

CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CAUSADO PELA DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ATERRO MUNICIPAL DA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA – BA

Cristovaldo Bispo dos Santos¹; Luiz Rogério Bastos Leal¹;
Joana Angélica Guimarães da Luz¹ & José de Castro Mello¹

Resumo - Este trabalho tem como objetivos caracterizar o impacto ambiental na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição de resíduos sólidos urbanos, na área do aterro municipal da cidade de Feira de Santana – Bahia. Construído numa antiga cava de pedra, sobre o aquífero fissural do município, o aterro foi operado como “Lixão”, sem qualquer técnica de engenharia e/ou cuidado com o meio ambiente. Atualmente, o depósito recebe cerca de 500 toneladas por dia de variados tipos de resíduos. A locação e perfuração dos poços de monitoramento, seguiu a orientação dos resultados das investigações geofísicas e das informações geológicas. Foram perfurados 08 poços de monitoramento, sendo 04 poços com 60 metros de profundidade, que tem o objetivo de monitorar a zona saturada e 04 poços com profundidade média de 10 metros, com o objetivo de monitorar a zona de rocha alterada. Foram obtidos valores baixos dos metais pesados no chorume (chumbo, cobre, mercúrio, cromo, cádmio), inferiores a 0,1 mg/l. Com base nas altas concentrações obtidas para a maioria dos elementos analisados nas águas subterrâneas da área do aterro (ex: Ca, Mg, Na, K, Fe e Mn), bem como pelos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (ex: DBO, DQO, OD), constatou-se que estas águas tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do lixo disposto no local.

Abstract - The objective of this study was to evaluate the environmental impact on the groundwater quality from the solid waste disposal, The study was carried out in the municipal landfill in Feira de Santana – Bahia, the area is located over a fissural aquifer, characterized by crystalline rocks. A well monitoring system was created to characterize the impacts on the groundwater quality, the location of the monitoring wells were made after a careful geological and

¹ Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente NEHMA - Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia – Rua Barão de Geremoabo, S/N – Federação, Salvador, Bahia –Tel: (71) 203-8637 – e-mail:lrogerio@ufba.br

geophysical investigation. A total of 8 monitoring wells were built, 4 of them with an average depth of 60m, and the remaining 4 with 10m, the main objective of these two sets of wells were monitoring the saturated zone (aquifer) and unsaturated zone (soil). The results for heavy metals (Lead, Copper, Mercury, Chromium, Cadmium) showed low concentrations less than 0,1 mg/l. By looking at the high concentrations for the majority of the elements analyzed (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn), as well as the organic contamination indicators, such as DBO, DQO, OD, it can be concluded that the groundwater in the landfill area presented its composition altered by the depletion of the materials from the local waste, what can also be observed by the high values obtained for electric conductivity, chlorides, total dissolved solids, bicarbonate and sulfate.

Palavras-Chave – Contaminação de aquíferos; aquíferos fissurais.

INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização do Brasil, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis e/ou descartáveis, bem como a estabilidade econômica verificada nos últimos anos, vem provocando sensível aumento do volume e diversificação da composição dos resíduos gerados nos centros urbanos, ampliando a necessidade de novas tecnologias para o tratamento e áreas para a disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Atualmente as administrações municipais e a sociedade em geral, têm como um dos desafios a busca de alternativas e soluções para os problemas causados pela geração do lixo municipal. Neste contexto as ações promovidas pelas municipalidades nos sistemas de coleta, transporte, tratamento e destinação final, devem levar em conta critérios sanitários, ambientais e econômicos, de forma a promover a sustentabilidade das cidades. Pesquisa publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE -2001), revelou que nas cidades brasileiras são geradas diariamente cerca de 125.281 toneladas de resíduos domiciliares. Deste total, aproximadamente 70% são depositados em lixões e áreas alagadas, provocando sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente, tais como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

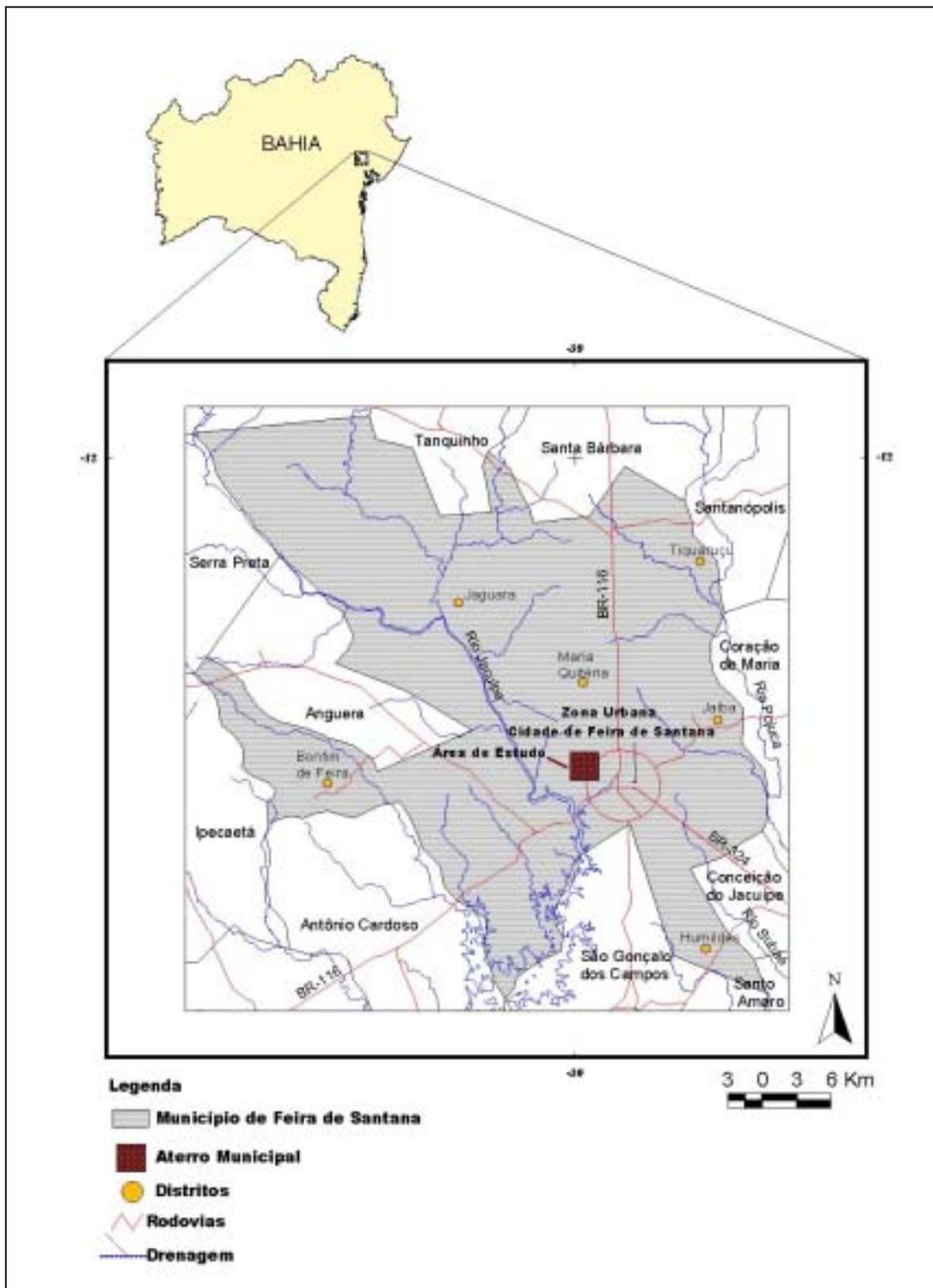
Dados do Governo do Estado da Bahia, produzidos pela Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional (CAR) e Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia (CONDER) revelam que cada habitante das cidades de médio e grande porte da Bahia produz cerca de 1,2 quilos de lixo a cada dia (Secretaria de Desenvolvimento Urbano –Salvador, Bahia, 2003). Esse número deve aumentar, pois há dez anos atrás, a população da região metropolitana de Salvador (RMS), era formada por cerca de 2,6 milhões de habitantes que produziam 3.156 toneladas de lixo/dia. A previsão é que até o final do ano 2005, essa população chegue a quase quatro milhões de habitantes,

