

DRASTIC: VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO BARREIRAS NOS BAIRROS DE IBURA E JORDÃO – RECIFE – PERNAMBUCO

Adson Brito Monteiro¹; Paula K. C. Freire²; Gileno Feitosa Barbosa³; Jaime J. S. P. Cabral⁴ &
Simone Rosa da Silva⁵

Resumo – O objetivo deste trabalho foi a determinação da vulnerabilidade natural do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão na cidade do Recife (PE) através do Método DRASTIC (Aller et al., 1987) fornecendo desta maneira ao Órgão Gestor dos Recursos Hídricos uma ferramenta na definição de políticas públicas visando a conservação e uso sustentável das águas subterrâneas. O Aquífero Barreiras tem suas águas provenientes de poços profundos comercializadas através de caminhões pipa para hospitais, indústrias e condomínios e as provenientes de poços rasos abastecendo a população destes bairros. A vulnerabilidade é baixa na maior parte da área excetuando-se no Jordão Baixo e nos Montes Guararapes onde é moderada. A maioria das empresas de comercialização de água potável está localizada onde o aquífero possui vulnerabilidade moderada e, portanto devem ser fiscalizadas pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) e a Vigilância Sanitária.

Abstract - This paper presents a Natural Vulnerability Analysis of Barreiras Aquifer at Ibura and Jordão neighborhood in Recife city (Pernambuco State, Brazil) using DRASTIC Method (Aller et al., 1987). The research goal is a better understanding of Barreiras Aquifer vulnerability to provide information to Water Resources Institution for improving Public Policies to groundwater conservation and sustainable use. Groundwater from Barreiras Aquifer deep wells is pumped to water tank trucks and sold to hospitals, industry plants and residential condominiums; in addition, groundwater from shallow wells is used by local people. Groundwater vulnerability is low at most of aquifer area and is moderate at southeast part of aquifer at Jordão Baixo neighborhood and Montes Guararapes neighborhood. At these localities with moderate vulnerability, groundwater exploitation must have surveillance by Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) and Health and Sanitation Authority.

Palavras-Chave – Aquífero Barreiras, Vulnerabilidade, DRASTIC.

¹Geólogo/Mestre em Geociências – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Av. Goiás, 312 – Ilhotas – Teresina – PI. Fone: (86)3222-4153. E-mail: amonteiro@te.cprm.gov.br/adsbritto@yahoo.com.br. ²Engenheira Civil/Mestre em Recursos Hídricos. R. Severino M. Spinelli, 200/502 – Tambaú – João Pessoa – PB. Fone: (83)3042-6136. E-mail: paula_freire@yahoo.com. ³Engenheiro Agrônomo. Rua Mal. Manoel L. Osório, 208/103 – Cidade Univ. – Recife – PE. Fone: (81)9977-7808. E-mail: gilenoveitosa@globo.com ⁴Engenheiro Civil/Doutor em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Pernambuco – (UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Univ. – Recife – PE. Fone: (81)2126-7216. E-mail: jcabral@ufpe.br. ⁵Engenheira Civil / Doutora em Recursos Hídricos – Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) – Governo de Pernambuco. Av. Cruz Cabugá, 1.111 – Sto. Amaro – Recife - PE - Fone: (81)3184-2577. E-mail: simone.rosa@srh.pe.gov.br.

1 - INTRODUÇÃO

As águas do Aquífero Barreiras, devido a sua boa qualidade físico-química, vêm sendo usadas principalmente para abastecimento humano, industrial e hospitalar através da comercialização por meio de caminhões pipa, além de suprir a população dos bairros do Ibura e do Jordão.

Este aquífero tem sido objeto de estudos sistemáticos nos últimos 5 (cinco) anos por Monteiro et al. (2002, 2003, 2004). Neste período foi caracterizada a hidrogeologia e a gestão realizada pela Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, determinada a vulnerabilidade natural utilizando o método GOD (Foster & Hirata, 1993), a distribuição espacial dos nitratos e a caracterização hidroquímica das águas deste aquífero quanto ao íon dominante, quanto a parâmetros físicos e quanto ao uso.

O objetivo principal deste trabalho foi a determinação da vulnerabilidade natural do Aquífero Barreiras utilizando o método DRASTIC (Aller et al., 1987) e também oferecer ao poder público um estudo técnico que venha subsidiar suas ações na conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

2 - LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na zona sudoeste da cidade do Recife, precisamente nos bairros de Ibura e Jordão, entre as coordenadas UTM 283000 e 288554 mE e 9098000 e 9104412 mN, Zona 25 S, meridiano central -33° , num total de $19,15 \text{ km}^2$ (Foto 01 e Figura 01). Geotectonicamente, está inserida na Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo, sendo constituída de três unidades geológicas, a Formação Cabo na região do Ibura e a Formação Algoduais na região do Jordão, sobreposto pela Formação Barreiras, objeto deste estudo.



Foto 01. Vista parcial da área mostrando a Formação Barreiras – Recife – PE.

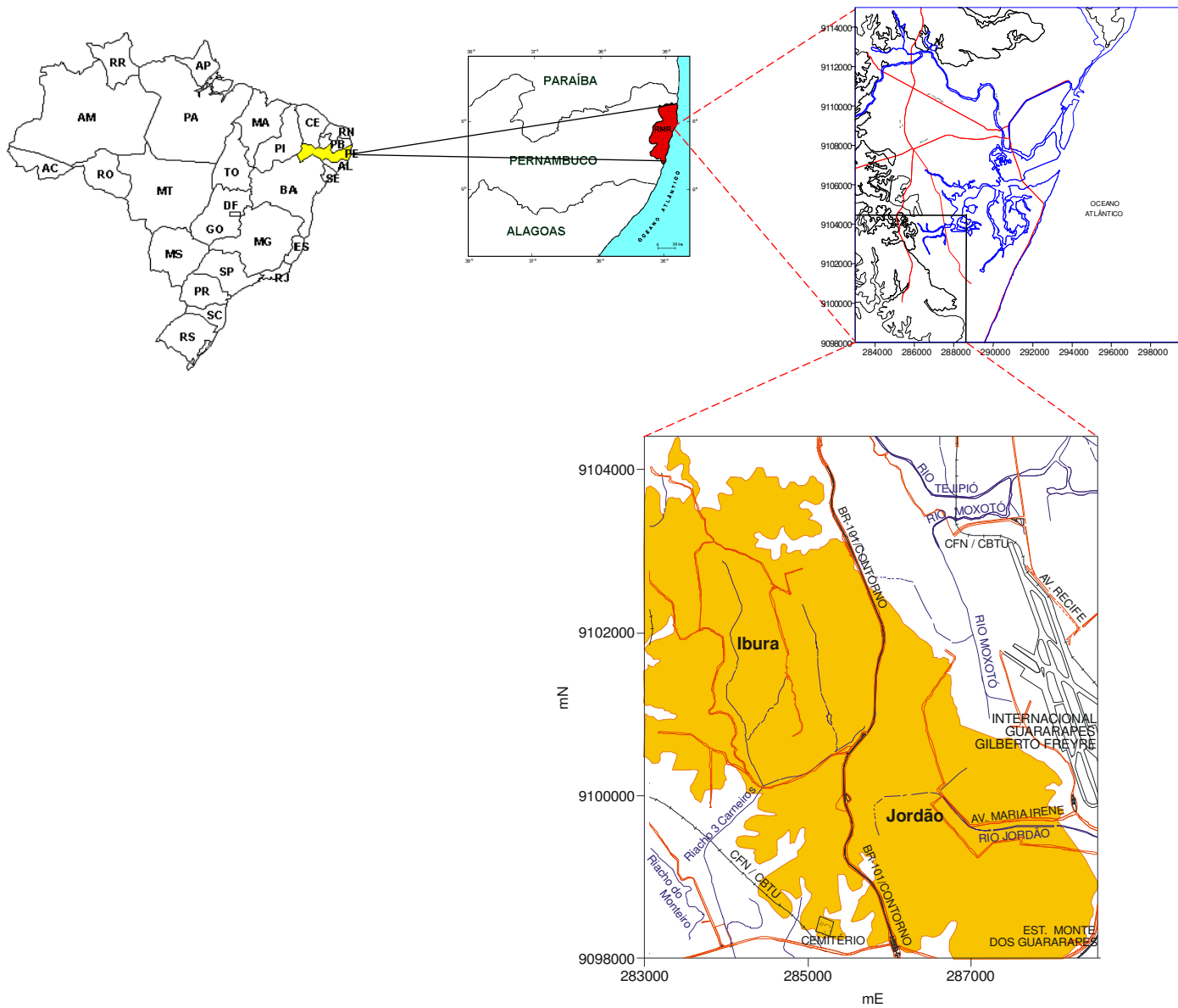


Figura 01. Localização da área de estudo.

