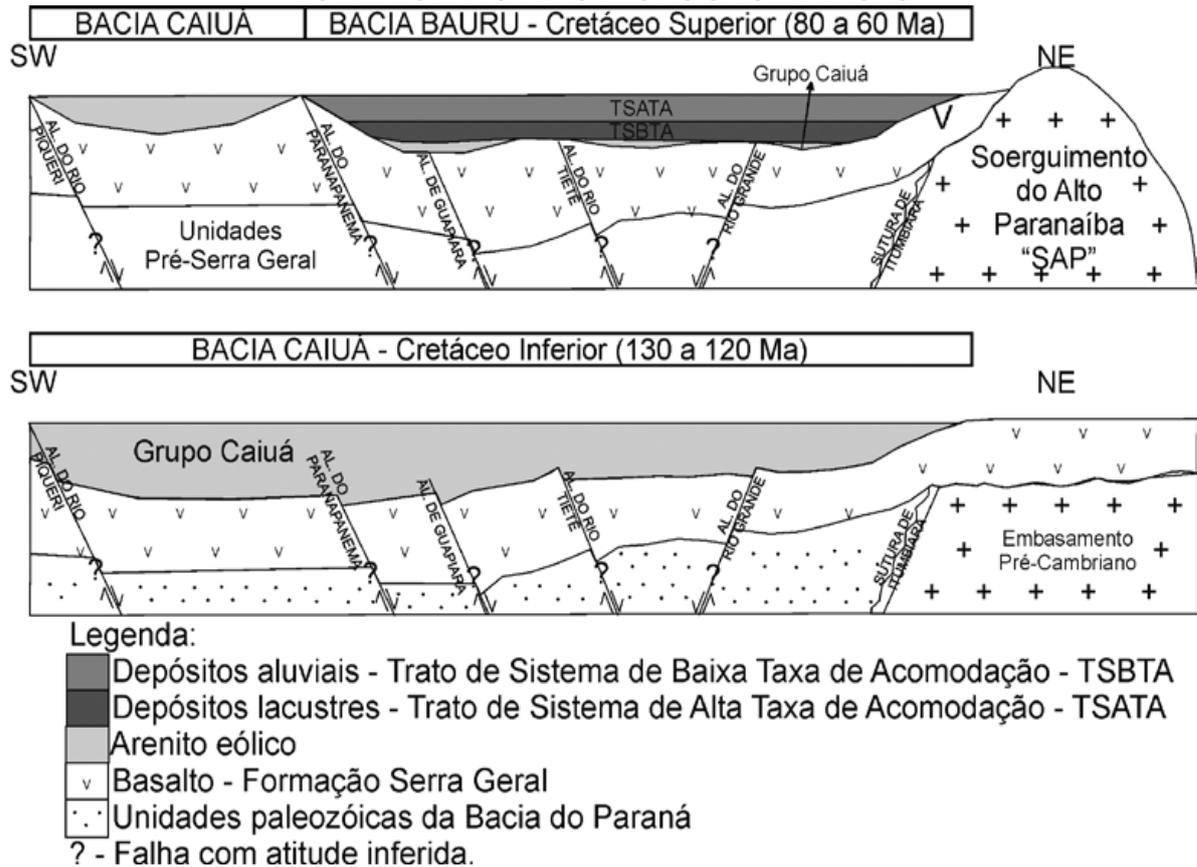
Tendo em vista as características do meio em que o aquífero está inserido e as intrínsecas ao mesmo, tais como a geologia, a hidrogeologia e da ação antrópica, espera-se que, com a sobreposição destes dados, por meio de métodos como o GOD (Grau de confinamento, Ocorrência de estratos de cobertura e Distância até o aquífero freático ou teto do aquífero) para a vulnerabilidade (FOSTER et al., 2006) e o POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically* ou Origem do Poluente e sua Sobrecarga Hidráulica) para avaliação da carga contaminante (FOSTER et al., 2006), seja obtido um produto cartográfico definindo as áreas com maior ou menor vulnerabilidade assim como as fontes de contaminação pontuais e difusas presentes na porção aflorante do Aquífero Caiuá.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BACIA BAURU

A Bacia Bauru (Figura 2) é considerada o último evento de deposição relacionado à Bacia do Paraná. A formação da Bacia Bauru teve início com as manifestações vulcânicas da Formação Serra Geral há 133 Ma, no Cretáceo Inferior, que posteriormente (133 à 120 Ma) causou subsidência térmica da crosta na região dando início a Bacia Bauru. A sedimentação iniciou com grandes dunas eólicas em ambiente desértico, concentradas principalmente no centro da bacia formando o mar de areia (*sand sea*) (FERNANDES; COIMBRA 2000; FERNANDES, 2004). Uma provável inversão tectônica encerra a sedimentação e forma uma superfície pedogenética reliquiar. No Neocretáceo (80 à 60 Ma) ocorreu o abatimento de blocos que limitam a bacia, preservando em grabens os arenitos eólicos do Grupo Caiuá, seguido de sedimentação fluvial na nova bacia. O rápido aumento na taxa de acomodação gerou um grande lago que era alimentado por deltas e rios vindos do norte/nordeste. Associados a isso, ainda ocorrem evaporitos que indicam um clima árido a semiárido, porém mais úmido que o dos arenitos do Grupo Caiuá. O avanço dos deltas e rios colmatou os sedimentos finos depositados no paleolago (BATEZELLI, 2010).

FIGURA 2: MODELO ESQUEMÁTICO DA ORIGEM E EVOLUÇÃO TECTÔNICA E ESTRATIGRÁFICA DAS BACIAS CAIUÁ E BAURU



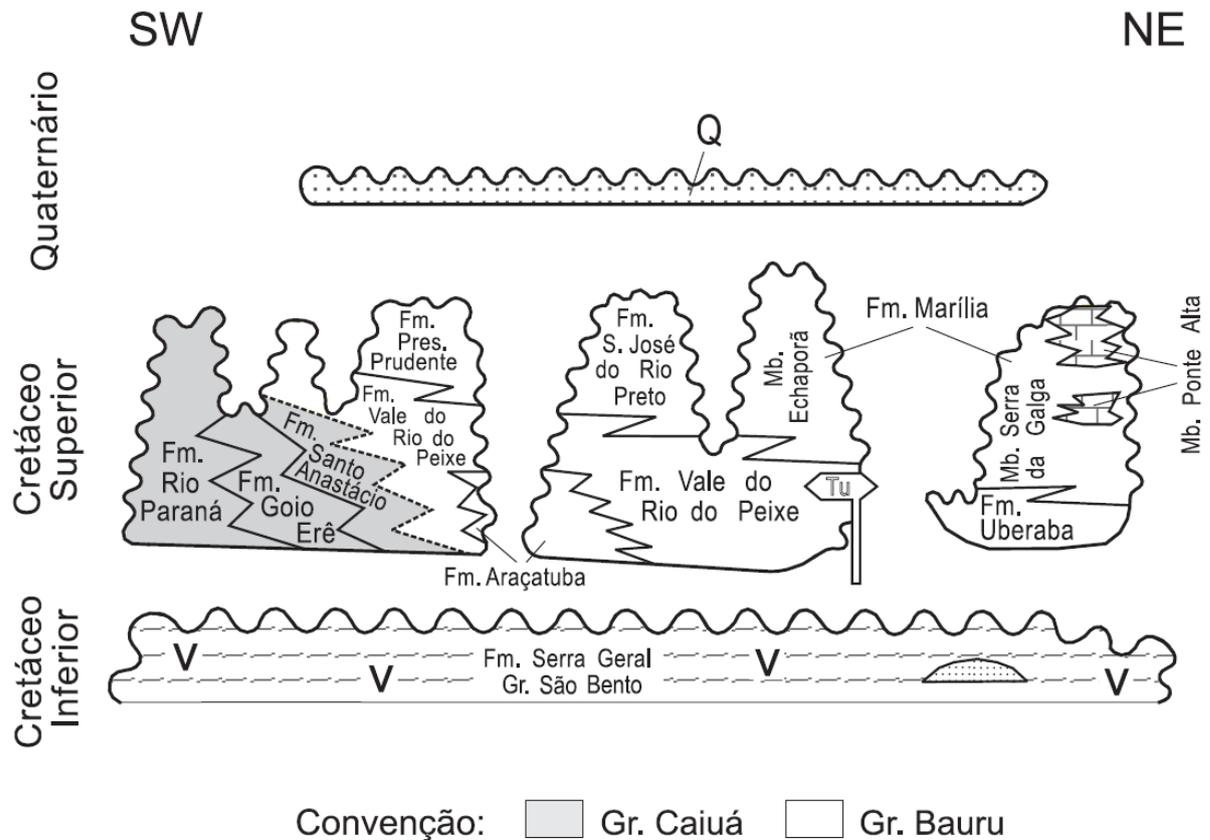
FONTE: BATEZELLI, 2010.

A Bacia Bauru possui cerca de 300 m de sedimentos, é uma bacia intracratônica sem ligação com o mar (endorrética) e foi depositada sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral. A evolução da bacia se inicia com os derrames que causaram uma sobrecarga na crosta que por equilíbrio isostático afinou, formando uma ampla e rasa bacia ao longo do tempo geológico. Reativações ocorreram no final do Cretáceo com uma fase de soerguimento e magmatismo que se concentrou principalmente nas bordas da bacia. A erosão gerou leques aluviais que migravam para o centro da bacia, passando por rios entrelaçados até chegar a rios meandringes com grandes planícies de inundação onde gradiente era menor, mas ainda mantendo o caráter arenoso nos sedimentos. Na porção mais árida os rios escoavam pelo Mar de Areia formando pequenas discordâncias com os depósitos eólicos anteriores. No final do Cretáceo e início do Terciário a bacia foi novamente exposta passando por processos erosivos que deram a sua atual configuração (Fernandes, 2004).