triplicando a sua produção de lixo, e, conseqüentemente, os problemas que advêm da sua destinação final inadequada.

A disposição final inadequada dos RSU, causa, dentre outros problemas, a contaminação do solo, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da degradação de ecossistemas aquáticos e terrestres, com conseqüente redução da qualidade de vida dos aglomerados urbanos (D'Almeida & Vilhena, 2000). A contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em áreas de disposição de RSU é causada principalmente pelo líquido percolado dos aterros (chorume), que é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, formado pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica e por elementos presentes nos RSU.

A produção de chorume em aterros de RSU, resulta na contaminação do solo local e principalmente dos recursos hídricos. O chorume é um dos vários fatores de risco para o meio ambiente uma vez que apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como consideráveis quantidades de metais pesados, sendo que sua geração pode levar mais de 20 anos após o encerramento das atividades de disposição final, ao passo que os processos de autodepuração de um aquífero contaminado por chorume de aterros de RSU pode levar dezenas de anos (Campbell 1993; Daniel, 1993).

Este trabalho tem como objetivos caracterizar o impacto ambiental na qualidade das águas subterrâneas, gerado pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, na área do aterro municipal do município de Feira de Santana – Bahia (Figura 1).



(Fonte: Superintendência de Recursos Hídrico – SRH,
 (Plano Estadual de Recursos Hídrico –Bahia, 2003)

Figura 1 - Mapa de Localização da Área Estudada

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Aspectos geológicos regionais

O substrato geológico da região estudada é caracterizado por apresentar litotipos que compõem o embasamento cristalino de idade Paleoproterozóica e as coberturas sedimentares terció-quaternárias (Barbosa & Dominguez 1996). As rochas que compõem o embasamento cristalino são representadas por unidades litoestratigráficas do Bloco Jequié e Cinturão Móvel Salvador-Curaçá.

O Bloco Jequié, posicionado a oeste da área estudada, é constituído por gnaisses enderbíticos, charno-enderbíticos e chnockitos calcialcalinos de alto potássio e ortognaisses granulitizados com raras supracrustais e migmatitos granulíticos, além de migmatitos com supracrustais de idade Arqueana. Já as rochas do Cinturão Móvel Salvador-Curaçá (Complexo Caraíba), na área do município de Feira de Santana, são caracterizadas por gnaisses de composição tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica (TTG) da fácies granulito, com idades variando do Arqueano ao Paleoproterozóico. Ocorrem também ortognaisses da fácies anfíbolito, por vezes migmatizados e sienitos a anfíbólio e biotita e raro sienito a oligoclásio de idade Paleoproterozóica (Barbosa & Dominguez 1996). As feições estruturais observadas no embasamento cristalino são representadas por falhamentos e fraturamentos regionais e com direção predominantemente N-S, E-W e N60E (Bispo 2004).

Em contato discordante com as rochas do embasamento afloram na região as Cobertura Sedimentar de idade Tércio-Quaternária (Grupo Barreiras). Regionalmente, estes sedimentos continentais são formados por material clástico, compostos por argilas e areias avermelhadas apresentando níveis conglomeráticos basais, pouco consolidado, com matriz arenosa e algumas vezes ferruginosa.

Caracterização geológica da área do aterro.

O mapeamento geológico de detalhe da região do aterro foi realizado com base em fotografias aéreas na escala 1:8.000 e trabalhos de campo. Através das atividades de fotointerpretação e dos trabalhos de campo foi possível a caracterização dos principais tipos litológicos da área estudada e dos sistemas de fraturamentos da região.

A geologia da área onde está posicionado o aterro municipal é representado por rochas que compõem o Complexo Caraíba (CC) e sedimentos do Grupo Barreiras (GB). As rochas do embasamento cristalino são representadas por tipos litológicos formados por chnockitos, enderbitos, ortognaisses granulitizados e ortognaisses do fácies anfíbolito. Estas rochas compõem o substrato rochoso no qual o depósito de lixo foi implantado no ano de 1989, a partir do aproveitamento de uma antiga cava de pedra (Figura 2).