3 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

3.1 - Geologia

Na Região Metropolitana do Recife, a Formação Barreiras de idade Plio-Pleistoceno, ocorre como cobertura tanto na Bacia Pernambuco/Paraíba como na Bacia do Cabo onde se localiza a área de estudo. Lima Filho et al. (2005) dividiu os sedimentos desta unidade em três subfácies litológicas (Quadro 01).

Quadro 01. Subfácies sedimentares presentes na Formação Barreiras (Lima Filho et al., 2005).

<i>Fácies</i>	<i>Subfácies</i>	<i>Litologia</i>
C	C ₁	Sedimentos arenosos variando de conglomerados a areia média. São essencialmente quartzoso, bastante poroso e com boa permeabilidade.
	C ₂	Sedimentos areno-argilosos passando a camadas de argila com espessura de 0,2 a 2 metros. Estas camadas estão posicionadas na base da fácies C, e raramente intercaladas, tornando-se assim, dispersas.
	C ₃	Caracteriza-se por camadas arenosas de elevada permeabilidade com reduzido incrementos de argilas em profundidade.

Na área de estudo, esta formação é constituída por conglomerados de cor creme a avermelhada, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo (subfácies C₁) e blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares a lenticulares de até 1m de espessura (subfácies C₂). Nesses conglomerados intercalam-se camadas siltico-argilosas menos esparsas, determinando algumas vezes estratificações paralelas.

Em algumas porções da área encontramos depósitos de granulometria variada, apresentando cascalhos e areias grossas a finas, geralmente feldspáticas e de cores claras (subfácies C₃). Esses depósitos mostram intercalações com sedimentos finos sob a forma de camadas e lentes de argila/silte.

3.2 - Hidrogeologia

O Aquífero Barreiras se constitui em um dos principais mananciais hídricos da região sudoeste do Recife com suas águas sendo usadas para fins residenciais, industriais e hospitalares distribuídas principalmente por meio de carros pipa. O quadro 02 resume as principais características deste aquífero (Monteiro et al., 2002): transmissividade (T), condutividade hidráulica (K), espessura saturada (b_s), gradiente hidráulico (i), descarga específica (q), porosidade efetiva (μ_e) e velocidade média linear (v).

Quadro 02. Características hidrodinâmicas do Aquífero Barreiras.

		$T (m^2/s)$	$K (m/s)$	$b_s (m)$	i	$q (m/s)$	μ_e	$v (m/s)$
<i>Ibura</i>		$4,64 \times 10^{-3}$	$5,52 \times 10^{-5}$	84	$1,29 \times 10^{-3}$ (1 m/0,775 km)	$7,1 \times 10^{-8}$	5 %	$1,42 \times 10^{-6}$
<i>Jordão</i>	<i>Alto</i>	$3,28 \times 10^{-3}$	$5,29 \times 10^{-5}$	62	0,003 (1 m/0,325 km)	$1,58 \times 10^{-7}$	5 %	$3,16 \times 10^{-6}$
	<i>Baixo</i>				0,008 (1 m/0,125 km)			$4,23 \times 10^{-7}$
<i>Média na área</i>		$3,96 \times 10^{-3}$	$5,40 \times 10^{-5}$	73				

4 - VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

A vulnerabilidade é fundamentada com base nas características intrínsecas dos sistemas de água subterrânea que depende da sensibilidade dos aquíferos a impactos humanos e/ou naturais e é função de fatores hidrogeológicos. De acordo com Foster e Hirata (1988) estes fatores são a acessibilidade hidráulica da zona não saturada à penetração de contaminantes (advecção de contaminantes) e a capacidade de atenuação da camada que cobre a zona saturada, resultado da retenção ou reação físico-química de contaminantes (dispersão, retardação e degradação).

Como resultados da avaliação da vulnerabilidade podem ser obtidos mapas que apresentam zonas com maior ou menor sensibilidade à contaminação, que geralmente são construídos para o aquífero livre. A principal finalidade destes mapas é servir de instrumentos na definição de políticas públicas tanto no planejamento do uso e ocupação do solo como no gerenciamento das águas subterrâneas.

Para obter o mapa de vulnerabilidade do Aquífero Barreiras foi usado o método DRASTIC (Aller et al., 1987) desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos a partir das seguintes conjecturas:

- o contaminante é introduzido à superfície do terreno;
- o contaminante é transportado verticalmente até o aquífero pela água de infiltração;
- o contaminante tem a mobilidade da água;
- a área mínima avaliada pelo DRASTIC é de $0,4 \text{ km}^2$.

5 - MÉTODO DRASTIC

A metodologia DRASTIC é um sistema paramétrico de avaliação que inclui sete características hidrogeológicas somadas de forma ponderada: D (profundidade do topo do aquífero), R (recarga), A (material do aquífero), S (Tipo de Solo), T (declividade), I (influência da zona

vadosa) e C (condutividade hidráulica). O DRASTIC permite encontrar um valor numérico para cada ponto da área de trabalho de acordo com a seguinte equação:

$$DRASTIC = (D_i \times D_p) + (R_i \times R_p) + (A_i \times A_p) + (S_i \times S_p) + (T_i \times T_p) + (I_i \times I_p) + (C_i \times C_p) \quad (1)$$

onde i é valor atribuído ao parâmetro e p o seu peso. A cada um dos parâmetros atribui-se valores i que variam de 1 a 10 cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição e um peso p que varia de 1 a 5 (Quadro 03) refletindo a importância relativa. No trabalho foi utilizado peso normal. O quadro 04 resume as divisões e índices para os sete parâmetros constituintes da metodologia DRASTIC.

Quadro 03. Variação do valor do peso de acordo com o parâmetro DRASTIC.

<i>Parâmetro</i>		<i>D</i>	<i>R</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>I</i>	<i>C</i>
<i>Peso</i>	<i>Normal</i>	5	4	3	2	1	5	3
	<i>Pesticida</i>	5	4	3	5	3	4	2

A vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas é tanto maior quanto maior for o índice DRASTIC. O quadro 05 mostra a relação entre o valor do índice e a vulnerabilidade.

Quadro 04. Divisões e índices dos parâmetros DRASTIC.