Compõem a Bacia Bauru dois grupos estratigráficos: Caiuá e Bauru (Figura 3). O Grupo Caiuá é composto pelas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio.

O Grupo Bauru é composto pelas formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

FIGURA 3: ESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU (CRETÁCEO SUPERIOR), E SUAS RESPECTIVAS FORMAÇÕES, EM DISCORDÂNCIA COM OS DERRAMES BASÁLTICOS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL (CRETÁCEO INFERIOR).



FONTE: FERNANDES, 2004.

2.1.1 GRUPO CAIUÁ

O Grupo Caiuá é formado por três unidades de arenitos eólicos de cor marrom avermelhado a arroxeado (*red beds*) depositados em ambiente desértico e seus respectivos subambientes. São estas a Formação Rio Paraná (zona central do *sand sea*), Formação Goio Erê (depósitos eólicos periféricos) e Formação Santo Anastácio (planícies de lençóis de areia). No Brasil encontra-se nos estados de São Paulo, Mato Grosso e Paraná e também ocorre na porção nordeste do Uruguai, porém a sua maior exposição é encontrada no estado do Paraná (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

A Formação Rio Paraná possui espessuras de aproximadamente 250 m, é composta por arenitos finos a médios principalmente quartzosos, mas ocorrem também subarcóseos, são mineralógicamente supermaturos e texturalmente maduros. Ocorrem estratificações cruzadas tabulares de médio a grande porte (até 10 m de altura) e tangenciais na base. Possuem laminação e estratificação interna de espessura centimétrica formada pela queda de grãos e fluxo de grãos com boa seleção interna. A maior parte dos grãos são foscos e recobertos por película ferruginosa. Está em contato transicional com as Formações Goio Erê e Santo Anastácio e contato erosivo com a Formação Serra Geral (onde ocorrem brechas basais) (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

A Formação Goio Erê possui espessuras de aproximadamente 50 m, é composta por arenitos quartzosos finos a médios e frequentemente ocorrem subarcóseos. São mineralógicamente maduros e texturalmente submaturos. Ocorrem estratificações cruzadas acanalada e tabular de médio a pequeno porte (até 3 m de altura) e arenitos maciços. As laminações e estratificações são formadas por fluxo de grãos e queda de grãos, mais típicas das estratificações cruzadas, e laminação e ondulação de adesão, microlaminação cruzada, dobras convolutas nas porções mais maciças. Frequentemente os arenitos possuem cimentação carbonática possibilitando a formação de concreções carbonáticas e crostas duras. Possui contato transicional com a Formação Rio Paraná e contato erosivo com a Formação Serra Geral (com ocorrência de brechas basais) (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

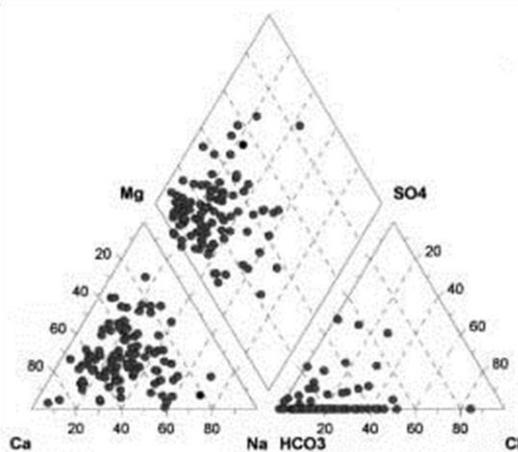
A Formação Santo Anastácio possui espessuras de aproximadamente 80 m, é composta por arenitos quartzosos muito finos a finos e, por vezes, subarcóseos ambos pobremente selecionados, com grãos subangulosos a subarredondados, foscos e com película ferruginosa. São em geral maciços, mas apresentam localmente estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo. É comum a cimentação carbonática e a ocorrência de concreções carbonáticas, crostas duras e feições de dissolução com forma tubular e irregular. Possui contato transicional com as Formações Santo Anastácio e Rio Paraná e contato erosivo com a Formação Serra Geral (onde ocorrem brechas basais) e com a Formação Botucatu (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

2.2 AQUÍFERO CAIUÁ

O Aquífero Caiuá está localizado na porção noroeste do estado do Paraná e abrange diversos municípios do estado com uma área aflorante de aproximadamente 30.000 km². Cerca de 80% do abastecimento público na região provém deste aquífero com mais de 840 poços tubulares profundos cadastrados na SUDERHSA. Constitui portanto uma importante fonte de água de boa qualidade para a região e é utilizada principalmente para o abastecimento urbano e para a agricultura (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2004).

O Aquífero Caiuá é poroso e classificado como livre devido as suas características geológicas e hidrogeológicas. Suas águas são bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas e raramente sódicas (Figura 4), são geralmente menos mineralizadas que as águas do Aquífero Serra Geral, mesmo quando ocorre sua mistura não há mudança significativa na sua composição (Tabela 1). Ocorrem, entretanto variações significativas na concentração de alguns íons ao longo da extensão do aquífero, condicionadas principalmente pelas características litológicas das rochas do Grupo Caiuá e nos contatos com os basaltos e próximo aos grandes rios da região (CELLIGOI, 2002).

FIGURA 4: DIAGRAMA DE PIPER COM COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO CAIUÁ NO PARANÁ COM PREDOMÍNIO DE COMPOSIÇÕES BICARBONATADAS CÁLCICAS A CÁLCIO MAGNESIANAS



FONTE: CELLIGOI, 2002.

TABELA 1: DADOS QUÍMICOS MÉDIOS DOS AQUÍFEROS CAIUÁ EM MG/L

	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	STD	pH
Caiuá	13,6	3,2	2,5	1,2	1,8	1,3	1,1	13,6	18,6	75,4	6,6

FONTE: Adaptado de CELLIGOI, 2002.

O Aquífero Caiuá é constituído principalmente pelas rochas do Grupo Caiuá que apresenta cerca de 93,5% da área aflorante na região. São caracterizadas como águas com baixa salinidade, bicarbonatadas cálcio-magnesianas e com potencial médio a alto de exploração. Aproximadamente 6,3% da área aflorante do Aquífero Caiuá é coberta por sedimentos aluvionares quaternários, porém com poucos poços tubulares profundos devido ao terreno plano e com nível freático próximo a superfície tornando viável poços do tipo cacimba para abastecimento local nessas regiões. A Formação Adamantina, do Grupo Bauru, aflora em 0,2% da área e apresenta características semelhantes as rochas do Grupo Caiuá. As águas do Aquífero Caiuá são classificadas como ligeiramente corrosivas, boas para o consumo humano, industrial e para uso agrícola (CELLIGOI, 2002).

Em relação as características hidrodinâmicas do aquífero são observadas **vazões** médias de 15,3 m³h⁻¹, com 38,5% dos poços com menos de 5,0 m³h⁻¹ e apenas 4,6% dos poços possuem vazões maiores que 50,0 m³h⁻¹. A **capacidade específica** média é de 0,8 (m³h⁻¹)m⁻¹ com máximo de 4,5 (m³h⁻¹)m⁻¹ 55,5% dos poços possuem valores menores que 0,5 (m³h⁻¹)m⁻¹ e 8,6% possuem valores maiores que 2,0 (m³h⁻¹)m⁻¹. A **transmissividade** média é de 1,28.10² m²/dia, com mínimo de 2,07 m²/dia e máximo de 1,51.10³ m²/dia, 76,4% dos poços possuem valores menores que 1,28.10² m²/dia e 58% possuem valores entre 10 e 10². A **condutividade hidráulica** média é de 3,22. 10⁻¹ m/dia, com mínimo de 1,38.10⁻² m/dia e máximo de 4,27 m/dia, 76,4% dos poços possuem valores menores que 3,22.10⁻¹ m/dia e 58% entre 10⁻¹ e 1 (CELLIGOI, 2000).

No Aquífero Caiuá predominam as águas bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas, mesmo quando há mistura de águas de outro aquíferos e águas superficiais. O **sódio** apresenta teores médios de 3,2 mgL⁻¹, variando de 0,1 à 11,7 mgL⁻¹, com valores mais elevados na borda nordeste em contato com a Formação Serra Geral e mais baixos no sul. O **cálcio** apresenta teores médios de 5,3 mgL⁻¹, com máximo de 28,9 mgL⁻¹ na borda leste e sul, próximo ao Rio Paraná, e mais baixos

no centro do aquífero. O **magnésio** apresenta teores médios de $1,2 \text{ mgL}^{-1}$, com máximo de $7,7 \text{ mgL}^{-1}$ próximo a Cruzeiro do Norte e mais baixos próximo a Loanda e Nova Londrina. O **potássio** apresenta teores médios de $3,3 \text{ mgL}^{-1}$, com máximo de $8,7 \text{ mgL}^{-1}$, ocorre de maneira uniforme e diminui a concentração próximo a calha do Rio Paraná. O **cloro** apresenta teores médios de $1,8 \text{ mgL}^{-1}$, com valores máximos de $16,0 \text{ mgL}^{-1}$ (anômalo positivo) em Colorado. O **bicarbonato** possui teores médios de $13,6 \text{ mgL}^{-1}$, com valores variando de $2,0$ à $175,0 \text{ mgL}^{-1}$, diminuindo em direção ao depocentro da bacia. O **nitrito** apresenta valores médios de $1,1 \text{ mgL}^{-1}$, variando de não detectável à $10,3 \text{ mg/l}$, aumentando em direção ao centro da área e com os menores valores na porção norte próximo aos basaltos. O **sulfato** apresenta teores média de $1,3 \text{ mgL}^{-1}$, com valores máximos de $5,0 \text{ mgL}^{-1}$ na porção nordeste. A sílica possui teores médios de $37,6 \text{ mgL}^{-1}$ e os maiores valores são encontrados na porção mais espessa do aquífero, no centro-sul do aquífero. O **pH** médio é de $6,7$ e varia entre $4,5$, na porção sudoeste, e $9,4$ na região nordeste. Os **sólidos totais dissolvidos (STD)** possuem valores médios de $75,4 \text{ mgL}^{-1}$ com os maiores valores na borda nordeste próximo ao Aquífero Serra Geral que possui valores médios de $212,0 \text{ mgL}^{-1}$ e também próximo a calha do Rio Paraná na porção noroeste (CELLIGOI, 2002).