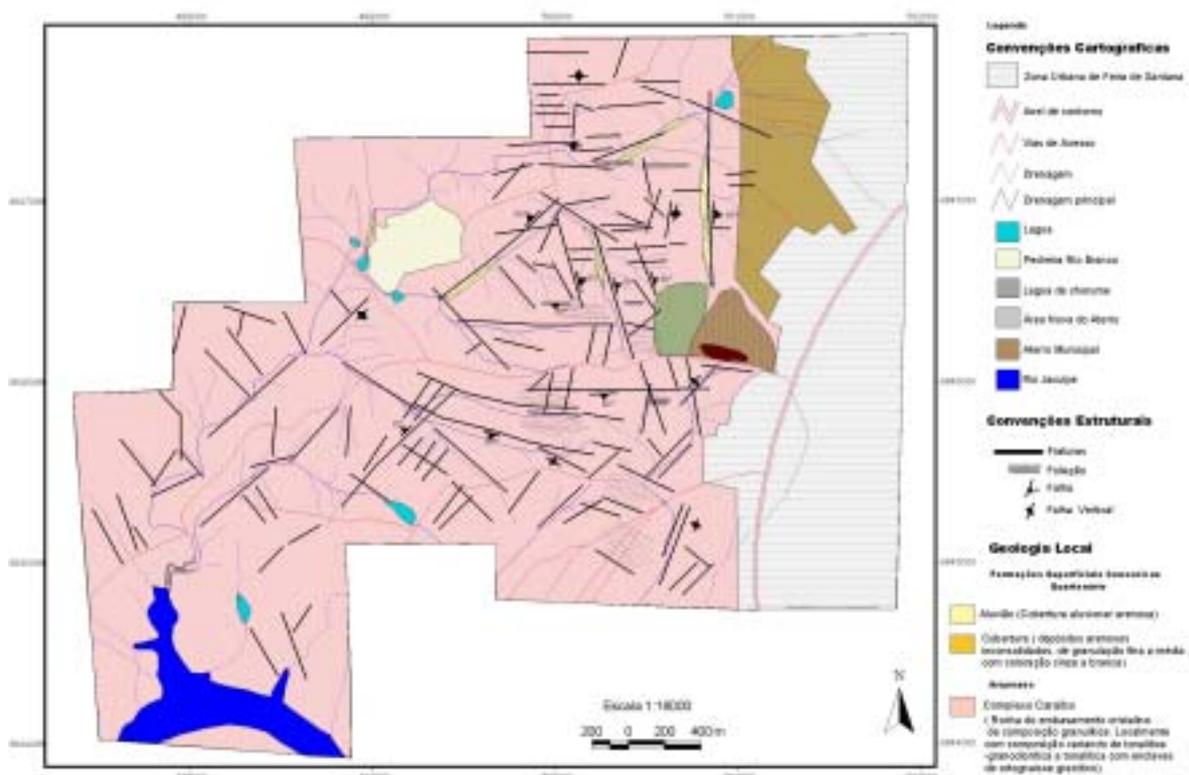


Figura 2- Mapa geológico da região do Aterro municipal de Feira de Santana, Bahia

Na porção leste do aterro as rochas de embasamento apresenta-se alteradas, revelando aspecto arenoso, com grãos de quartzo de diferentes granulometrias e predominantemente angulosos. São observadas também microfaturas preenchidas por caulim, resultante da dissolução do feldspato.

Os lineamentos estruturais da área estudada apresentam direção principal E-W e moderada densidade. São representados por três sistemas de fraturamentos predominantes: o primeiro sistema principal com direção variando de N-S, N30°E e N20°W, com mergulho sub-vertical ora para leste ora para oeste; um secundário longitudinal aos primeiros, com direção variando de E-W a N60W, com mergulho sub-vertical para oeste, e finalmente ocorre uma terceira direção de fraturamento diagonal aos lineamentos com direção N70°E, com mergulho para SE.

As coberturas Tércio-quadernárias presentes na região do aterro apresenta-se na forma de manchas disformes. São depósitos essencialmente arenosos inconsolidados, mal selecionados, de granulção fina a média e subarredondados, podendo ser localmente areno-argilosos. Possuem coloração cinza a branca, com aproximadamente 1,5 m de espessura, constituído no topo por níveis arenosos e na base por sedimentos arenosos – conglomeráticos.

Nas principais drenagens nas porções norte e sul do aterro ocorrem coberturas aluvionares. Estes depósitos apresentam alta porosidade e permeabilidade, possibilitando a percolação rápida de

fluidos. Destaca-se que nestes locais, foram observados exudações de chorume do aterro no leito das drenagens dos riachos.

LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS PARA LOCAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

Após o desenvolvimento das investigações geomorfológicas, fotogeológicas, geológicas-estruturais, e tendo como objetivo a caracterização detalhada da estrutura dos fraturamento da área, foram realizados estudos geofísicos eletromagnéticos VLF (Very Low Frequency). Para esta atividade foram realizados 8,1 Km de caminhamento geofísico, distribuídos em 23 perfis. A Figura-3 ilustra o comportamento de uma das fraturas investigadas e o posicionamento da locação do poço.

A partir deste trabalho de investigação geofísica foram locados e perfurados 4 poços de monitoramento com profundidade de 60 metros e 10 poços de metros. Estes poços interceptaram os fraturamentos em diferentes profundidades e apresentaram vazões médias variando entre 1-3 m³/hora.