<i>D (m)</i>		<i>R(mm/a)</i>		<i>A</i>		<i>S</i>		<i>T (%)</i>		<i>I</i>		<i>C</i>	
<i>Limite</i>	<i>i</i>	<i>Limite</i>	<i>i</i>	<i>Tipologia</i>	<i>i</i>	<i>Tipologia</i>	<i>i</i>		<i>i</i>	<i>Tipologia</i>	<i>i</i>	<i>Tipologia</i>	<i>p</i>
< 1,5	10	< 51	1	Xisto argiloso, argilito	1-3(2)	Fino ou ausente	10	<2	10	Camada confinante	1	0 - 4,1	1
1,5-4,6	9	51-102	3	Rocha metamórfica/Ígnea	2-5(3)	cascalhoso	10	2-6	9	Argila/Silte	2-6(3)	4,1-12,2	2
4,6-9,1	7	102-178	6	Rocha metamórfica/Ígnea alterada	3-5(4)	Areia	9	6-12	5	Xisto argiloso, argilito	2-5(3)	12,2-28,5	4
9,1-15,2	5	178-254	8	Arenito, calcário e argilito estratificado	5-9(6)	Turfa	8	12-18	3	Calcário	2-7(6)	28,5-40,7	6
15,2-22,9	3	> 254	9	Arenito maciço	4-9(6)	Argila agregável e/ou expansível	7	> 18	1	Arenito	4-8(6)	40,7-81,5	8
22,9-30,5	2			Calcário maciço	4-9(6)	Franco arenoso	6			Arenito, calcário e argilito estratificados	4-8(6)		
> 30,5	1			Areia e cascalho	4-9(6)	Franco	5			Areia e cascalho com percentagem significativa	4-8(6)		
				Basalto	2-10(9)	Franco siltoso	4			Rocha metamórfica/Ígnea	2-8(4)		
				Calcário carsificado	9-10(10)	Franco argiloso	3			Areia e cascalho	6-9(8)		
						“Muck”	2			Basalto	2-10(9)		
						Argila não agregada e não expansível	1			Calcário Carsificado	8-10(10)		

Quadro 05. Relação entre o valor do índice DRASTIC e a vulnerabilidade das águas subterrâneas.

<i>Índice DRASTIC</i>	<i>Vulnerabilidade</i>
Superior a 199	Muito Elevada
160-199	Vulnerabilidade Elevada
120-159	Vulnerabilidade Moderada
Inferior a 120	Vulnerabilidade Baixa

6 - BASE CARTOGRÁFICA E PROGRAMAS UTILIZADOS

- Carta de Nucleação Centro - Escala 1:20.000 - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Social (SEPLANDES) - Governo de Pernambuco - 2000;
- Folha Recife (SC.25-V-A-III) - Escala 1:100.000 - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) - 1999;
- Ortofotocartas - Escala 1:10.000 - Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) - Governo de Pernambuco - 1986;
- Surfer 8 – Surface Mapping System - Golden Software, INC – 1993 - 2002;
- CorelDraw Graphics Suite 12 - Corel Corporation - 2003;
- ArcGIS 9 - ESRI GIS and Mapping Software - 1999 - 2004.

7 - CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DRASTIC

7.1 - Profundidade do Topo do Aquífero – D

O Barreiras é um aquífero livre, portanto, a profundidade do topo do aquífero refere-se à distância ao nível estático (NE).

Para elaboração do mapa de contorno do nível estático do aquífero foram utilizados os relatórios técnicos e testes de bombeamento dos poços outorgados e cadastrados pela Secretaria de Ciência, Tecnologia, e Meio Ambiente de Pernambuco - SECTMA (a partir de 2007 foi recriada a Secretaria de Recursos Hídricos - SRH) durante o ano de 2004 e 2005, além de dados coletados em campo. A interpolação dos dados foi feita utilizando o método de Kriging e o mapa de contorno através de um Sistema de Informações Geográficas (GIS Software). A figura 02 mostra o mapa de profundidade do topo do Aquífero Barreiras, parâmetro D da metodologia DRASTIC.

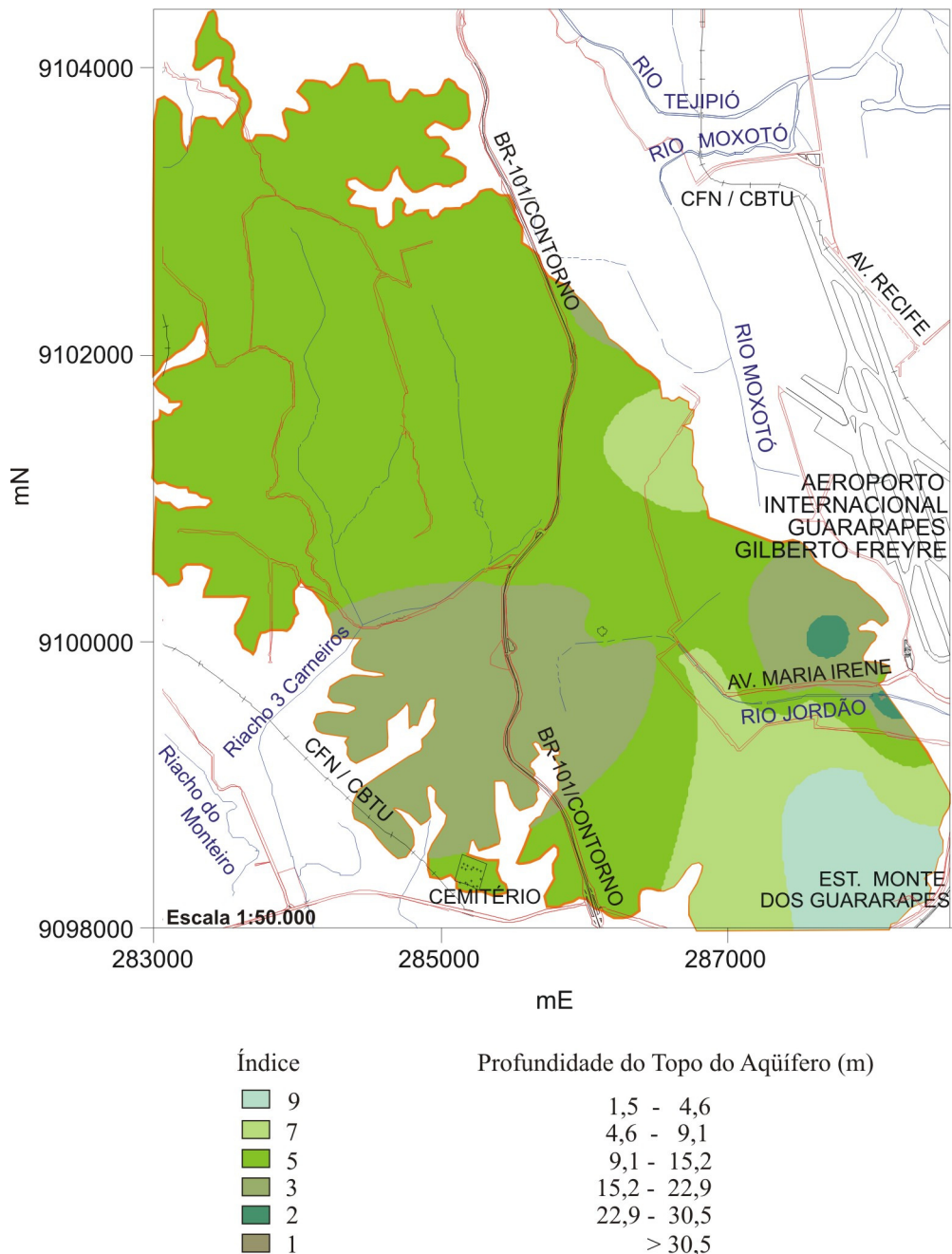


Figura 02. Profundidade do Topo do Aquífero Barreiras – Parâmetro DRASTIC D.

7.2 - Recarga do Aquífero - R

A recarga de um aquífero representa a quantidade de água que se acrescenta à zona saturada aumentando o armazenamento de água subterrânea. Em termos gerais são os seguintes processos envolvidos na alimentação do aquífero (Costa et al., 2002):

- infiltração direta das águas precipitadas da atmosfera, sobre a superfície do terreno;
- infiltração de parte das águas escoadas nas calhas fluviais, nos trechos em que o rio é influente;
- transferência de um aquífero para outro a ele sotoposto – drenança descendente;

- drenança vertical ascendente de aquíferos inferiores (estratigraficamente), com maior carga potenciométrica;
- por vazamentos da rede de distribuição de água e na rede coletora de esgotos e galerias pluviais.

A recarga do Aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão ocorre por infiltração direta da água da chuva após os processos de evapotranspiração e escoamento direto.