A água é um recurso vital para a existência da vida no nosso planeta, tanto para a fauna e flora, quanto para a humanidade. Seu papel vai além da questão da sobrevivência e serve também como meio de transporte, como gerador de energia elétrica, para processos químicos industriais, para o saneamento de nossas cidades, entre outras diversas atividades. O uso e manejo impróprio da água, aliadas a poucas medidas de proteção podem acarretar na poluição e contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, causando danos à saúde da população que utiliza este recurso e aumentando os custos com o tratamento da água (MANOEL FILHO, 2008).

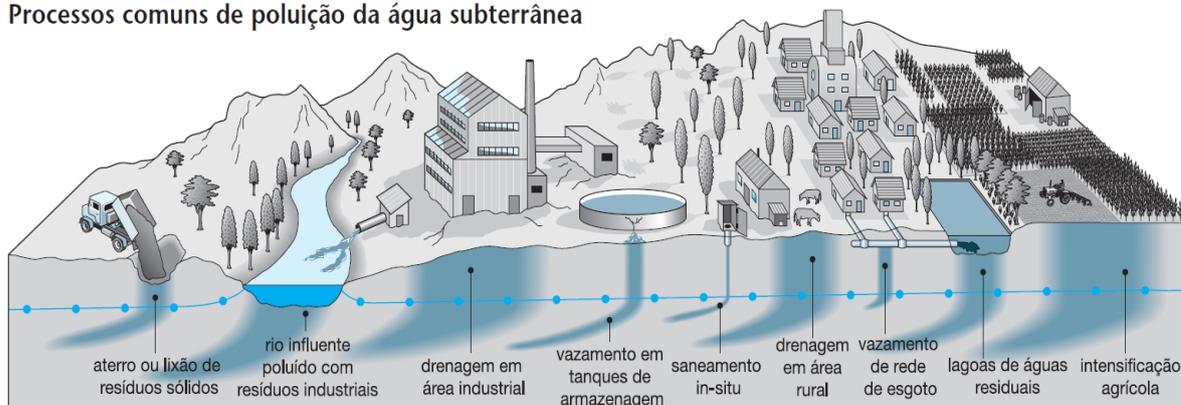
As águas subterrâneas têm papel fundamental na sociedade moderna, tanto para o meio urbano, quanto para o rural, por serem naturalmente mais protegidas que as reservas superficiais tais como rios e lagos. Medidas de proteção aos aquíferos são essenciais pois o tratamento de águas contaminadas é complexo e as vezes inviável financeiramente, o que torna a prevenção a melhor opção para um abastecimento público de qualidade. Os aquíferos podem ser naturalmente contaminados devido as características geológicas do meio no qual estão inseridos

ou por ação antrópica (Figura 5). A contaminação antrópica pode afetar o aquífero como um todo ou de forma localizada, afetando uma pequena região, uma cidade, um poço ou até mesmo ocorrer na própria captação da água (FOSTER et al., 2006).

FIGURA 5: PROCESSOS COMUNS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Figura A.1

Processos comuns de poluição da água subterrânea



FONTE: FOSTER et al., 2006.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução do trabalho foram utilizados programas de geoprocessamento, compondo um Sistema de Informação Geográfica (SIG), editores de texto e planilhas eletrônicas. Nos programas do tipo SIG foi feita a integração dos dados, colocando as bases cartográficas, geológicas, hidrodinâmicas, hidrogeoquímicas e de ações antrópicas com seus respectivos vínculos espaciais (georreferenciadas). Com isso foi possível desenvolver a interpolação dos dados, a aplicação dos métodos GOD (vulnerabilidade do aquífero) e de avaliação da carga contaminante do Aquífero Caiuá. Foram utilizados também dados de poços coletados na região com análises físico-químicas da água, possibilitando a caracterização das águas e a possível origem dos cátions e ânions presentes nas águas que podem ser tanto geológicas quanto antrópicas.

3.1 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO PELO MÉTODO GOD

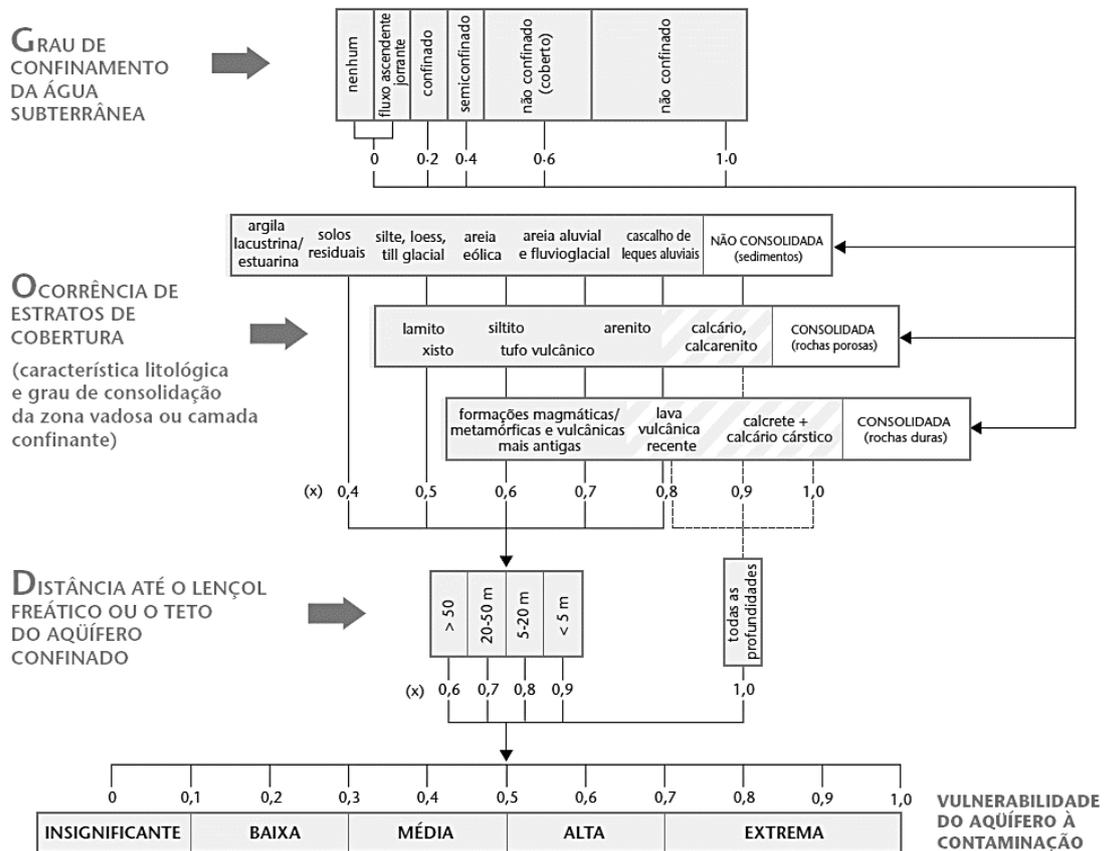
O método GOD (Figura 6) é utilizado para estimar a vulnerabilidade de aquíferos com base no Grau de Confinamento (G), Ocorrência de Estratos de Cobertura (O) e Distância até o Aquífero Freático ou Teto do Aquífero (D). Para cada um dos parâmetros é atribuído um valor que corresponde as propriedades observadas no aquífero. No Grau de Confinamento (G), este valor varia de 0,0 (nenhum) a 1,0 (não confinado), na Ocorrência de Estratos de Cobertura (O) são considerados os litotipos e solos sobre o aquífero, com valores de 0,4 (sedimentos não consolidados) a 1,0 (rochas duras e de baixa porosidade) e na Distância até o Aquífero Freático ou Teto do Aquífero (D) os valores variam de 0,6 (>50 metros) a 1,0 (quando o aquífero ocorre em diversas profundidades). O produto dos três componentes (GOD) é um valor numérico que representa uma classe de vulnerabilidade do aquífero (Tabela 2), sendo 0,0 a classe de vulnerabilidade insignificante, a menor possível, e 1,0 quando a classe de vulnerabilidade é extrema e a que demanda maior atenção (FOSTER et al., 2006).

TABELA 2: CLASSES DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS NO MÉTODO GOD E SUAS RESPECTIVAS DEFINIÇÕES

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes, com impacto rápido e muitos cenários de contaminação.
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes e em muitas condições, exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados.
Moderada	Vulnerável a alguns contaminantes e quando continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	Vulnerável somente a contaminantes persistentes, lançados/lixiviados de forma ampla, contínua e a longo prazo.
Insignificante	Aquífero confinado e sem fluxo vertical significativo, com baixa percolação.