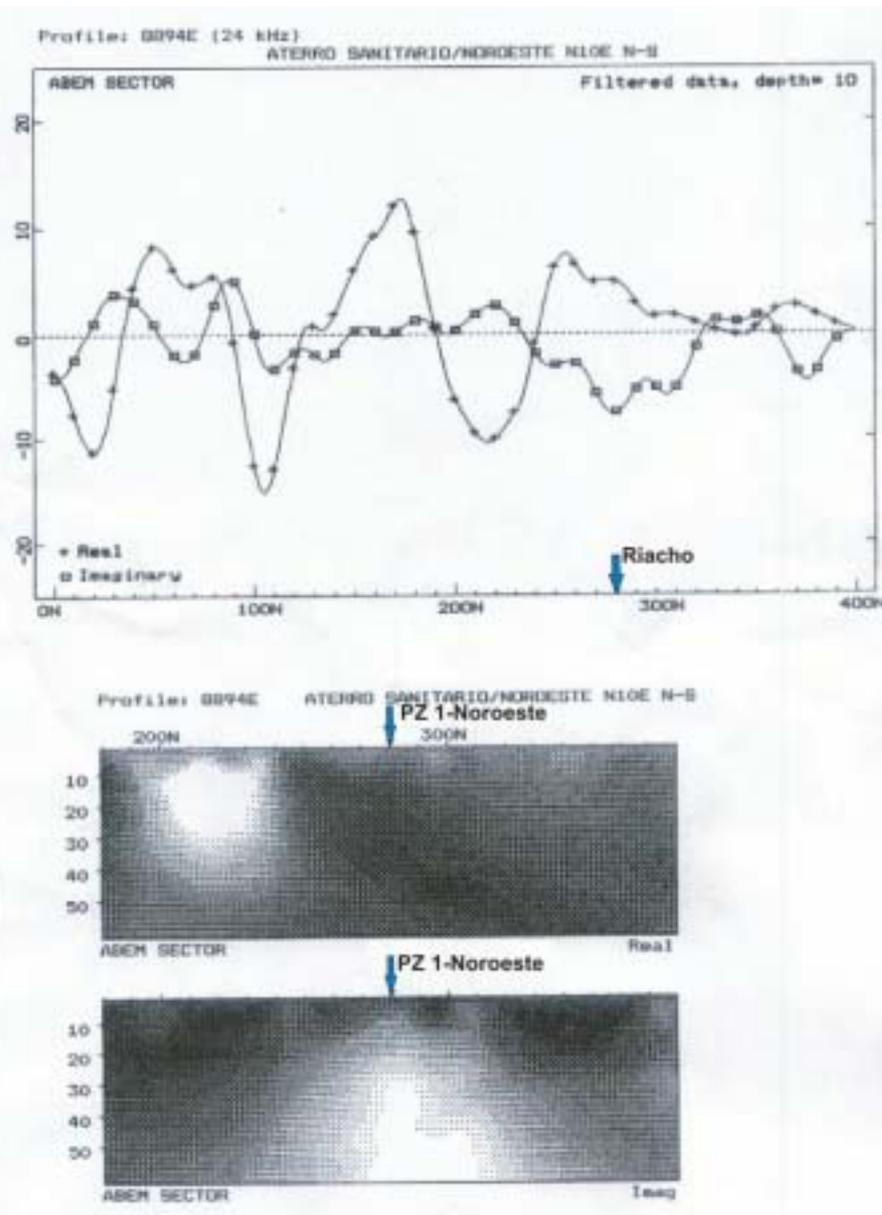


Figura 3 - Perfil geofísico VLF representativo da localização dos poços de monitoramento (Poço PZ1-Noroeste)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos 27 parâmetros analisados nos poços de monitoramento, apenas o nitrito, cromo total e mercúrio apresentam concentrações abaixo dos valores máximo permitidos (VMPs) estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde e pela resolução do CONAMA 20/86 para rios classe-2. Destaca-se neste contexto, os altos valores obtidos para condutividade, cloreto, sódio, magnésio, sólidos totais, bicarbonatos e DBO. Por outro lado, no caso do grupo dos metais pesados, apenas o chumbo e ferro apresentam valores significativamente elevados.

Através do diagrama de Piper (Figuras 4), pode-se evidenciar que as águas subterrâneas menos mineralizadas, amostradas em áreas próximas do aterro e sem a interferência do mesmo, (cisternas do bairro Caraibinha e poço da Volvo), foram classificadas como cloretadas sódicas com baixo teor de magnésio. Já as amostras de água dos poços de monitoramento do aterro também são classificadas como cloretadas sódicas. Entretanto, observa-se nos diagramas um aumento nas concentrações de bicarbonato e magnésio nestas águas, além de uma amostra que situou-se no campo das águas cloretadas magnesiana (PZ1-oeste), outra no campo das águas bicarbonatadas sódicas (PM-NS-1 sul), para a amostragem no período das chuvas, e uma amostra situada no campo das águas cloretadas magnesianas (poço PZ1-noroeste) para a amostragem realizada no período do verão.

De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas da região do aterro municipal de Feira de Santana apresentam altas concentrações de Na, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- e NH_4^+ e menores valores de K e NO_3^- , quando comparados com as águas coletadas nas cisternas do Bairro de Caraibinha e no poço da Concessionária Volvo, situados a montante da área do aterro municipal. É notável também a ocorrência de valores mais elevados de DBO, DQO e sólidos totais nas amostras dos poços de monitoramento do aterro (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Resultados analíticos para amostras de água subterrânea da área do aterro municipal de Feira de Santana.

Parâmetros	PZ1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Norooeste	PZ1 Oeste	CONAMA 20/86	Portaria 1469 /2000	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte
	Alcalinidade	1905	1383	419	455,1	200	500	1948	1905	1303
Coliformes Fecais	0	0	0	0	1000	0	0	400	0	0
Coliformes Totais	0	0	0	0	5000	0	0	900	100	0
Condutividade	11640	11450	9570	12710	200	500	12560	8570	8950	2810
D.B.O	212,4	125,8	15,5	49,3	5	1,5	191,5	76,9	103,7	22,7
D.Q.O	*	*	*	*			*	*	*	87
O. D	6,8	6,55	6,6	6,8	5	5	6,7	6,7	6,6	6,4
PH	7,4	7	7,3	7	9	8	7,2	7,6	7,5	7,5
Sólidos Totais	7318	6364	6904	8020	500	1000	8624	5150	5294	1604
Temperatura	24,1	24,4	24,5	24,5			23,9	24,5	24,3	24,4
Cádmio	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,001	0,005	<0,005	< 0,005	< 0,005	<0,005
Chumbo	0,14	0,05	0,04	0,05	0,03	0,01	0,15	0,08	0,09	0,066
Cobre	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	2	0,01	0,01	0,01	0,01
Cromo Total	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,55	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro Total	0,17	0,34	0,02	0,07	0,03	0,3	0,7	0,15	0,32	0,05
Manganês	1,14	1,12	0,07	0,08	0,1	0,1	2,08	4,23	1,09	0,07
Mercúrio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cálcio	196	330	3,2	176	100	100	208	128	216	120
Magnésio	573,4	356,2	1,71	1088	30		554	378,2	253,8	46,4
Potássio	12,3	9,8	2,56	3,25	10		11,8	6,55	56,7	2,3
Sódio	1564	1425	1212	1287	200	200	1664	1492	1289	354
Bicarbonatos	1905	1383	419	455,1	200	500	1948	1905	1303	300,7
Cloretos	3401	2894	2995	4163	250	250	3807	1929	2652	609,2
Amônia	2	2,5	2,9	4,5	0,02	1,5	1	2,4	12,1	0,27
Nitrato	0,02	1,9	7,8	9,9	10	10	0,06	91,8	6,49	22,1
Nitrito	0,01	0,05	0,06	0,06	1	1	0,01	0,37	0,01	0,01
Sulfato	22,3	210,4	130,9	71,3	250	250	21,9	338,9	240,3	64,9