Segundo Aller (1987) in Cabral et al. (2004) a recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada.

A recarga do aquífero foi calculada por meio da equação abaixo, onde R é a recarga (m³/ano), K a condutividade hidráulica média (m/ano), b_s a espessura saturada (m), L a largura da frente de escoamento (m) e i o gradiente hidráulico médio (adimensional).

$$R = (K \times b_s \times L \times i) \quad (2)$$

Logo se K =1702,94 m/ano, b_s = 73 m, L = 6000 m e i = 4,1x10⁻³ => R=3058146,83 m³/ano ≈ 3,06x10⁶ m³/ano.

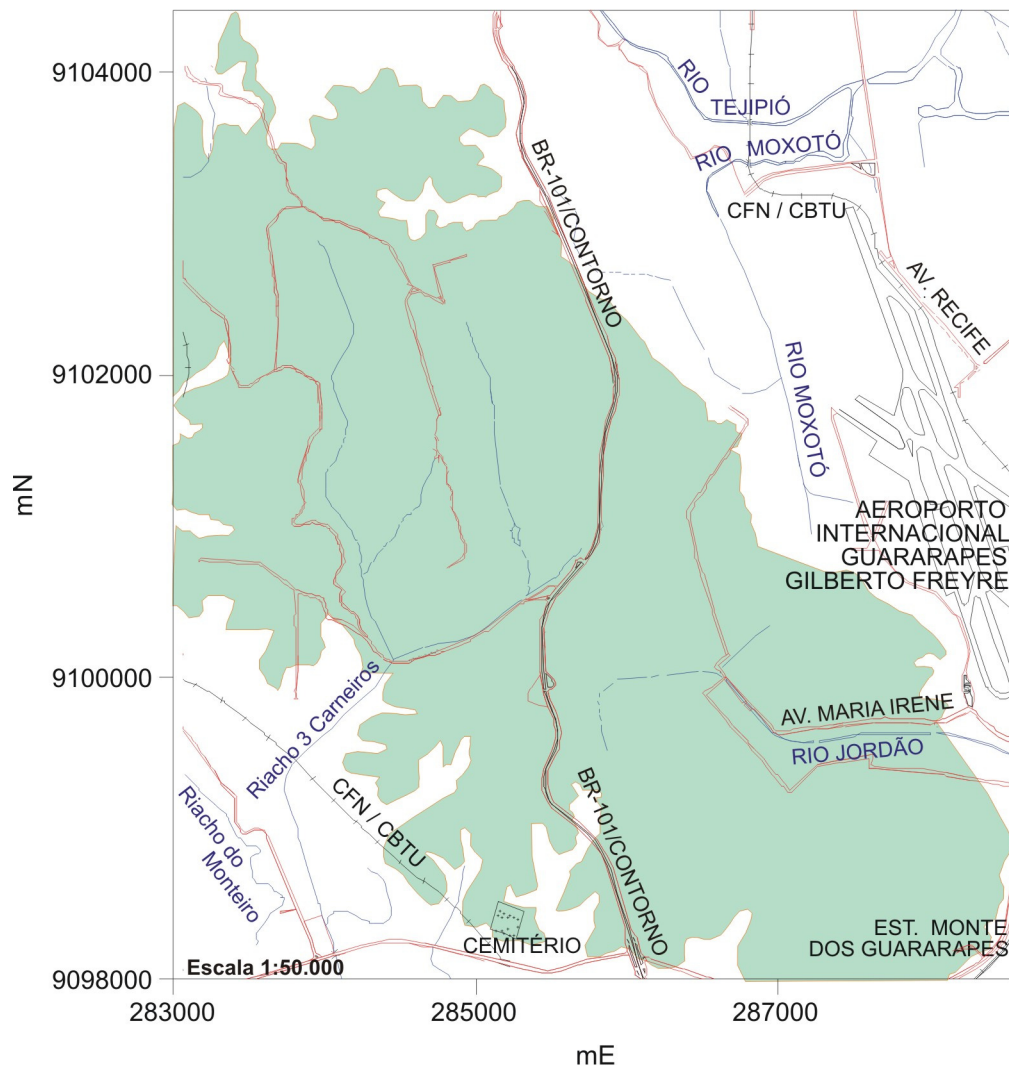
Expressando a recarga calculada em função da área (A) e da precipitação média anual (P) utilizando a equação (3) abaixo, onde R_i é a taxa de recarga infiltrada (%), P = 2,4579 m/ano (2457,9 mm/ano) e A = 19,15x10⁶ m² => R_i= 6,5% ou seja, a recarga do aquífero representa 6,5% da precipitação média anual. Então R_i= 159,76 mm/ano (0,15976 m/ano). A figura 03 mostra a recarga do Aquífero Barreiras – Parâmetro R da metodologia DRASTIC.

$$R_i = \left(\frac{R}{P \times A} \right) \times 100 \quad (3)$$

7.3 - Material do Aquífero – A

O material do aquífero refere-se às litologias existentes na zona saturada da unidade litoestratigráfica. A zona saturada apresenta características como transmissividade, condutividade hidráulica, porosidade efetiva, arranjo e granulometria dos grãos, parâmetros fundamentais que influenciam o transporte e a propagação de poluentes.

A unidade lito-estratigráfica onde está inserida o Aquífero Barreiras é a Formação Barreiras. Baseado na descrição da geologia e na análise dos perfis litológicos dos poços tubulares perfurados na área, concluímos que este aquífero é constituído de conglomerados, cascalhos, areias médias a finas com intercalações de argilas. A figura 04 mostra o mapa do material do aquífero – parâmetro A da metodologia DRASTIC.



Índice

6

Recarga (mm/ano)

102-178

Figura 03. Recarga do Aquífero Barreiras - Parâmetro DRASTIC R.