FONTE: Adaptado de FOSTER et al., 2006.

FIGURA 6: INFOGRÁFICO DO MÉTODO GOD PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS



FONTE: FOSTER et al., 2006.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE

Para caracterizar as cargas contaminantes será utilizado o método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically* ou Origem do Poluente e sua Sobrecarga Hidráulica). As cargas contaminantes possuem quatro características principais que devem ser levadas em consideração na sua avaliação: a classe do contaminante, a intensidade da contaminação, o modo de descarga do contaminante no subsolo e a duração da aplicação da carga contaminante (FOSTER et al., 2006).

Os aspectos espaciais e temporais das cargas contaminantes são muito importantes na sua caracterização e para futuros planos de ação. Em relação ao aspecto espacial as cargas contaminantes podem ser divididas em fontes de contaminação difusas (Tabela 3) com plumas de contaminação pouco definidas e que geralmente afetam grandes áreas do aquífero, e fontes de contaminação pontuais (Tabela 4) com plumas de contaminação bem definidas e concentradas. Várias fontes

de contaminação pontuais podem se tornar difusas dependendo da escala de trabalho. Em relação ao aspecto temporal as cargas contaminantes podem ser definidas como fontes passadas, onde o processo de contaminação encerrou, mas ainda existe perigo da carga contaminante afetar o aquífero, como fontes existentes e ativas na área na época do levantamento e como futuras fontes potenciais com atividades ainda não implementadas, mas em planejamento para a área de estudo (FOSTER et al., 2006).

TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÕES DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS PARA O MÉTODO POSH

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE	FONTES DE CONTAMINAÇÃO	
	Saneamento <i>in situ</i>	Práticas agrícolas
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha.	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados.
Moderado	Intermediário, entre as classes elevado e reduzido.	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional superior a 550 pessoas/ha.	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semiáridas.

FONTE: Adaptado de FOSTER et al. 2006.

TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÕES DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS PARA O MÉTODO POSH

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	Resíduos Sólidos	Áreas Industriais*	Lagoas de Águas Residuais	Outras (Urbanas)	Mineração e Exploração de Hidrocarbonetos
Elevado	Resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida.	Indústria tipo 3, ou atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos.	Indústrias tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha.		Operações em campos de petróleo, mineração de metais.
Moderado	Chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/agroindustriais/ indústrias tipo 1.	Indústrias tipo 2.	Esgoto residencial se a área >5 ha.	Postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Algumas atividades mineradoras e de extração de materiais inertes.
Reduzido	Chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/agroindustriais/ indústrias tipo 1.	Indústrias tipo 1.	Águas residuais, residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos.	Cemitérios.	

* Solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria.

Indústrias Tipo 1: Madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos

Indústrias Tipo 2: Fábricas de borracha, papel, celulose, fertilizante, detergente e sabão, indústrias têxtil, usinas elétricas

Indústrias Tipo 3: Oficinas de engenharia, refinarias de petróleo e gás, fábricas de produtos químicos, farmacêuticos, plásticos e pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metais

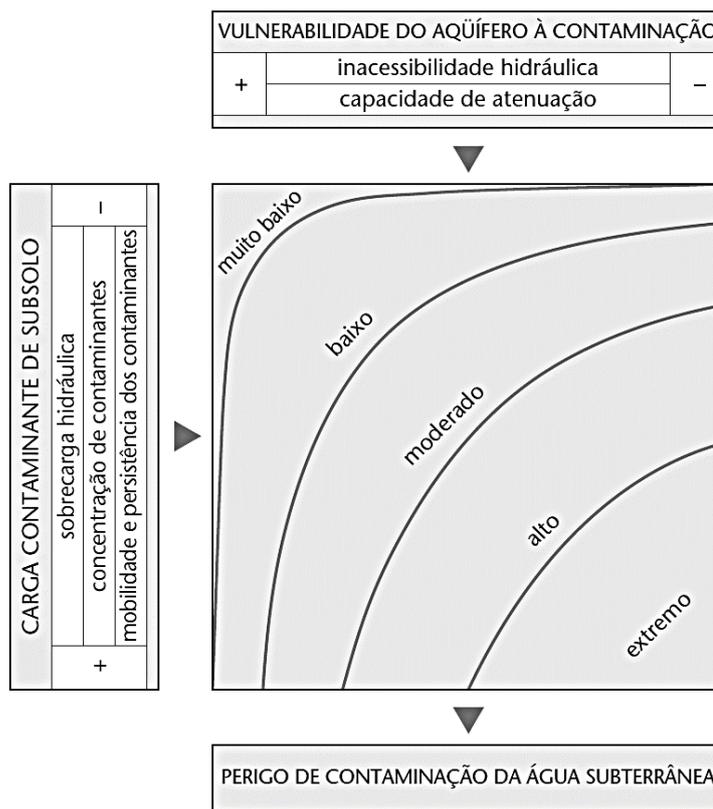
FONTE: Adaptado de FOSTER et al. 2006.

3.3 AVALIAÇÃO DO PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO

A avaliação do perigo à contaminação de um aquífero pode ser determinada segundo a avaliação da carga contaminante e da vulnerabilidade do aquífero. Na avaliação da carga contaminante (método POSH) se faz necessário avaliar a

sobrecarga hidráulica sobre o aquífero, a concentração dos contaminantes e a sua mobilidade e persistência. Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação (método GOD) deve-se avaliar a inacessibilidade hidráulica e a capacidade de atenuação do aquífero e dos estratos sobrejacentes. A interação destes dois fatores gera o perigo à contaminação do aquífero (Figura 7) que pode ser classificada de extrema, onde o aquífero é muito vulnerável e a carga de contaminantes é extrema, a muito baixa, onde o aquífero é muito pouco vulnerável e a carga de contaminantes é mínima ou até nula (FOSTER et al., 2006).

FIGURA 7: MODELO ESQUEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



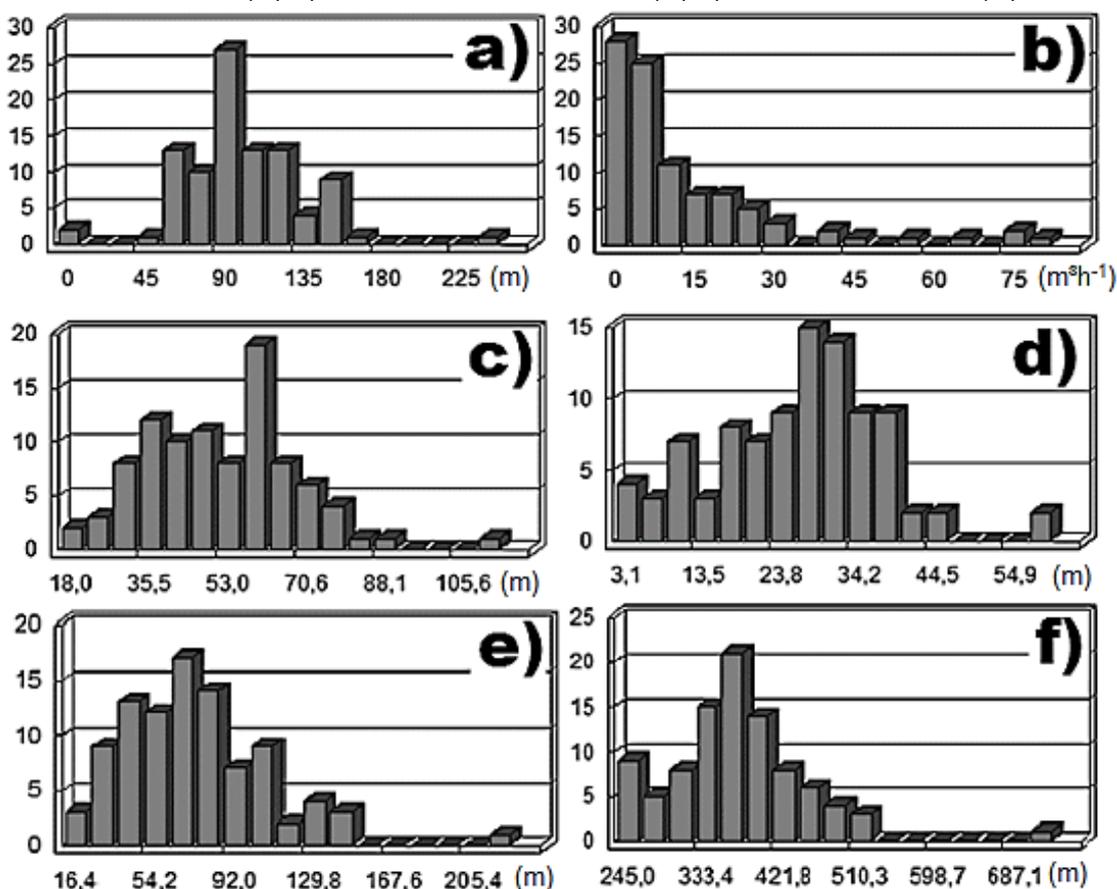
FONTE: FOSTER et al. 2006.