Observações: Amostragem no período com chuvas (inverno). Todos os valores em mg/l, exceto condutividade que é expresso em microhos por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura que é medida em graus Celcius (°C);

Tabela 2 - Resultados analíticos para amostras de água subterrânea da área do aterro municipal de Feira de Santana

Parâmetros	Z1 Sul	PZ1 Norte	PZ1 Noroeste	PZ1 Oeste	CONAMA 20/86	Portaria 1469 /2000	PM-NS 1 Sul	PM-NS 1 Norte	PM-NS 2 Norte	PM-NS 3 Norte	Período Seco - Novembro de 2002			Feveiro de 2004
											Água Cisterna Salobra	Água Cisterna Doce	Poço Volvo	Poço Volvo
Alcalinidade	1660	1360	461	490	200	500	1520	1290	846	870	63,5	1,9	17,3	21,7
Coliformes Fecais	< 1	< 1	<1	<1	1000	0	<1	160	<1	5	2300	1300	0	8
Coliformes Totais	4	10	7	5	5000	0	<1	2400	14	1400	2800	1700	300	120
Condutividade	12350	10390	10380	9150	200	500	11440	6900	9700	7950	3720	697	1715	734
D.B.O	24,9	8,6	5,5	7,7	5	1,5	14,1	30	6,2	23	5,1	6,7	6,4	7,5
D.Q.O	62	24	13	23			32	94	21	80	107	86	96	17
O. D	3,12	3,72	5,13	1,51	5	5	0,4	1,41	1,36	1,56	6,3	6,5	8	8,25
PH	*	*	*	*	9	8	*	*	*	*	6,8	4,6	5,5	*
Sólidos Totais	8880	6730	8500	6620	500	1000	8246	4750	7200	5140	2522	566	1394	750
Temperatura	29,6	29,6	28,8	28,9			30,2	28,6	28,8	29				28,3
Cádmio	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,005	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,00
Chumbo	0,005	0,006	0,017	ND	0,03	0,01	0,017	0,009	0,014	0,014	0,24	0,03	0,04	0,007
Cobre	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	2	0,06	0,11	0,07	0,09	0,05	0,05	0,08	0,01
Cromo Total	0,01	0,02	0,02	0,02	0,55	0,05	0,02	0,01	0,02	< 0,01	< 0,05	< 0,05	0,03	< 0,01
Ferro Total	0,39	0,14	0,4	0,49	0,03	0,3	0,12	0,37	0,29	0,81	0,05	0,15	5,6	0,2
Manganês	1,1	1,3	0,6	0,06	0,1	0,1	1,3	2,6	1,5	1,1	0,05	0,05	0,21	0,06
Mercúrio	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,002	0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,001	0,005	0,005	< 0,005
Cálcio	173	218	308	227	100	100	343	72	195	97	58,4	14	17,3	5,2
Magnésio	270	366	726	434	30		536	183	341	191	56,6	20,4	27,6	0,21
Potássio	6,5	17	23	3	10		13	1,1	17	6,7	10	3,26	6,72	5,5
Sódio	829	1704	804	1210	200	200	1580	1452	1561	1283	694	79,9	320	127
Bicarbonatos	1660	1210	385	418	200	500	1480	1220	670	787	63,5	1,9	17,3	21,7
Cloretos	3660	3150	3520	3190	250	250	3416	1400	3100	2363	1341	161,9	596	397
Amônia	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	1,5	< 0,02	< 0,02	0,1	< 0,02	0,35	0,17	0,3	< 0,02
Nitrato	0,8	0,6	0,9	21	10	10	0,6	140	1,4	4,3	73,2	19,2	6,2	1,2
Nitrito	< 0,01	0,03	0,04	0,02	1	1	< 0,01	0,08	0,1	0,22	0,01	0,01	0,01	< 0,01
Sulfato	< 7	315	294	102	250	250	< 7	< 7	178	178	5,3	25,5	10,8	11,5

Observações: Todos os valores em mg/l, exceto condutividade que é expresso em microhos por centímetros, pH que não tem unidade e temperatura que é medida em graus Celcius (°C);
(< abaixo do limite de detecção do método)