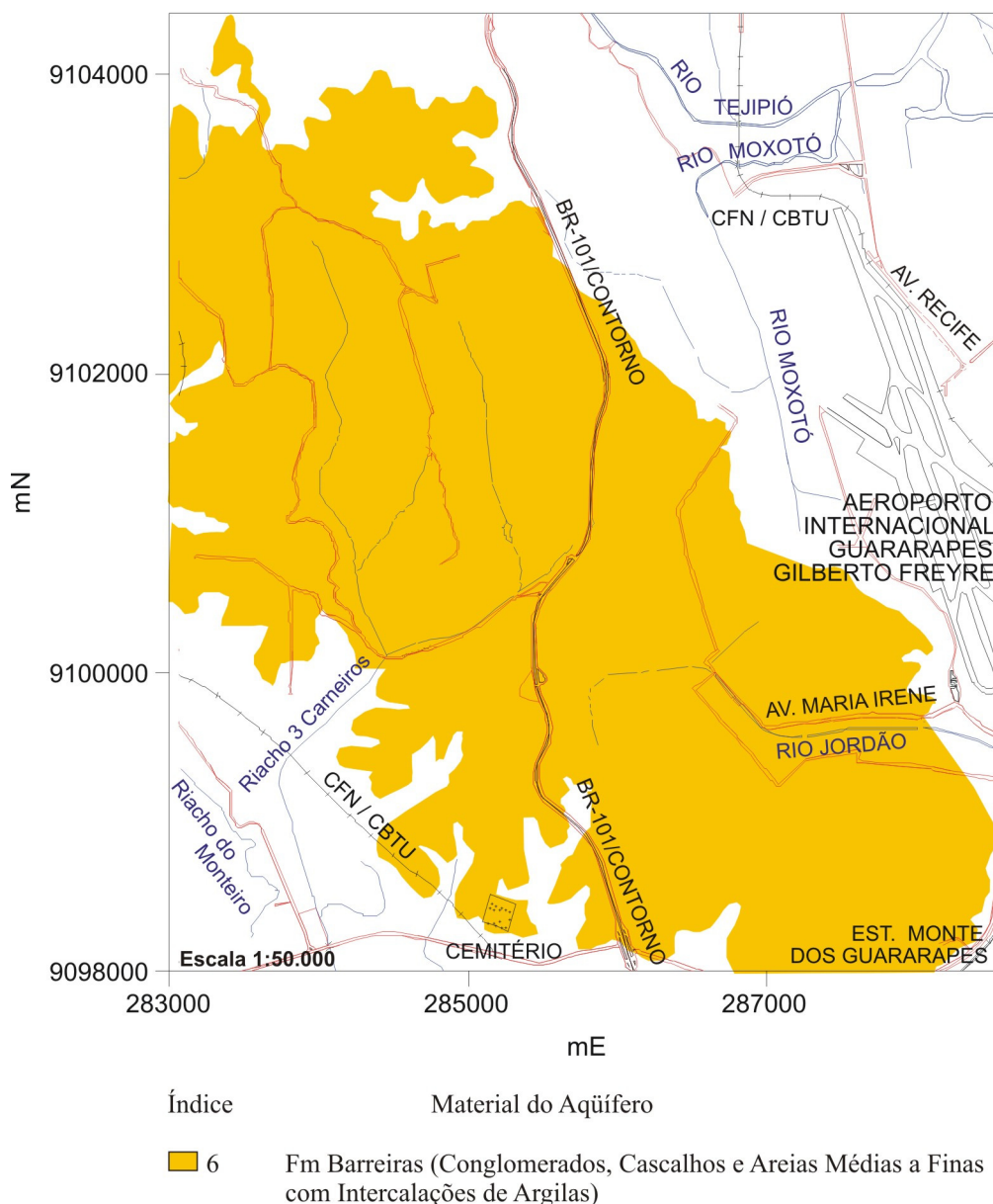


Figura 04. Material do Aquífero – Parâmetro DRASTIC A.

7.4 - Tipos de Solos – S

O tipo de solo tem importância significativa na atenuação de poluentes uma vez que constitui a primeira barreira à sua propagação. As propriedades do solo como espessura, textura, expansibilidade/contractibilidade e teor de matéria orgânica desempenham papel fundamental na determinação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos.

A confecção do mapa de solos foi baseada no trabalho de Araújo et al. (2000) onde são levantados os recolhimentos de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. Este estudo faz parte do documento “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos” publicado pela EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Na área investigada, Araújo op. cit. mapeou apenas 3,72% do total, em função do restante constituir área urbanizada, portanto sem acesso as informações essenciais do solo necessárias para

estabelecer a classificação pedológica. Desta maneira, nos locais de exposição dos solos foram determinadas três tipologias que tiveram o índice DRASTIC calculados.

Na área urbanizada, devido aos bairros de Jordão e Ibura possuírem um alto percentual de terrenos não impermeabilizados, tais como espaços entre as casas e ruas pavimentadas, foi inferido o tipo de solo baseado na litologia da camada aflorante da Formação Barreiras, topografia e na tipologia do aquífero (livre coberto ou livre aflorante) e determinado o índice DRASTIC. O quadro 06 abaixo relaciona a classificação dos solos da EMBRAPA para a área com os tipos sugeridos por Aller et al. (op. cit.) e a figura 05, o mapa de solos - Parâmetro S da metodologia DRASTIC.

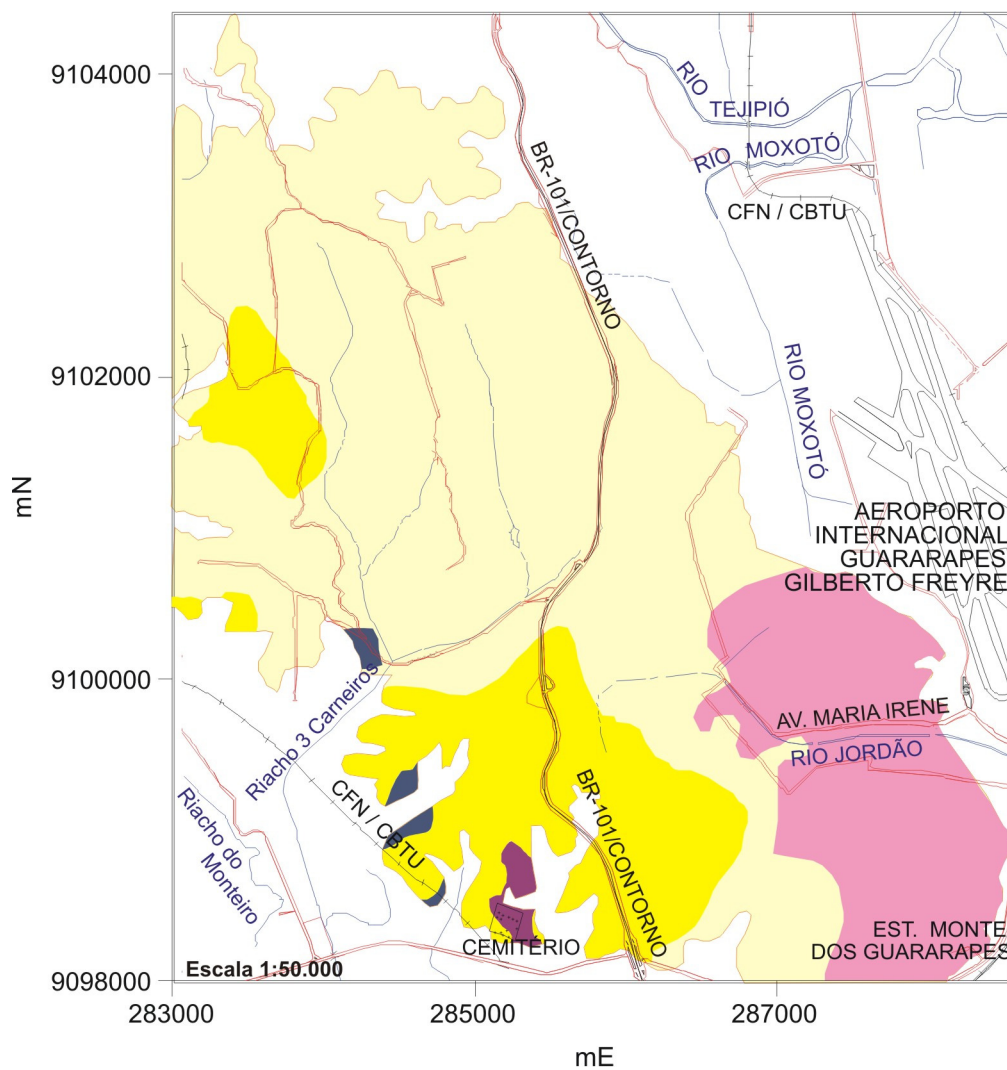
Quadro 06. Classificação dos solos existentes na área.

<i>Classificação EMBRAPA</i>	<i>Tipologia de Solos (Aller et al -1987)</i>	<i>Índice DRASTIC</i>
G2 – Assoc: GLEISSOLO + CAMBISSOLO glêico + SOLOS ALUVIAIS, textura argilosa e média, floresta subperenifólia e campo de várzea, relevo plano. (40-30-30%)	Argila não agregável e não expansível	1
LA8 – Assoc: LATOSSOLO AMARELO textura argilosa + PODZÓLICOS AMARELO E VERMELHO - AMARELO, textura média argilosa e argilosa, ambos distróficos, floresta subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado. (65-35%)	Franco Argiloso	3
HP2 – Assoc: PODZOL HIDROMÓRFICO + PODZOL, ambos álico e distrófico, textura arenosa e média, fase floresta subperenifólia, relevo plano. (65-35%)	Areia	9

7.5 - Topografia – T

A topografia refere-se ao declive do terreno. A declividade é a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre eles. Este parâmetro é considerado no índice DRASTIC como condicionador do efeito de atenuação do poluente em decorrência de sua influência no desenvolvimento dos solos e também por possibilitar que um poluente esco superficialmente, ou permaneça à superfície tempo suficiente para que ocorra a infiltração. Além disso, pode fornecer informação acerca do gradiente hidráulico da água subterrânea e da velocidade de fluxo.