4 VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO CAIUÁ

Foram analisados 94 poços tubulares profundos localizados em diversos municípios sobre as rochas do Aquífero Caiuá. A profundidade (Figura 8a) dos poços varia de 0 a 225m, a maior parte dos poços possui profundidades que variam de 60 a 150m, com média de 104m e desvio padrão de 33,5. A vazão (Figura 8b) dos poços

varia de 0,4 a 83,4m³h⁻¹ sendo que a maioria apresenta vazões entre 0,4 e 20m³h⁻¹, com média de 15m³h⁻¹ e desvio padrão de 17,4. O nível dinâmico (Figura 8c) dos poços varia de 17,97 a 112m de profundidade, com maiores concentrações entre 30 e 70m, média de 53m e desvio padrão de 16,5. O nível estático (Figura 8d) dos poços varia de 3,11 a 58,63m, a maioria dos poços possui profundidades 10 e 40m, com média de 27m e desvio padrão de 11. A espessura saturada (Figura 8e) varia de 14,6 a 219,1m, com a maior parte dos poços entre 30 e 90m, média de 76,8m e desvio padrão de 36,3. A potenciometria (Figura 8f) varia de 245 a 719,3m com a maior parte dos poços entre 300 e 400m, média de 379m e desvio padrão de 74,9.

FIGURA 8: GRÁFICOS DE COLUNAS DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS DO AQUIFERO CAIUÁ. NO EIXO X O VALOR DA PROPRIEDADE E EM Y A CONTAGEM DE POÇOS QUE SE ENQUADRAM EM CADA CLASSE. A) PROFUNDIDADE (M) B) VAZÃO (M³H⁻¹) C) NÍVEL DINÂMICO (M) D) NÍVEL ESTÁTICO (M) E) ESPESSURA SATURADA (M) F) POTENCIOMETRIA (M)



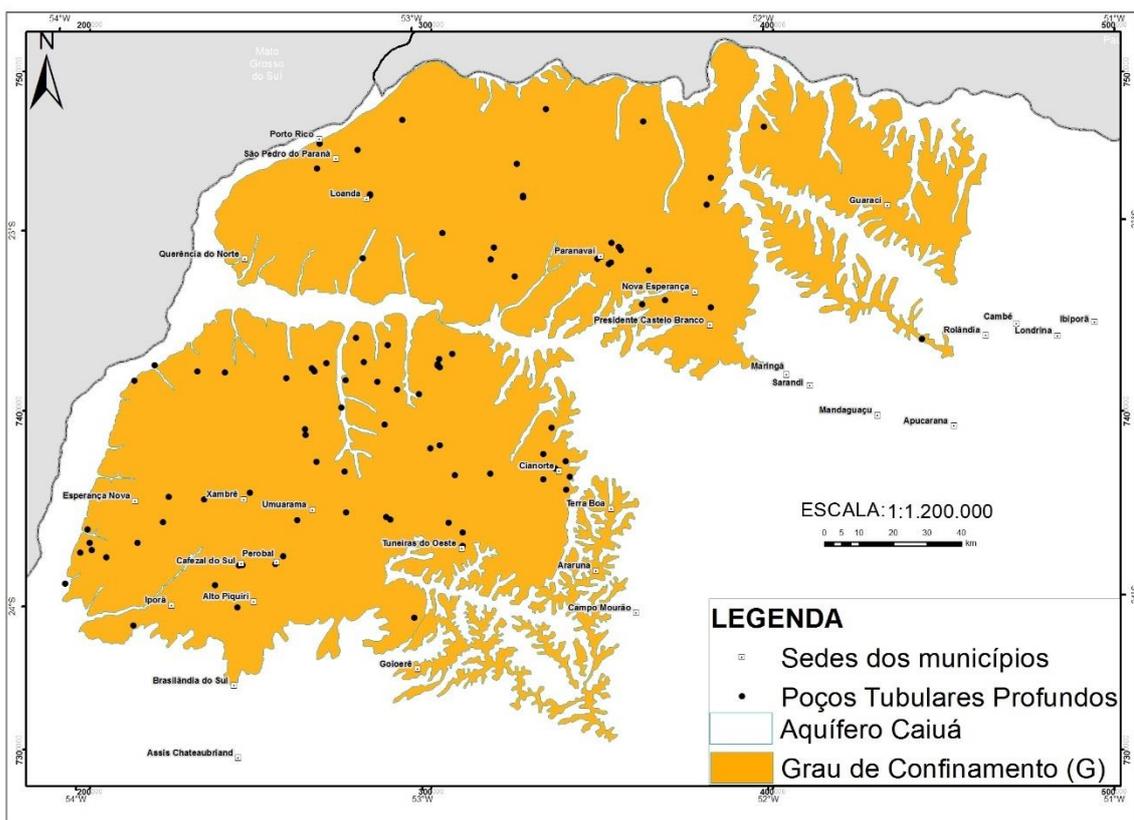
FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

Por meio do método GOD é possível estimar a vulnerabilidade de um aquífero a contaminação, para isso são necessários mapas das variáveis de grau de confinamento (G), de ocorrência de estratos de cobertura (O) e da distância até o

aquífero freático (D). A multiplicação dos pixels, com seus devidos pesos em cada mapa, gera o mapa de vulnerabilidade (GOD).

O mapa de grau de confinamento (G) (Figura 9) se enquadra na classe de não confinado (coberto) com peso de 0,6, pois os arenitos do Grupo Caiuá não possuem camadas confinantes sobrejacentes aos mesmos, é classificado como coberto devido ao manto de alteração que recobre o aquífero e que é composto principalmente por material argiloso.

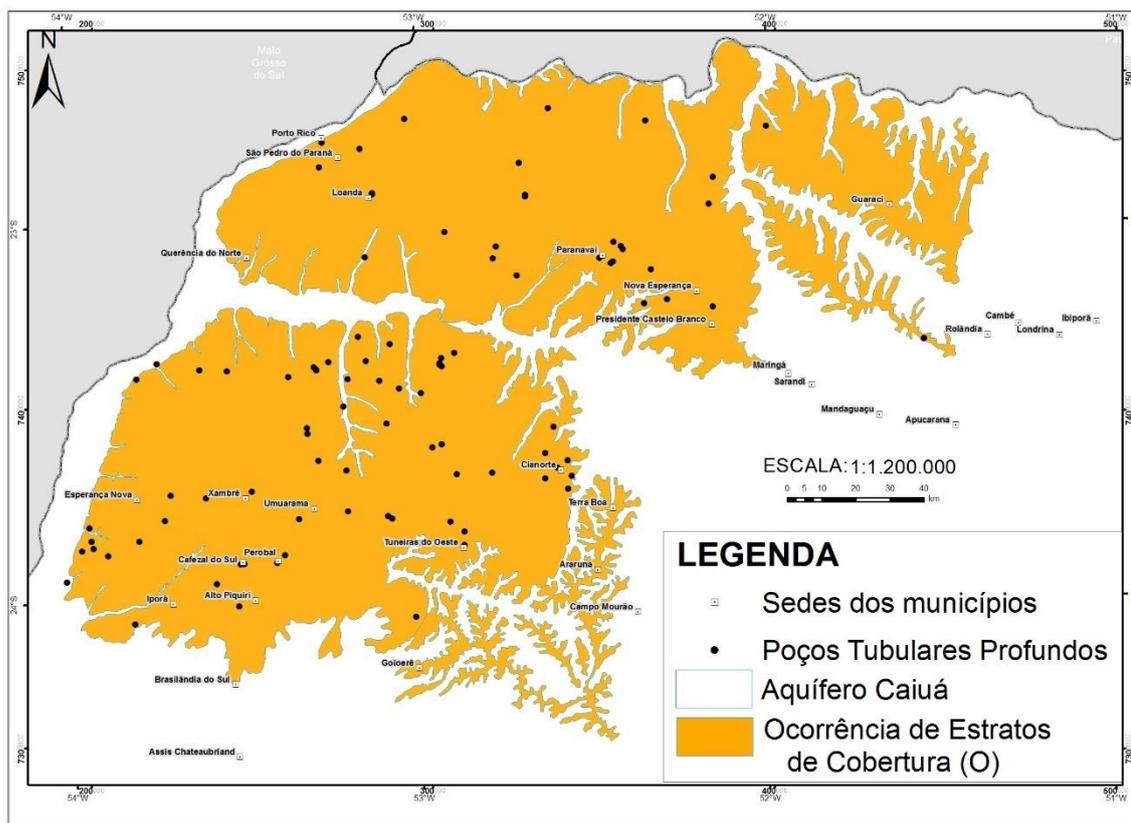
FIGURA 9: MAPA DE GRAU DE CONFINAMENTO DO AQUÍFERO (G) COM APENAS UMA CLASSE: NÃO CONFINADO (COBERTO) COM PESO DE 0,6



FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

O mapa de ocorrência de estrados de cobertura (O) (Figura 10) é classificado como não consolidado, composto por solos residuais eólicos e com peso de 0,4. Os arenitos predominam maciçamente sobre outros litotipos no Grupo Caiuá, com algumas ocorrências não mapeáveis de argilitos, siltitos e folhelhos intercalados aos arenitos.