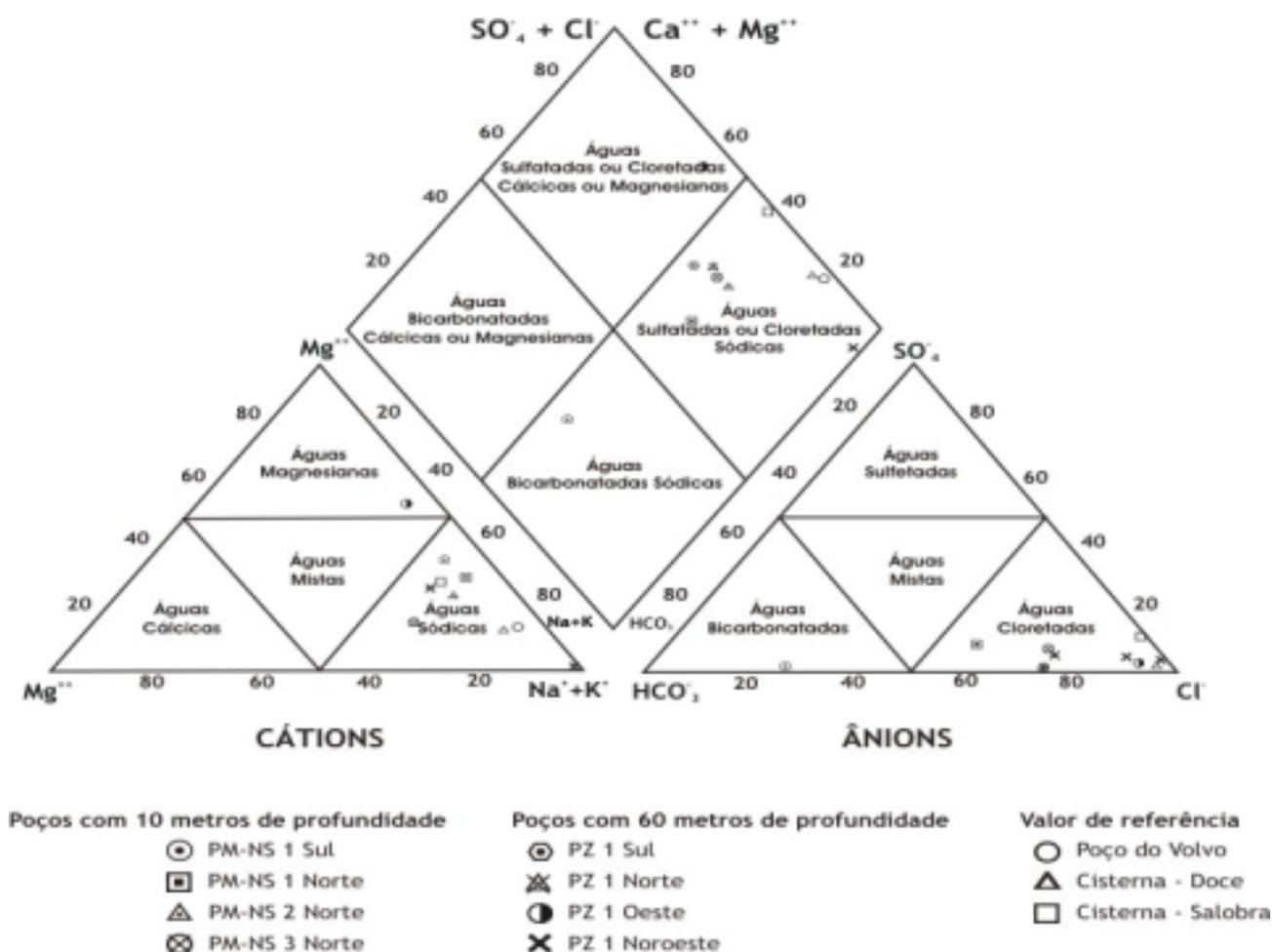


Figura 4 - Classificação hidroquímica das águas subterrâneas do aquífero fissural da área do aterro municipal de Feira de Santana

A comparação dos resultados da amostragem realizadas no inverno e no verão, revelam em geral não haver variações significativas no padrão geral de concentrações dos parâmetros analisados. Nota-se porém, que as concentrações de DBO na primeira amostragem são maiores em todos os poços e que as concentrações do nitrato se alteram principalmente nos poços PZ 1 sul e PZ 1 oeste, enquanto os valores de oxigênio dissolvido são menores no período de baixa precipitação (Figura 5).

As altas concentrações de oxigênio dissolvido obtido na amostragem do período chuvoso se deve possivelmente ao ingresso no aquífero de águas mais oxidadas na época de maior precipitação, bem como ao fato dos poços terem sido limpos na véspera da amostragem com compressor de ar comprimido. Já as análises das amostras coletadas no período de baixa precipitação, revelou valores de OD inferiores àqueles obtidos para o poço da Volvo, sugerindo a interferência do aterro na qualidade das águas subterrâneas na área a jusante do aterro municipal. Observa-se também, que os valores de DBO em todos os poços amostrados apresentam concentrações acima daqueles obtidos

para o poço da Volvo e dos limites para rios classe 2 estabelecidos pela resolução 20/86 do CONAMA. Também têm-se concentrações elevadas de NH_4^+ no poço PZ1 oeste.

Na figura 5 observa-se um comportamento muito regular da distribuição dos elementos (Ca, Mg, Na, K e Mn) para a amostragem no período de altas e baixas precipitações na região, bem como valores mais elevados de suas concentrações, quando comparados com aqueles obtidos para o poço da Volvo, com exceção do Ca e Mg do poço PZ1-Noroeste que apresentou menores concentrações no período chuvoso. Estes dados sugerem que, a exemplo dos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (DBO, DQO, OD), que as águas subterrâneas da área do aterro municipal tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do aterro. Tal alteração é marcada também pelos altos valores obtidos para a condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e sulfato.

Em relação aos metais pesados nota-se que houve variação das concentrações do chumbo e do ferro, principalmente nos poços PZ-1 Sul e Norte. Entre a primeira e segunda amostragem, praticamente não houve mudanças nas concentrações do cloreto, condutividade elétrica sódio e sólidos totais dissolvidos.

Na Figura 6, são apresentados os diagramas de comparação dos resultados obtidos a partir das análises das amostras de águas no poços com 10 metros de profundidade, e os valores obtidos nas cisternas do Bairro Caraibinha e os valores estabelecidos para rios classe 2 pela resolução 20/86 do CONAMA.

O padrão observado para os parâmetros indicadores de contaminação orgânica, revela maiores concentrações de DBO, tanto na estação seca como chuvosa, e menores de oxigênio dissolvido na estação seca, quando comparados com os dados da cisterna e estabelecidos pela resolução CONAMA citada. Já as concentrações de nitrato e DQO apresentaram maior espectro de variação entre os poços e valores menores que os padrões de comparação, com exceção do poço PM NS-1 norte, que está posicionado mais próximo do aterro. Têm-se também valores elevados de NH_4^+ para PM NS 1 Norte e PM NS 3 Norte, além das águas das cisternas do Bairro de Caraibinha (Figura 6).

No caso dos elementos Ca, Mg, Mn e Na, observa-se que possuem teores superiores àqueles obtidos para as amostras das cisternas e os estabelecidos para rios classe-2. Este comportamento também é observado para os parâmetros cloreto, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, além de bicarbonatos. Tais características sugerem que as águas subterrâneas presentes na zona de rochas altera da área do aterro municipal sofreu modificações em sua composição química, devido a lixiviação de compostos dos resíduos sólidos dispostos no local.