O mapa de declividade foi desenvolvido por intermédio do programa SURFER 8 utilizando dados de cotas altimétricas provenientes da Folha Recife (SC.25-V-A-III) – Escala 1:100.000 - SUDENE e das Ortofotocartas – Escala 1:10.000 (CONDEPE/FIDEM). O conceito utilizado foi o da primeira derivada direcional. A primeira derivada de uma função representa a declividade em qualquer ponto da superfície numa direção especificada. Entretanto, ao invés de uma função conhecida "z(x,y) " para qual nós podemos calcular os limites necessários, o Surfer utiliza um arquivo grid, de tal modo que a derivada direcional é aproximada através de equações diferenciais. A figura 06 mostra o mapa de declividade – parâmetro T da metodologia DRASTIC.



Índice	Tipo de Solo
1	Argila Não Agregada e Não Expansível
3	Franco Argiloso/Franco Argiloso Inferido
9	Areia/Areia Inferida

Figura 05. Tipos de Solos – Parâmetro DRASTIC S.

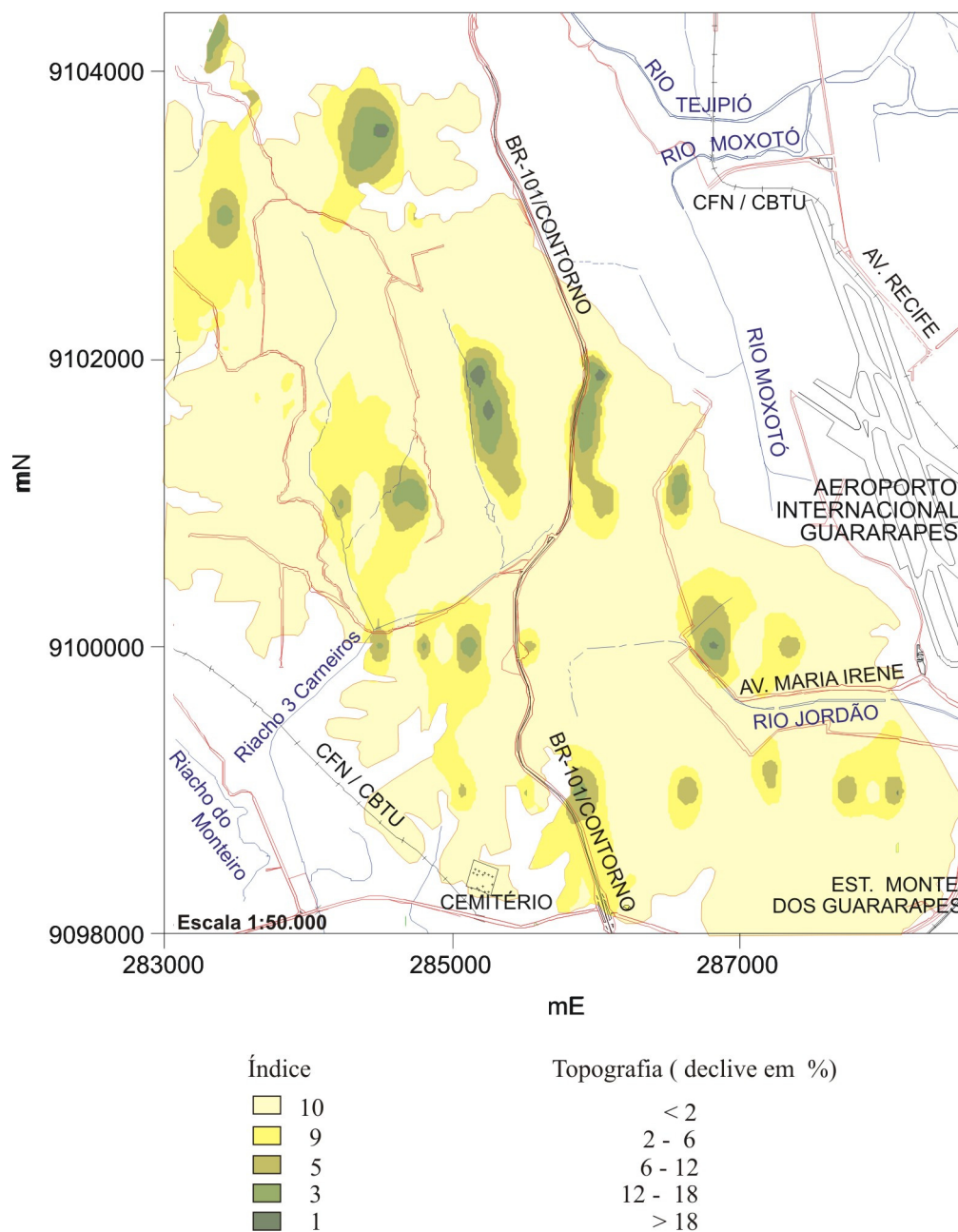


Figura 06. Declividade – Parâmetro DRASTIC T.

7.6 - Influência da Zona Vadosa - I

O tipo de material existente na zona vadosa implica no tempo de infiltração e, por conseguinte, na atenuação ou não dos poluentes.

A zona vadosa é constituída pelos litotipos da Formação Barreiras que ocorrem na zona não saturada. O estudo da zona de aeração foi baseado nos dados dos relatórios técnicos dos poços outorgados e cadastrados pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) do Estado de Pernambuco. Os limites e os materiais existentes na zona vadosa foram determinados após análise dos perfis litológicos e dos valores dos níveis estáticos. A figura 07 mostra o mapa de influência da zona vadosa – parâmetro I da metodologia DRASTIC.