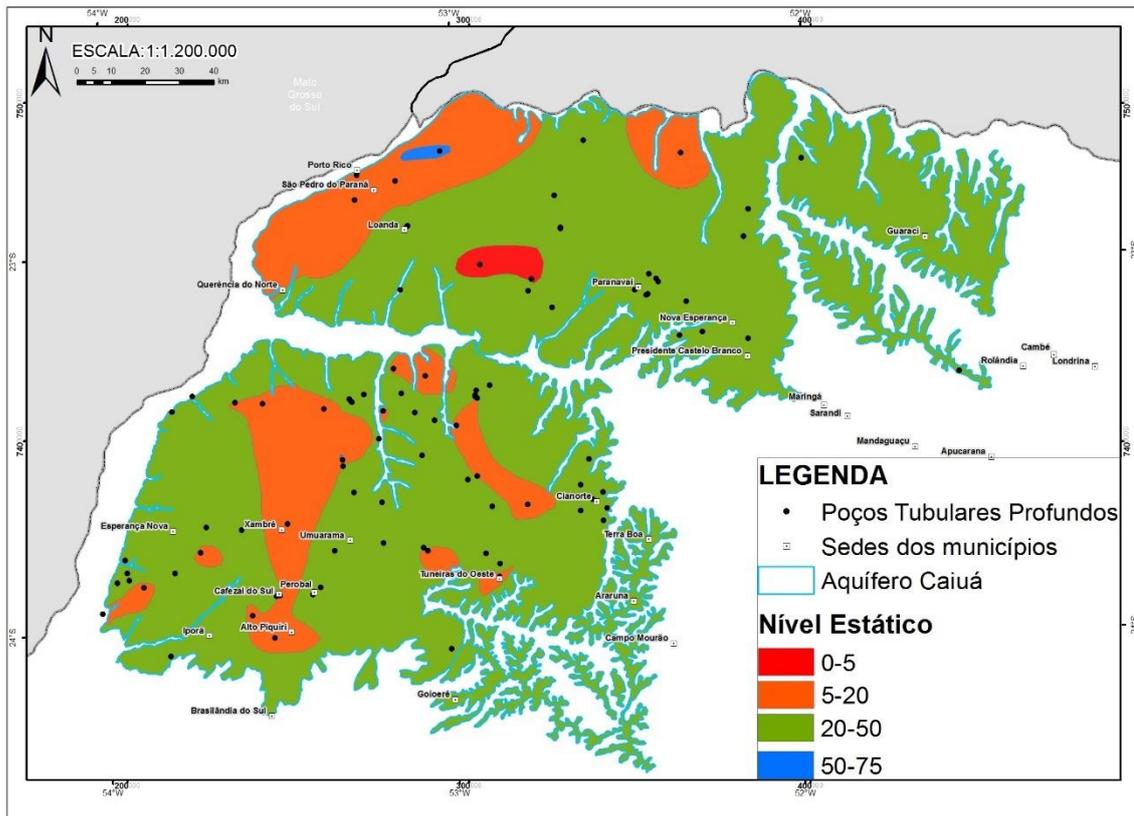
FIGURA 10: MAPA DE OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA (O) COM APENAS UMA CLASSE: CONSOLIDADO COMPOSTO POR ARENITOS COM PESO DE 0,8



FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

O mapa de distância até o aquífero freático (D) (Figura 11) possui classificações variáveis que dependem da distância do nível estático do freático até a superfície do terreno. As classes variam de 0 a 5m (peso 0,9), 5 a 20m (peso 0,8), 20 a 50m (peso 0,7) e maiores que 50m (peso 0,6). Este mapa representa o nível estático do aquífero medido nos poços tubulares profundos, a partir dos pontos cotados é possível criar um mapa de isolinhas que se enquadram nas classes anteriores. A classe de 20 a 50m apresenta cerca de 82% da área do aquífero, a classe 5 a 20m apresenta cerca de 17% da área do aquífero, a classe de 0 a 5m apresenta cerca de 0,8% da área do aquífero e a classe com profundidades maiores que 50m apresenta cerca de 0,2% da área do aquífero. Quase a totalidade (99%) do aquífero se enquadra nas classes entre 5 e 50m de profundidade, por se tratar de um aquífero livre a probabilidade de um contaminante chegar no aquífero ainda é alta mesmo em profundidades elevadas.

FIGURA 11: MAPA DE DISTÂNCIA ATÉ O AQUIFERO FREÁTICO (D) POSSUI CLASSES BASEADAS NA DISTÂNCIA DO NÍVEL ESTÁTICO ATÉ A SUPERFÍCIE. AS CLASSES COM CORES VERMELHO E LARANJA SÃO AS ÁREAS COM NÍVEIS ESTÁTICOS MAIS PRÓXIMOS DA SUPERFÍCIE E AS CLASSES VERDE E AZUL AS MAIS DISTANTES

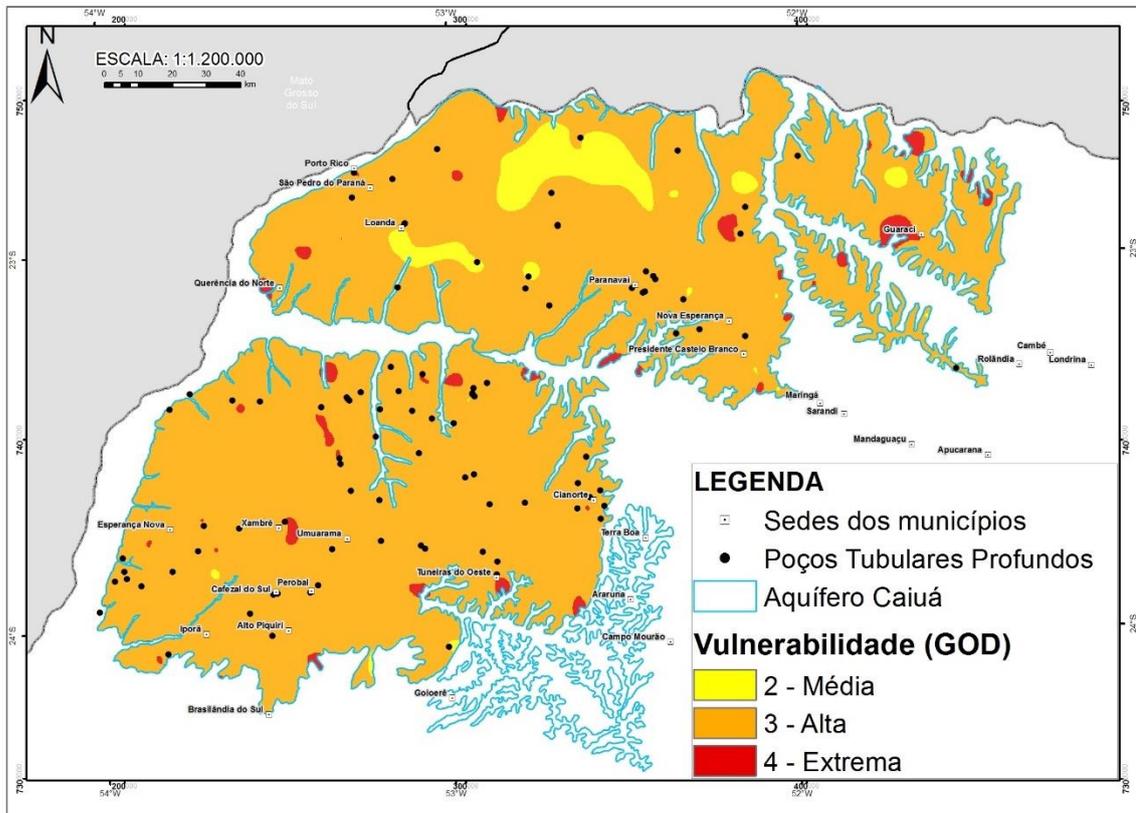


FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

O mapa de vulnerabilidade (Figura 12) é gerado pela multiplicação aritmética (álgebra de mapas) dos mapas G, D e O, esse resultado varia entre 0,0 (menor vulnerabilidade) e 1,0 (maior vulnerabilidade) e os valores obtidos no mapa se enquadram nas classes insignificante (0,0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0) como apresentados no mapa. No mapa é possível observar que a maior parte do aquífero possui alta vulnerabilidade com cerca de 93% da área, a vulnerabilidade média possui cerca de 4% da área do aquífero e a vulnerabilidade extrema aproximadamente 2% da área aflorante do aquífero. Conclui-se que o Aquífero Caiuá possui naturalmente uma alta vulnerabilidade em toda a sua extensão aflorante devido as características geológicas e hidrogeológicas da região. As rochas que formam esse aquífero são em geral arenitos eólicos que possuem boa porosidade e conectividade hidráulica, é um aquífero livre, com pouca cobertura de solo, as vezes até inexistente, e com a superfície freática próxima da superfície topográfica. Essas características facilitam a percolação de contaminantes oriundos

da superfície diretamente no aquífero, a pequena espessura do manto de alteração diminui a capacidade natural de atenuação dos contaminantes tanto no fator temporal para a degradação natural quanto na velocidade em que estes chegam no aquífero.

FIGURA 12: MAPA DE VULNERABILIDADE (GOD) DO AQUÍFERO CAIUÁ COM SUAS RESPECTIVAS CLASSES. AS REGIÕES VERMELHAS REPRESENTAM ÁREAS COM MAIOR VULNERABILIDADE, SEGUIDAS PELAS ÁREAS DE COR LARANJA COM VULNERABILIDADE ALTA E AS ÁREAS EM AMARELO COM VULNERABILIDADE MÉDIA



FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

5 FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS

As fontes de contaminação difusas em geral são causadas pela ausência de saneamento e/ou por práticas agrícolas diversas. No caso do saneamento *in situ* cada local em que ocorre essa prática é considerada uma fonte pontual, mas pela ocorrência em diversos pontos em uma certa região torna-se uma fonte difusa em relação a escala abordada no mapa, o mesmo acontece com as práticas agrícolas que geralmente ocupam grandes áreas com diversos focos de contaminação associados ao uso de agrotóxicos, fertilizantes ou do próprio cultivo de animais.