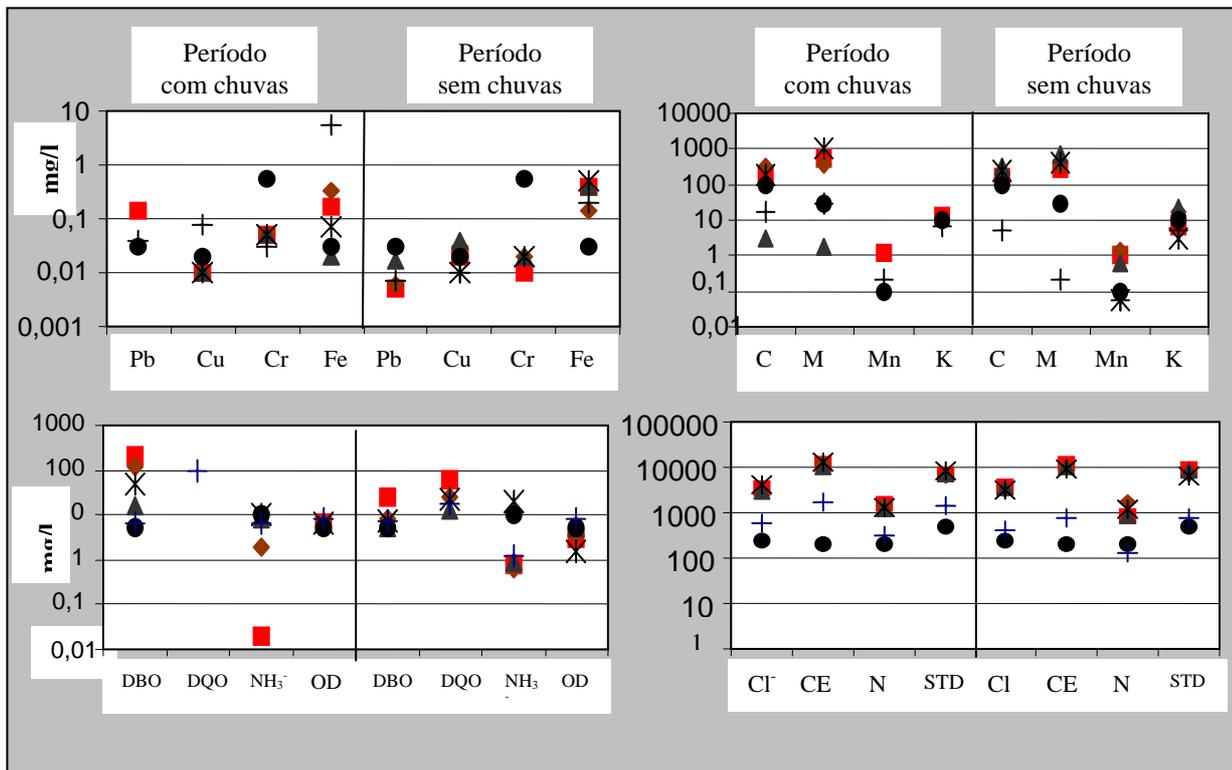


Figura 5 – Variação da composição das águas dos poços de 60 metros nos períodos com chuva e sem chuvas.
 X PZ 1 - Oeste ▲ PZ 1 - Noroeste ◆ PZ 1 - Norte ■ PZ 1 - Sul + Poço da Volvo ● CONAMA -Rios calsse 2

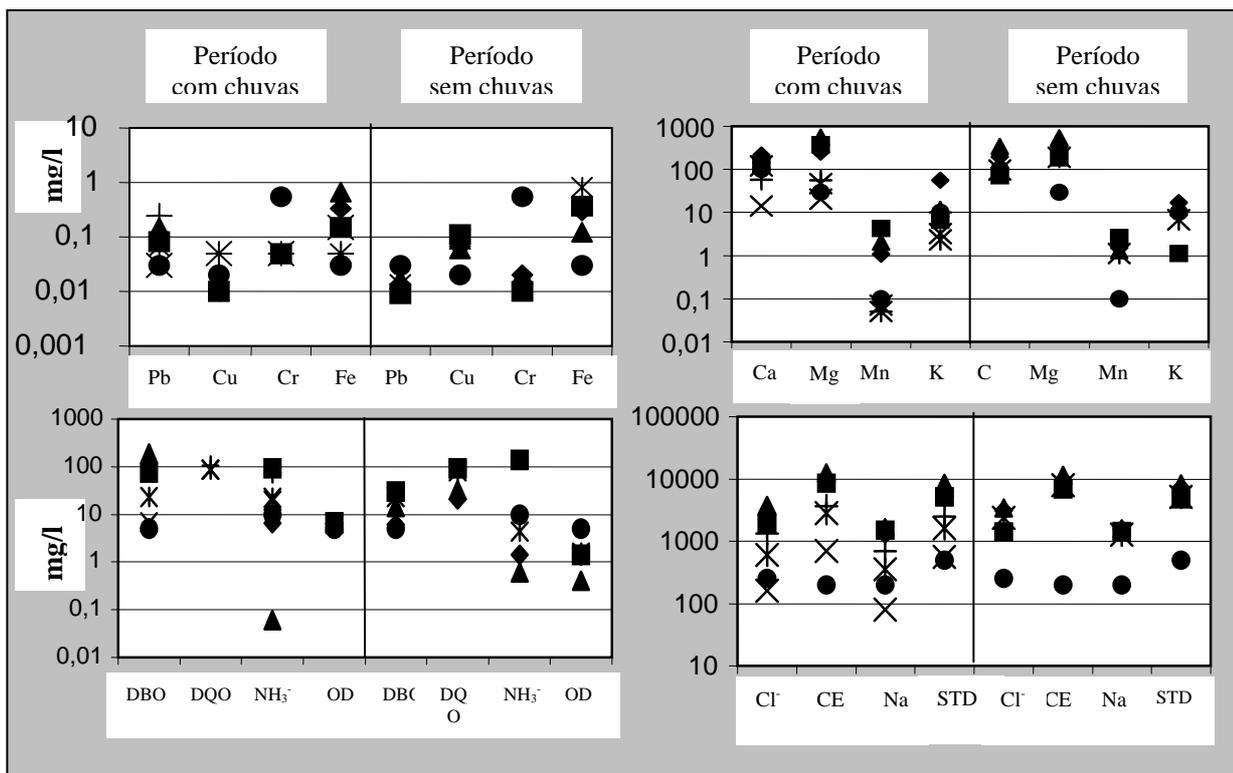


Figura 6 – Variação da composição das águas dos poços de 10 metros nos períodos com chuva e sem chuvas.
 ▲ PM-NS 1 - Sul ■ PM-NS 1 - Norte X PM-NS 3 - Norte ◆ PM-NS 2 - Norte ● CONAMA -Rios calsse 2
 X Água Cisterna (doce) + água Cisterna (salobra)

