

ESTABELECIMENTO DE PADRÕES GEOQUÍMICOS DE REFERÊNCIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

Reinaldo A. Petta¹,
Fabiane H. S. Costa¹,
Michael Meyer²,
Cynthia R. Duarte¹,
Nilton L. Silva²

1Depto Geologia UFRN - Pós-Graduação em Geociências UFRN, petta@geologia.ufrn.br

2Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen (Alemanha) m.meyer@rwth-aachen.de

RESUMO Este estudo tem a proposta de avaliação de parâmetros de background regional para diagnóstico físico-ambiental, e trabalha com a interação da quantificação geoquímica dos elementos presentes nos solos em áreas de influência de atividades de exploração de petróleo e os diversos aspectos físico-ambientais da área. A definição dos parâmetros básicos para se estabelecer o background natural da área e sua interação com os aspectos fisiográficos irá fornecer importantes parâmetros para o monitoramento ambiental e para o estabelecimento de medidas mitigadoras em caso de acidentes ambientais, pois passa a compor valores de referência em área do semi-árido. Foi desenvolvido um estudo baseado em mapeamento regional, onde amostras de solo foram coletadas em locais estratégicos da área e sobre as quais foram realizadas as seguintes análises: propriedades do solo, granulometria, análise química de elementos-traço, e difratometria de raios X. Os resultados da capacidade de troca catiônica, pH, matéria orgânica e concentração dos elementos-traços foram comparados com os padrões de referência de solos, previstos na legislação brasileira vigente. Todos os resultados obtidos neste estudo foram integrados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) composto por banco de dados, mapas, tabelas, sistema este que pode ser utilizado para modelar parâmetros regionais e subsidiar uma gestão ambiental na área de influência das atividades da Petrobrás.

Palavras-Chave: Geoquímica; background solos, sistema de informações geográficas petróleo.

ABSTRACT This study has the proposal to evaluate of parameters of regional background for physical-environmental diagnosis, and works with the interaction of the quantification geochemistry of the present elements in the soils in an area of influence of activities of oil exploration and the several physical-environmental aspects of the area. The definition of the basic parameters to establish the "natural background" of the area and its interaction with the physiographic aspects will supply important parameters for the environmental monitoring and for the establishment of reliever measures in case of environmental accidents, because it starts to compose reference values in area of the semi-arid. This study was developed based on regional mapping, where soil samples were collected at strategic places of the area and on which the following analyses were accomplished:

properties of the soil, granulometry, chemical analysis of trace element, and X ray diffractometry. The results of the capacity of cationic change, pH, organic matter and concentration of the trace element were compared with the patterns of reference of soils, foreseen in the current brazilian law. All the results obtained in this study were integrated in a Geographic Information System (GIS) composed by database, maps, tables and this system can be used to model regional parameters and to subsidize an environmental administration in the area of influence of Petrobrás activities.

Keywords: Geochemistry, soil background, geographic information system, oil exploration.

CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A Bacia Potiguar - área alvo da exploração de petróleo no Estado do Rio Grande do Norte - é uma região praticamente virgem, com uma taxa de ocupação humana extremamente baixa e com a maioria de seu espaço ambiental totalmente preservado. Nas duas últimas décadas, a Petrobrás aumentou consideravelmente suas atividades exploratórias nesta bacia, e dessa maneira houve uma expansão de toda infra-estrutura de exploração, aumentando consideravelmente o número de poços em terra, estrutura de transporte do óleo e/ou gás por dutos, a partir dos novos campos, além da instalação das lagoas de tratamento e locais de descarte de efluentes, estações de bombeamento e de tratamento, infra-estrutura (escritórios, galpões, garagens, almoxarifados, rede elétrica, hídrica, telefonia) e outras sub-estruturas.

Em áreas de atividades de exploração de petróleo, os efluentes sólidos, líquidos e emissões atmosféricas constituem as formas potenciais de contaminação do meio ambiente. Embora se preveja a devida atenção aos requisitos impostos pela legislação vigente, os organismos de monitoramento ambiental precisam de parâmetros de referência para a avaliação continuada do impacto causado pelo funcionamento dessa grande atividade em uma área, que no presente caso, exerce influência direta e/ou indireta em solos,

riachos e rios, lagos e lagoas, ambientes costeiros, incluindo flora e fauna, cidades, lugarejos e propriedades rurais próximas, rodovias, ferrovias e atividades industriais de menor porte.