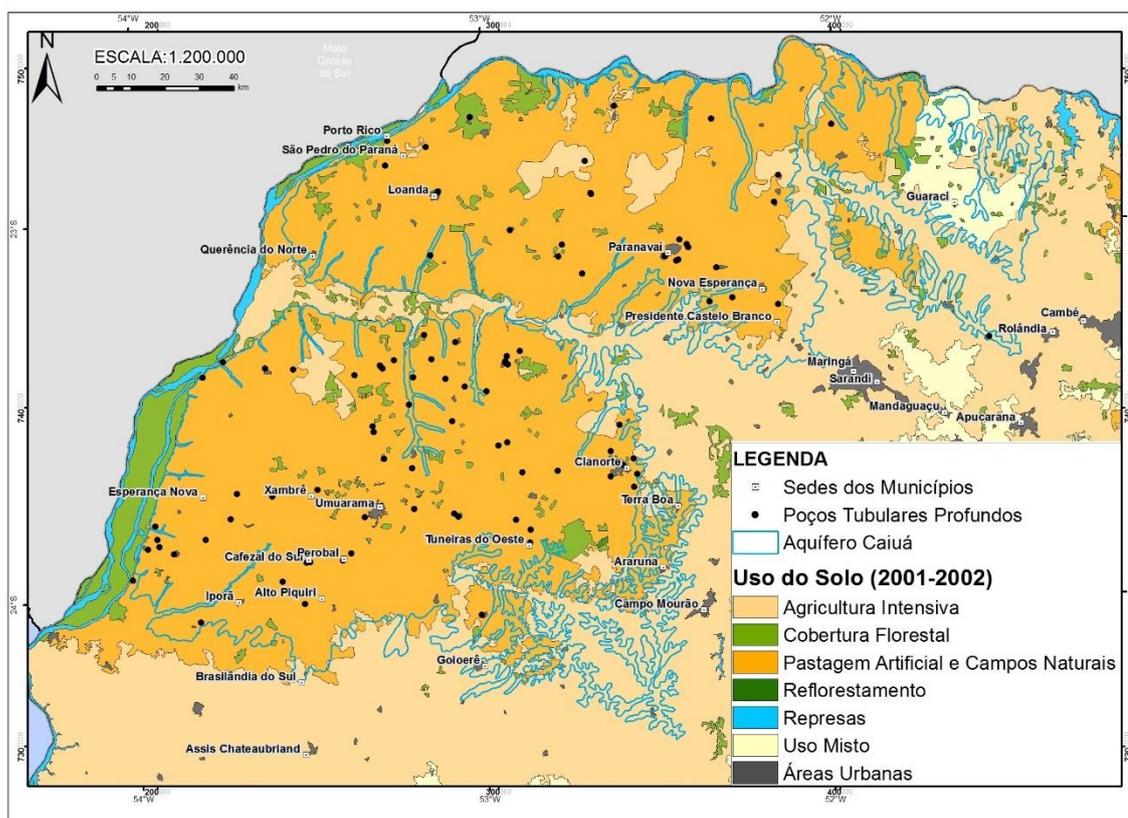
O potencial de gerar uma carga contaminante é considerado elevado quando existe uma baixa cobertura de saneamento básico na área ou grandes monoculturas, criações intensivas, com alto uso de fertilizantes e agrotóxicos e solos bem drenados em climas úmidos. O potencial de gerar carga contaminante reduzido ocorre quando há uma grande cobertura de saneamento básico ou práticas agrícolas sustentáveis, com irrigações eficientes e rotação de culturas. Entre as duas classes ocorre o potencial moderado de gerar carga contaminante.

O mapa de fontes difusas (Figura 13) foi gerado a partir dos *shape files* de uso fornecidos pelo Instituto de Terras Cartografia e Geociências, representando o uso do solo entre 2001 e 2002. São consideradas as classes de uso do solo de agricultura intensiva, cobertura florestal, pastagem artificial e campos naturais, reflorestamento, represa, uso misto e área urbana (Tabela 5). As pastagens naturais e campos artificiais abrangem a maior parte do aquífero com cerca de 86,2% de cobertura dedicada a esta classe que se enquadram no potencial de gerar carga contaminante reduzido a moderado que vão depender das práticas adotadas nestas culturas. As agricultura intensiva atingem cerca de 5% da área aflorante do aquífero e se enquadram no potencial reduzido a elevado de gerar carga contaminante. A cobertura florestal ocupa cerca de 4% da área aflorante do aquífero e representa um potencial nulo a reduzido de gerar carga contaminante, por se tratar de um ambiente natural com solo, vegetação, com pouca geração de contaminantes e alto potencial de degradação dos mesmos. O uso misto do solo abrange cerca de 3,4% da área aflorante do aquífero e pode ter um potencial de gerar carga contaminante de reduzido a elevado, que dependerão dos tipos de práticas adotadas na região. As áreas urbanas ocupam cerca de 1% da área do aquífero e podem ter potencial de gerar carga contaminante reduzido a elevado dependendo da cobertura da rede de esgoto em cada centro urbano. Os reflorestamentos ocupam cerca 0,4% da área do aquífero e possuem potencial reduzido a moderado de gerar carga contaminante no solo.

TABELA 5: TIPO DE USO DO SOLO E SUAS RESPECTIVAS PORCENTAGENS EM ÁREA SOBRE O AQUIFERO CAIUÁ

TIPO DE USO DO SOLO	PORCENTAGEM DA ÁREA DO AQUIFERO
Pastagens artificiais e campos naturais	86,2%
Agricultura intensiva	5%
Cobertura florestal	4%
Uso misto	3,4%
Áreas urbanas	1%
Reflorestamentos	0,4%

FIGURA 13: MAPA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSAS BASEADO NO MAPA DE USO DO SOLO COM PREDOMÍNIO DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA DO AQUIFERO CAIUÁ



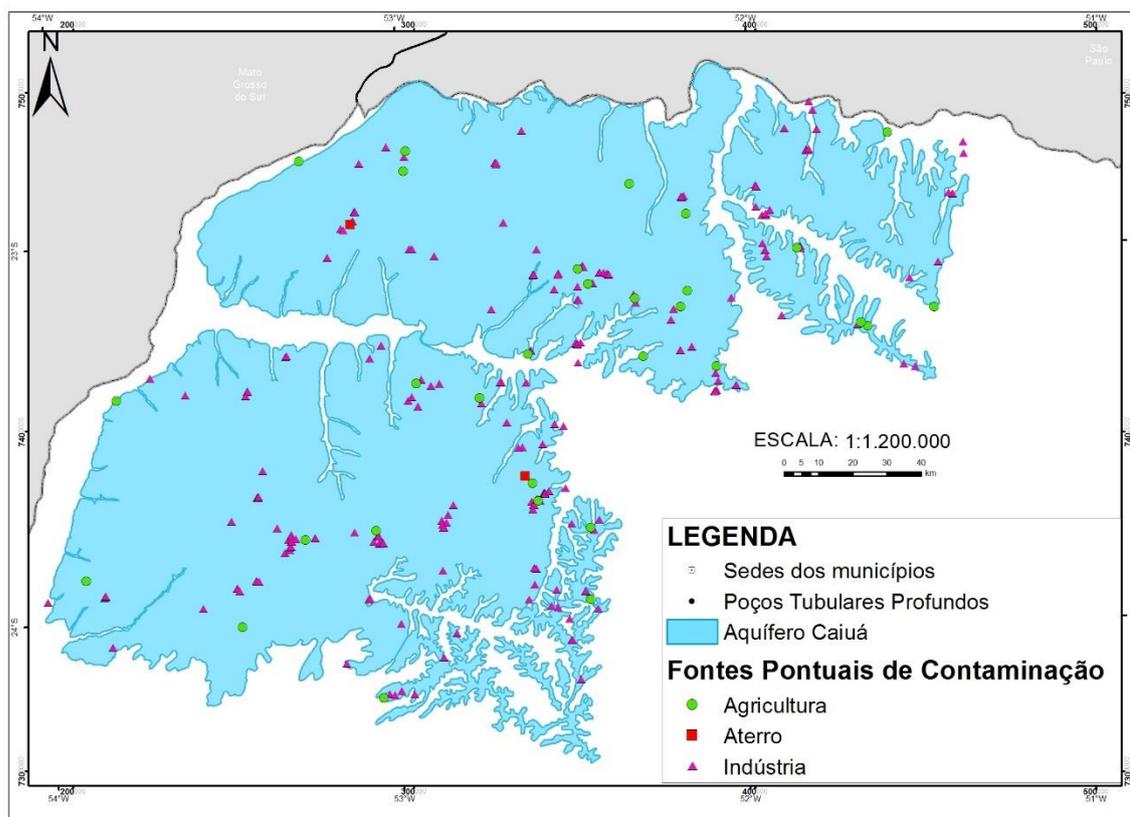
FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

O mapa de uso do solo demonstra que quase 95% da área do Aquífero Caiuá é dedicada às práticas agrícolas em geral tais como as pastagens, agricultura intensiva, reflorestamentos e de uso misto, os potenciais de gerar carga contaminante variam do reduzido a elevado, com predomínio dos potenciais reduzidos a moderados. Os outros 5% representam potenciais reduzidos, no caso dos reflorestamentos e da cobertura florestal, e de reduzido a elevado no caso das áreas urbanas. Tendo em vista a alta vulnerabilidade do aquífero existem grandes possibilidades de contaminação do aquífero pelo fato de existir algum potencial de contaminação por menor que este seja.

6 FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS

As fontes de contaminação pontuais (Figura 14) são mais complexas do que as fontes difusas no aspecto da caracterização de cada fonte pontual e do tipo de contaminante que pode ser introduzido no aquífero, demandam portanto um detalhamento muito maior para que possam ser classificadas corretamente. São caracterizadas por fontes únicas no espaço, com plumas de contaminação bem definidas e com tipos específicos de contaminantes provenientes do tipo de instalação e da atividade exercida no local.