É notável também que a água salobra da cisterna do bairro de Caraibinha, apresenta valores de Ca, Na, K, Mg, condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos ligeiramente superiores àqueles obtidos para a outra amostra de cisterna e o padrão do CONAMA em questão. Assim, há indícios de que a cisterna de água salobra do bairro de Caraibinha esteja sujeita a contaminação da água por atividades humanas. Esta afirmativa é reforçada também pelos altos valores de coliformes fecais e totais, além do nitrato obtido para esta cisterna (ver tabela 2).

No caso dos metais pesados, destaca-se que a ocorrência de valores elevados principalmente para o cobre e ferro em todos os poços, enquanto os teores de chumbo, cromo e mercúrio revelaram concentrações normais para a região (Figura 6). As altas concentrações de ferro obtidas nestes poços possivelmente estão associadas a dissolução desse ion a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

A comparação entre as concentrações obtidas nos poços de monitoramento com 60 e 10 metros de profundidade, localizados nas porções Norte e Sul do aterro. Nestes poços são observados as maiores concentrações dos elementos e parâmetros indicadores da contaminação das águas subterrâneas pelo aterro municipal. Os resultados da primeira e segunda amostragem, revela que, em geral, não há variações significativas nas concentrações dos elementos analisados nas amostras dos poços de 60 e 10 metros de profundidade.

A série nitrogenada (amônia, nitrato e nitrito), está presente principalmente na porção norte, em especial nos poços com 10 metros de profundidade (rocha alterada) que apresentaram concentrações elevadas nas duas amostragem. Observa-se que há predominância de maiores valores elevados de OD e DBO nos poços de 60 metros quando comparados com os de 10 metros, enquanto o nitrato apresenta comportamento inverso. No caso do Ca, Mg, Na e Cl⁻, as concentrações são ligeiramente superiores nos poços de 60 metros. Tais características estão associadas a maior circulação da água na zona saturada do aquífero em comparação com a zona de rocha alterada e a maior interação entre estes elementos e o solo na zona não-saturada.

CONCLUSÕES

O aterro municipal foi implantado muito próximo a zona urbana, em área de rochas fraturadas do embasamento cristalino, sobre o aquífero fissural e não contou com a indispensável impermeabilização de base, usada para reter os líquidos percolados e conseqüentemente impedir a contaminação das águas subterrâneas da região.

A partir dos estudos fotogeológicos, geológicos e geofísicos foi possível a definição das principais direções dos fraturamentos das rochas na área do aterro. Os resultados obtidos permitiram definir com precisão as locações dos poços de monitoramento, revelando que a

utilização desse método geofísico (VLF) para a locação de poços, seja para monitoramento ou para a capacitação de águas em terrenos cristalino é confiável.

Ficou demonstrado que há diferenças significativas nas características do chorume gerado em diferentes pontos do aterro. O conhecimento dessas diferenças se reflete na escolha da melhor forma de tratamento para esses líquidos, assim como a obtenção de novas informações sobre o comportamento dos processos de biodegradação do lixo presente na área. Os valores dos parâmetros analisados no chorume das diferentes porções do aterro revelaram concentrações diferente, sugerindo que o aterro encontra-se em diferentes fases de evolução da degradação da matéria orgânica. Estas análises revelaram em todos os pontos analisados maiores teores de DBO, DQO, cloreto, NH_4^+ , HCO_3^- , Ca, Mg, Na, Fe, Mn e sólidos totais. Os valores dos metais pesados no chorume (chumbo, cobre, mercúrio, cromo, cádmio) são baixos, com valores inferiores a 0,1 mg/l.

Com base nas altas concentrações obtidas para a maioria dos elementos analisados nas águas subterrâneas da área do aterro (ex: Ca, Mg, Na, K, Fe e Mn), bem como pelos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (ex: DBO, DQO, OD), pode-se concluir que as águas subterrâneas da área do aterro municipal tiveram sua composição alterada pela lixiviação de compostos provenientes do lixo disposto no local. Tal alteração é marcada também pelos altos valores obtidos para a condutividade elétrica, cloreto e sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e sulfato.

Os dados obtidos neste trabalho revelaram que as águas subterrâneas na área do aterro não foram contaminadas por metais pesados (ex: cádmio, chumbo e mercúrio). Este fato deve estar refletindo a baixa quantidade de resíduos industriais e / ou perigosos nos resíduos sólidos gerados no município e dispostos no aterro municipal.

Nota-se que nas porções noroeste e oeste do aterro, o impacto na qualidade das águas subterrâneas é menor, devido a estes poços terem sido instalados em posição mais afastada do aterro, além de posicionar-se em sistemas de fraturamentos secundários mais a jusante da zona impactada pelo aterro.

Não há variação significativa nas concentrações dos elementos analisados na água para a zona rocha alterada e a zona do aquífero fissural, confirmando que toda a zona saturada foi impactada pela lixiviação de compostos do aterro. Também não há variação entre os valores obtidos na época do inverno e verão, fato que reflete a baixa circulação da água subterrânea no aquífero da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.). **Geologia da Bahia**: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Salvador: superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996. 400 p.
- [2] SANTOS, C.B. **Caracterização do impacto na qualidade das água subterrâneas causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana, Bahia**. Instituto de Geociências, Univesidade Federal da Bahia, Dissertação de Mestrado, 2004, 125 p.
- [3] CAMPBELL, D. J. V. Environmental management of landfill sites. **Journal IWEM**, v. 7, p. 170-174. 1993.
- [4] D´ALMEIDA, M. L. O & VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.
- [5] DANIEL, D. E. (Ed.). **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, 1993. 683 p.
- [6] IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. [Rio de Janeiro], [2001].