Este estudo pretende caracterizar geoquimicamente o solo da região, nas áreas próximas de núcleos de exploração de petróleo, e ainda não impactadas de forma a fornecer uma série de padrões químico-ambientais em uma área do semi-árido onde poucos dados se têm disponível, e assim estabelecer padrões de background que servirão como referência em futuros casos de acidentes ambientais. Os objetivos deste trabalho podem ser separados em três focos principais: (i) Caracterização Geológica, Geomorfológica, Pedológica e da Vegetação; (ii) Caracterização Geoquímica de Solos; (iii) Elaboração de um Sistema de Informações Geográficas para gerenciar, monitorar e modelar os dados produzidos pelo projeto.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (Fig. 01), com dimensão aproximada de 38 Km². As principais cidades são Macau e Macauzinho, a qual dista de Natal/RN, por via rodoviária, cerca de 190 km. Os principais acessos à região são as BR-304 (Natal-Açu) e BR-406 (Natal-Macau); a área é relativamente bem servida de estradas secundárias e vicinais.

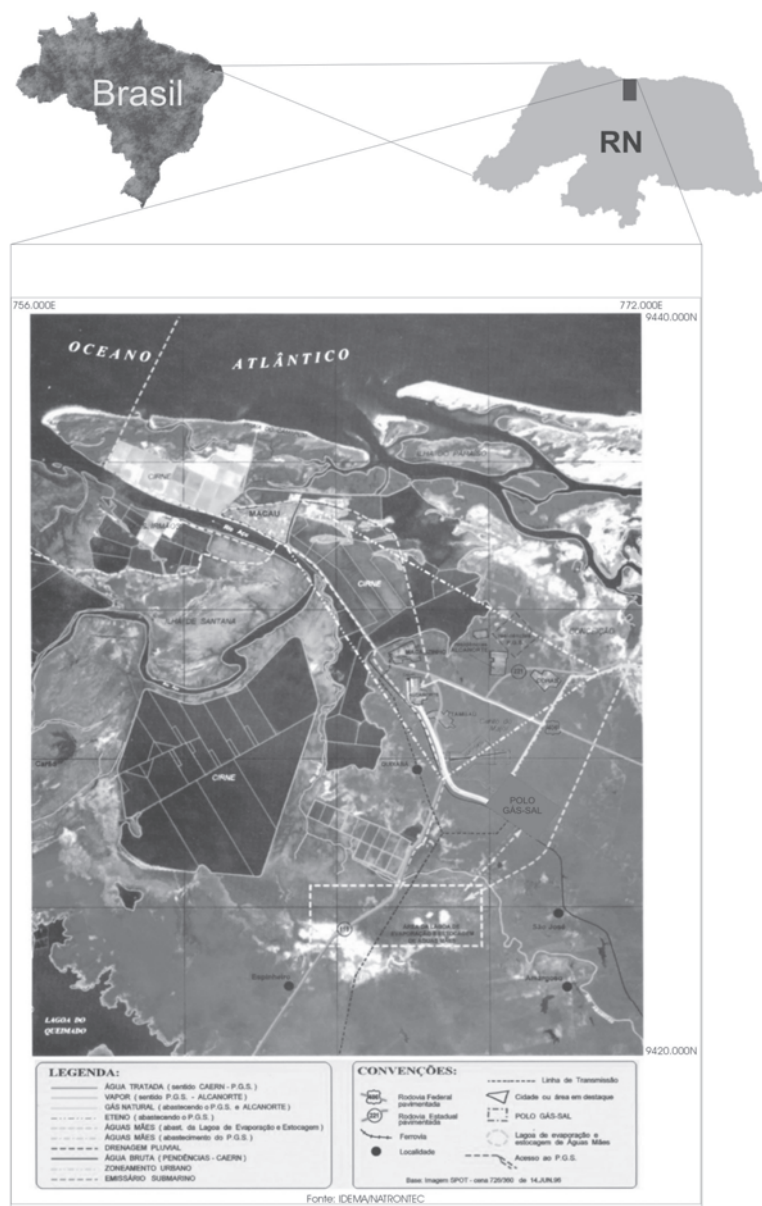


Figura 1 – Localização da área de estudo

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

A cobertura pedológica da área de estudo, descrita em SUDENE (1971 *apud* NATRONTEC, 1998), apresenta diferentes tipos e associações de solos, a saber:

O tipo **AMd** são solos cujo material original corresponde aos sedimentos arenosos de origem marinha e, pontualmente, estuarina, depositados pela ação dos ventos.

O tipo **SK1**, caracterizado por apresentar crostas superficiais de sais cristalinos nos períodos de seca, é encontrados em áreas baixas (várzeas) do litoral norte.

Os tipos **AQd6** e **LVe4** são compostos pela associação de três diferentes tipos de solos caracterizados por: (i) Areias Quartzosas Distróficas, (ii) Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, e (iii) Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico Latossólico.

A figura 2 apresenta o mapa dos tipos de solos existentes na área. O mapeamento pedológico foi baseado nos mapas da SUDENE (1971) e da NATRONTEC (1998) e atualizados sobre imagens SPOT de Agosto 2000. Foram realizadas atualizações em etapas de campo, e posteriormente, de posse das amostras de terreno, foram elaboradas classificações supervisionadas, pelo

método de máxima verossimilhança e do paralelepípedo, utilizando-se as imagens do satélite SPOT, e com posterior vetorização via tela de computador direto no ArcView® 3.2, da ESRI. Os softwares utilizados foram o ENVI®, ERMapper® 6.0 (composição colorida RGB, nas bandas 321 + 2) e geração de mapas de isolinhas no software Surfer®. O programa ArcView 3.2 foi escolhido para montagem do sistema de informação pela sua facilidade de interface gráfica com o usuário e outros aplicativos e por sua possibilidade de aplicação em multimídia, deixando carregar facilmente dados espaciais e tabulares, podendo exibir os dados como mapas, tabelas e gráficos simultaneamente. Posteriormente os dados foram migrados para a nova plataforma da ESRI, ARCGIS 9.0.