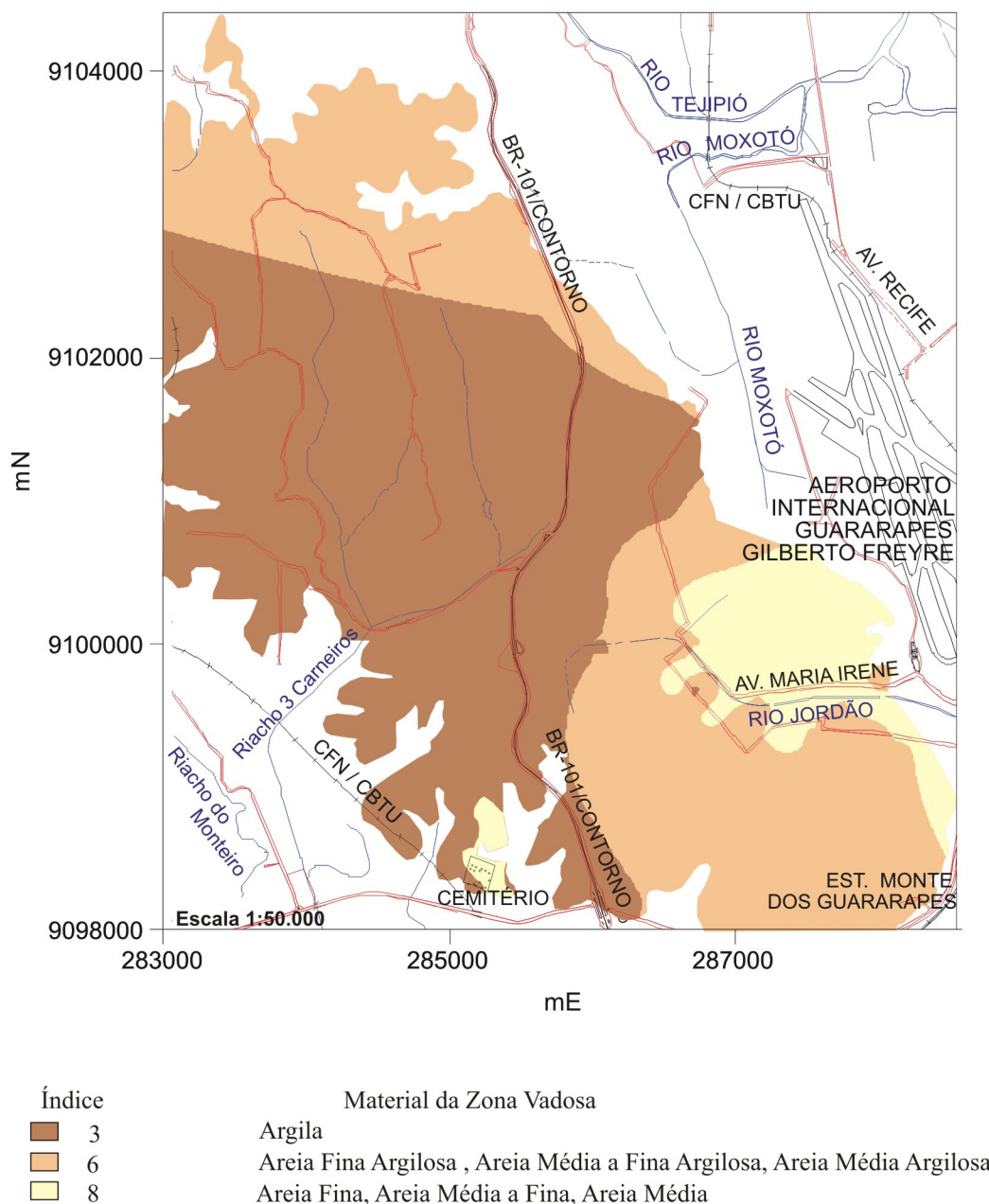
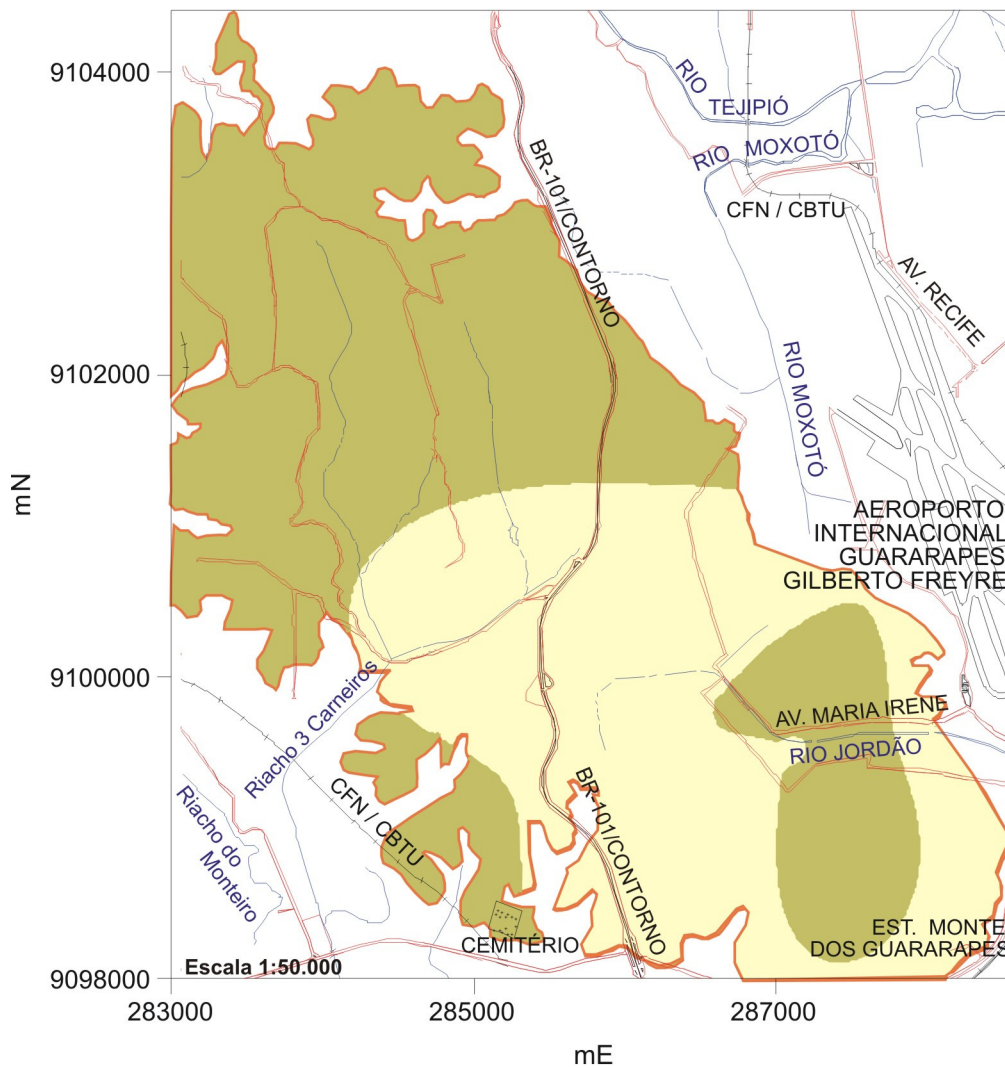


Figura 07. Zona Vadosa – Parâmetro DRASTIC I.

7.7 - Condutividade Hidráulica – Parâmetro C

A condutividade hidráulica é o parâmetro que determina a facilidade com que a água se movimenta através de uma rocha sob determinado gradiente hidráulico. É função do meio (porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma das partículas, arranjo das partículas) e do fluido (viscosidade e massa específica).

Os dados de condutividade hidráulica foram determinados através dos testes de bombeamento dos poços tubulares, exigidos pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) às empresas de comercialização de água através de carros pipa, condição para a obtenção da outorga de direito de uso das águas subterrâneas. A figura 08 mostra o mapa de condutividade hidráulica – parâmetro C da metodologia DRASTIC.



Índice	Condutividade Hidráulica (m/d)
1	< 4,1
2	4,1 - 12,2

Figura 08. Condutividade Hidráulica – Parâmetro DRASTIC C.

8 - VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO BARREIRAS

O índice de vulnerabilidade DRASTIC para cada ponto da área foi obtido por meio da combinação dos mapas para cada propriedade, como resultado do somatório ponderado dos produtos do índice atribuído a cada parâmetro pelo peso considerado.

Os valores dos índices de vulnerabilidade à poluição do Aquífero Barreiras variaram entre 78 (valor mínimo) e 159 (valor máximo), permanecendo dentro dos limites para qualquer aquífero de acordo a metodologia DRASTIC - entre 23 e 226. Os resultados encontrados, menores que 120 (78-119) e entre 120 e 159 (122-133) indicam, de acordo com o quadro 05, uma vulnerabilidade para o Aquífero Barreiras, baixa e intermediária, respectivamente. Observa-se na figura 09 que a vulnerabilidade é baixa na maior parte da área, excetuando-se a sudeste (Jordão Baixo e Montes

Guararapes) onde a vulnerabilidade é intermediária. Segundo Monteiro et al.(2003), ocorre uma forte correlação entre a tipologia do aquífero e o grau de vulnerabilidade, ou seja, nos locais onde o aquífero é livre coberto a vulnerabilidade é baixa, e onde o aquífero é livre aflorante a vulnerabilidade é intermediária ou moderada.