FIGURA 14: MAPA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS. EM VERDE OS PONTOS RELACIONADOS A ATIVIDADES AGRÍCOLAS, EM ROSA OS PONTOS RELACIONADOS A ATIVIDADES INDUSTRIAIS E EM VERMELHO ATERROS SANITÁRIOS



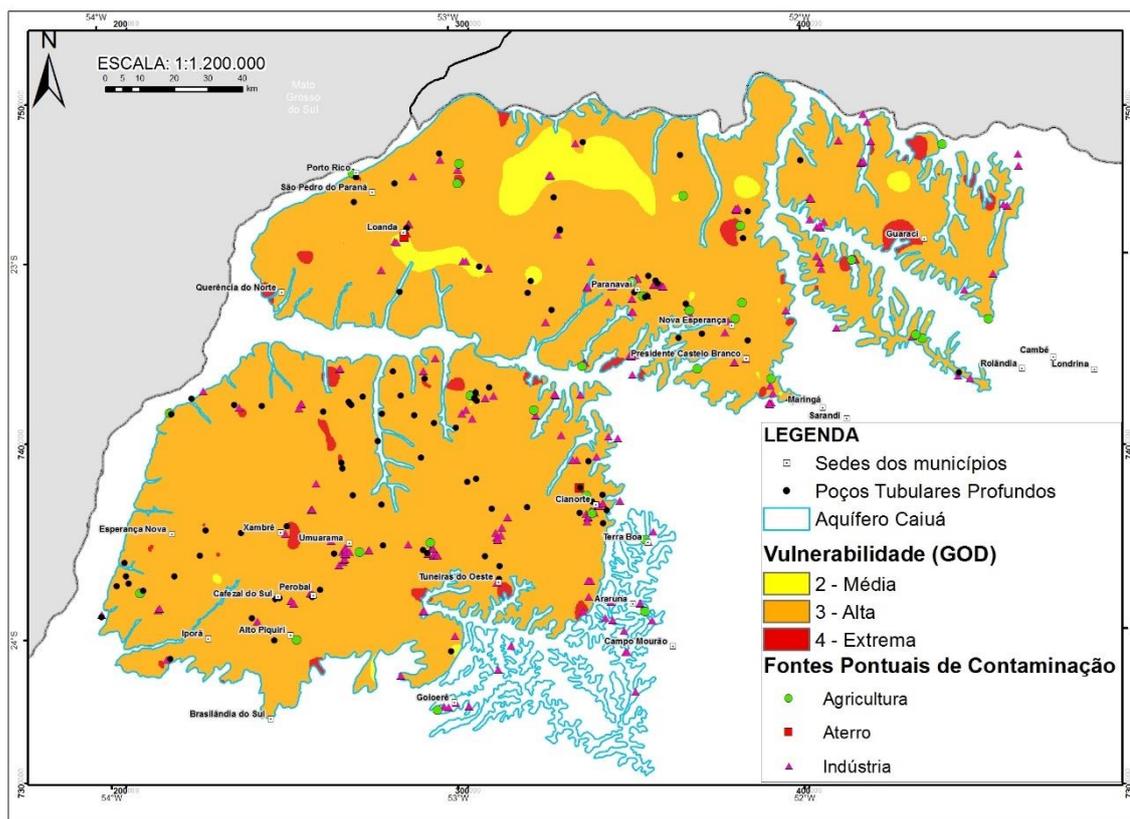
FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

As fontes pontuais foram discriminadas em três grupos principais referentes as práticas executadas, são estas a agricultura, indústria e aterros sanitários com um total de 268 pontos no aquífero. As fontes relacionadas a agricultura representam 11,1% dos pontos, são de uso para irrigação, dessedentação de animais e piscicultura, são caracterizadas com potencial para gerar carga contaminante

reduzido a moderado. As fontes relacionadas a indústria representam 88,2% dos pontos, são mais complexas e possuem maior abrangência de práticas executadas, tais como para indústria têxtil, limpeza, produção de alimentos (bolachas, massas, laticínios, carnes, rações, refino de açúcar), produção de álcool e bebidas não alcoólicas, curtimento de couro, produção de fertilizantes, reciclagem de não-metálicos, fabricação de artigos de borracha e artigos eletroeletrônicos; são caracterizadas com potencial para gerar carga contaminante reduzido a moderado e o maior risco está relacionado a indústria têxtil, de eletroeletrônicos, borracha e de fertilizantes. Os aterros sanitários representam 0,7% dos pontos e podem se enquadrar nos potenciais de gerar carga contaminante reduzido a moderado considerando o tipo de práticas predominantemente agrícolas da região e muitas indústrias voltadas ao agronegócio, juntamente com os pequenos centros urbanos presentes na região.

Aliando os mapas de vulnerabilidade com o de fontes pontuais de contaminação (Figura 15) é patente que, devido à alta vulnerabilidade do aquífero, existe grande potencial de contaminação mesmo por fontes com potencial reduzido de gerar carga contaminante. Esse tipo de contaminação tende a causar problemas a longo e médio prazo devido a exposição constante a fontes de contaminação com potenciais reduzidos a moderados de gerar carga contaminante. Por este fato se faz necessário que os órgãos públicos fiscalizem e controlem as atividades exercidas na região para evitar futuros problemas de contaminação nas águas subterrâneas.

FIGURA 15: MAPA DE VULNERABILIDADE E DE FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO, INDICANDO A ALTA VULNERABILIDADE DO AQUIFERO ASSOCIADO AS PRÁTICAS COM POTENCIAL DE GERAR CARGAS CONTAMINANTES



FONTE: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2015.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Aquífero Caiuá é constituído basicamente por arenitos eólicos, é um bom reservatório de águas subterrâneas e de fácil exploração por ser um aquífero livre. Predominam as águas bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas, com vazões médias de $15,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, capacidade específica média de $0,8 (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) \cdot \text{m}^{-1}$, transmissividade média de $1,28 \cdot 10^2 \text{ m}^2/\text{dia}$ e condutividade hidráulica média de $3,22 \cdot 10^{-1} \text{ m}/\text{dia}$. Estas características hidrogeoquímicas favorecem este cenário positivo com poucas limitações de uso o que torna a água do Aquífero Caiuá boa para o abastecimento público, para o uso agrícola e para o uso industrial em geral. Ressaltamos que grande parte dos municípios situados sobre este aquífero utilizam os recursos hídricos subterrâneos como fonte exclusiva de abastecimento.

Através do método GOD foi calculada a vulnerabilidade do aquífero levando em consideração as variáveis de grau de confinamento, ocorrência dos estratos de

cobertura e distância até o aquífero freático. Predomina a classe de alta vulnerabilidade com cerca de 93% da área do aquífero, seguido pela classe de média vulnerabilidade com 4% da área e a classe de extrema vulnerabilidade com 2% da área. As características naturais do aquífero e de sua geologia, associadas, o tornam muito vulnerável a contaminação.

As fontes de contaminação difusas foram geradas pelo mapa de uso do solo e categorizadas pelo tipo de atividade executada na área. Foram discriminadas atividades agrícolas (agricultura intensiva, pastagem artificial, campos naturais, reflorestamento) cobertura florestal, represas, áreas urbanas e de uso misto do solo. Cerca de 95% da área do aquífero é dedicada as práticas agrícolas diversas com potenciais reduzidos a elevados de gerar cargas contaminantes o que torna a agricultura a maior fonte potencial de contaminação, frente a aplicação de agroquímicos.

As fontes de contaminação pontuais foram categorizadas genericamente como relacionadas a agricultura, indústria e aterros sanitários. Cerca de 95% dos pontos estão relacionados a potenciais de contaminação reduzido, salvo os casos de uso industrial relacionado a indústria têxtil, de eletroeletrônicos, borracha e de fertilizantes que apresentam moderado potencial, juntamente com os aterros sanitários.

Os mapas apresentados possuem caráter regional e estudos mais aprofundados são necessários, principalmente no quesito de fontes pontuais e sua caracterização para melhor classificação dentro dos métodos apresentados.

Devido à alta vulnerabilidade do Aquífero Caiuá são necessárias medidas de proteção para evitar que o mesmo seja contaminado pela população local que utiliza esse recurso.

É um aquífero importante para a região noroeste do Paraná e é utilizado na grande maioria dos municípios da região para abastecimento público por possuir uma água de qualidade e de fácil acesso o que torna sua exploração barata e eficiente quando feita de forma adequada.

Por fim, este trabalho permite identificar a imediata necessidade de ação dos gestores de recursos hídricos subterrâneos, na área de ocorrência do Aquífero Caiuá, frente a existência de fontes difusas e pontuais de contaminação sobre áreas de alta vulnerabilidade.

8 REFERÊNCIAS

BATEZELLI, A.; Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das bacias Caiuá e Bauru no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v.40, n. 2, p. 265-285, jun. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Carta das águas subterrâneas do Paraná: resumo executivo. Brasília: ISBN: 978-85-7738-260-6, 2015. 337 p., il. CD-Rom.

CELLIGOI, A. Hidrogeologia da Formação Caiuá no estado do Paraná. Tese de doutorado, São Paulo, 2000.

CELLIGOI, A. Hidrogeoquímica do Aquífero Caiuá no estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 51, p. 19-32, 2002.

FEITOSA, A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. In: MANOEL FILHO, J. **Contaminação das Águas Subterrâneas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008; p. 381-402.

FERNANDES, L. A. Mapa Litoestratigráfico da porção oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), Escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 53-66, 2004.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): Revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p 164-176, set. 1994.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717-728, dez. 2000.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea**. São Paulo, 2006.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Curitiba, 2016 em:
<<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=60>>.
Acesso: 12 ago. 2016.