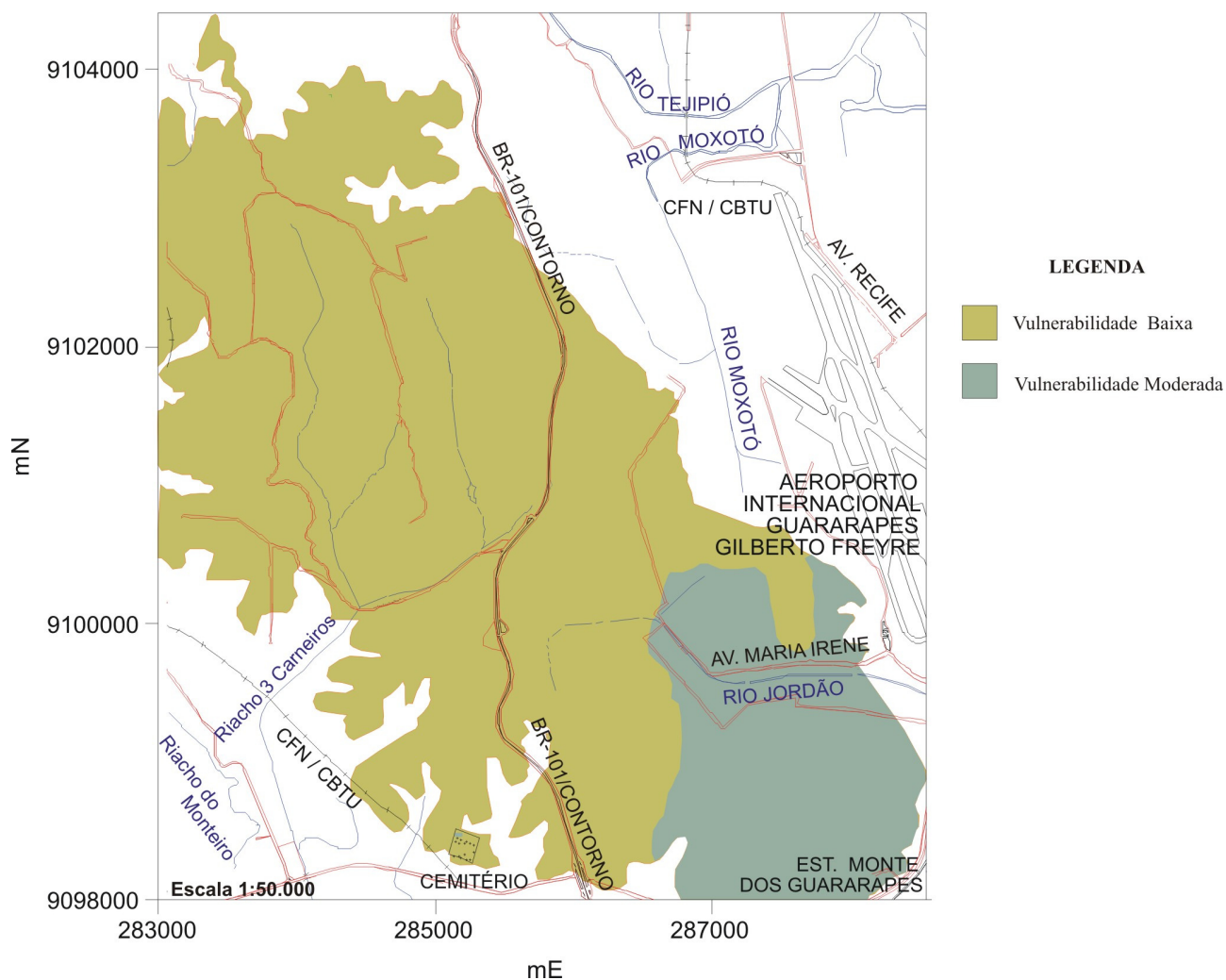


Figura 09. Vulnerabilidade do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão – Recife – PE segundo a Metodologia DRASTIC.

9 - CONCLUSÕES

- A Formação Barreiras é constituída de sedimentos arenosos e areno-argilosos com intercalações de argila e silte;
- O Aquífero Barreiras, devido a boa qualidade físico química de suas águas, abastece indústrias, hospitais e condomínios da Região Metropolitana do Recife por meio de caminhões pipa, além de suprir os bairros do Ibura e do Jordão;
- Este aquífero possui uma espessura média saturada de 73 metros, transmissividade média de $3,96 \times 10^{-5}$ m²/s, condutividade hidráulica média de $5,4 \times 10^{-5}$ m/s e uma porosidade efetiva de 5%;

- Na definição da vulnerabilidade foi utilizado o método DRASTIC que representa um sistema paramétrico de avaliação que inclui sete características hidrogeológicas somadas de forma ponderada. Os parâmetros avaliados foram os seguintes: D (profundidade do topo do aquífero), R (recarga), A (material do aquífero), S (tipo do solo), T (declividade), I (influência da zona vadosa) e C (condutividade hidráulica);

- A profundidade do topo do aquífero varia de 2,8 a 40 metros com índice DRASTIC entre 9 e 1;

- A recarga do aquífero foi estimada em 159,76 mm/ano com índice DRASTIC 6;

- Foram mapeados e inferidos três tipologias de solo. Solo argiloso não agregável e não expansível, franco argiloso e arenoso, com índices DRASTIC respectivamente com valores 1, 3 e 9;

- A maior parte da área possui declividade menor que 2%;

- A zona vadosa é constituída de argila, areia argilosa e areia com índices DRASTIC respectivamente com valores 3, 6 e 8;

- A condutividade hidráulica varia de 1,18 a 8,64 m/d com índices DRASTIC com valores 1 para valores menores que 4,1 m/d e 2 para valores entre 4,1 e 12,2 m/d;

- A vulnerabilidade é baixa na maior parte da área, excetuando-se a sudeste (Jordão Baixo e Montes Guararapes) onde a vulnerabilidade é intermediária;

- Observa-se que a maioria das empresas que comercializam água por meio de carro pipa está instalada onde a vulnerabilidade do aquífero é moderada.

10 - RECOMENDAÇÕES

- Fiscalização das empresas de comercialização de água pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) e Vigilância Sanitária;

- Programa de saneamento básico para todo bairro de Ibura e Jordão;

- Programa de educação ambiental para os moradores dos bairros;

- Monitoramento físico-químico das águas dos poços existentes nas empresas de comercialização de água potável, principalmente onde o aquífero possui vulnerabilidade moderada.

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J., 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U. S. EPA report 600/Z, 85/018;

ARAÚJO FILHO, J.C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R. E; LEITE A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C., 2000. Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco. Recife: EMPRAPA Solos – UEP Recife; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 252 p, EMBRAPA Solos, Boletim de Pesquisa, 11, 1 CD-ROM;

CABRAL, J. S. P.; LOBO FERREIRA, J. P. C; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA, W. D. (organizadores), 2004. Água Subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos, Vol.4, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE;

COSTA, W. D. (coordenador), 2002. Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes – Projeto HIDROREC II. Secretaria de Recursos Hídricos, Governo do Estado de Pernambuco/ANA, Proágua, Recife, PE;

FOSTER, S. S. D; HIRATA, R. C. A, 1993. Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: um método baseado em dados existentes. Instituto Geológico, P. il., Boletim, 10, São Paulo, SP;

FOSTER, S.; HIRATA, R., 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data. CEPIS/PAHO Technical Report, Lima, Peru;

LIMA FILHO, M. F.; DEMÉTRIO, J. G. A.; MELO, N. A.; OLIVEIRA, L. T., 2005. Estudo da Vulnerabilidade e Proposta de Proteção de Aquíferos da Faixa Costeira Norte de Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE;

MONTEIRO, A. B.; COSTA, W. D.; LIMA FILHO, M.; BARBOSA, D. L., 2002. Hidrogeologia e Gestão do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Florianópolis, SC;

MONTEIRO, A. B.; CABRAL, J. J. S. P.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P. K. C., 2003. Vulnerabilidade e Distribuição Espacial dos Nitratos no Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Curitiba, PR;

MONTEIRO, A. B.; BARBOSA, D. L.; CABRAL, J. J. S. P.; TORRES FILHO, C. O., 2004. Hidroquímica do Aquífero Barreiras no Bairro de Jordão - Recife – PE, XIII. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Cuiabá, MT.