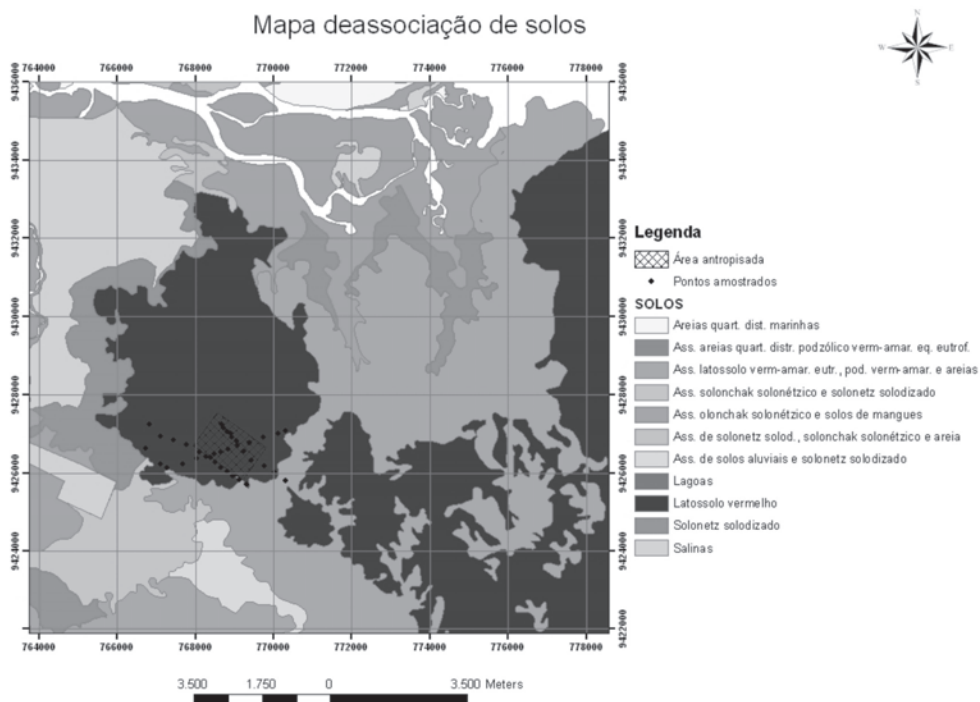


Figura 2 – Mapa Pedológico da área de estudo.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudos encontra-se inserida na Bacia Potiguar, que se situa na região centro-norte do RN. Limita-se a noroeste pelo Alto Estrutural de Fortaleza, a oeste e a sul pelas rochas do embasamento cristalino e a norte, a nordeste e a leste pela cota batimétrica -200 m. A caracterização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar,

Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra. O Grupo Agulha envolve as formações Ubarana, Guamaré e Tibau, formadas por rochas sedimentares clásticas depositadas sob ambiente de alta e baixa energia. Três eventos magmáticos (Macau, Ceará Mirim e diques tardios, recorrentes do último magmatismo) estão associados aos processos de formação da Bacia Potiguar e suas

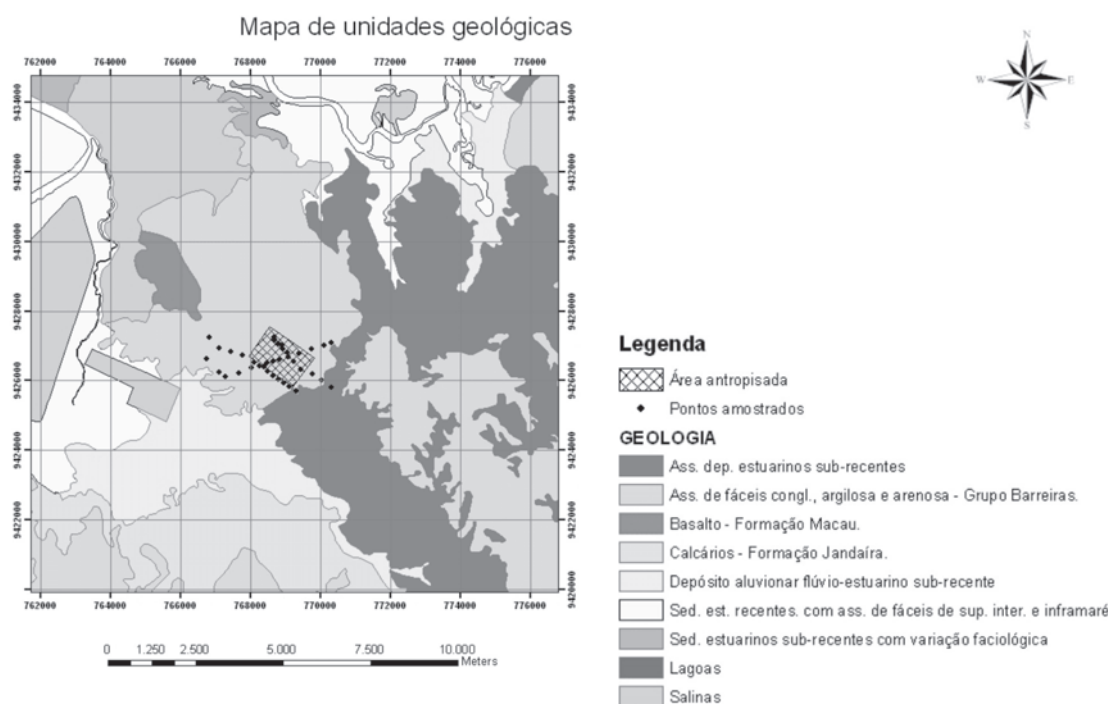


Figura 3 – Mapa Geológico da área de estudo.

utilizada neste trabalho, foi à subdivisão adotada por Araripe & Feijó (1994), que organizaram os litotipos da Bacia segundo três unidades principais, ordenadas da base para o topo como: Grupo Areia Branca, Grupo Apodi e Grupo Agulha (Fig. 3). O Grupo Areia Branca constitui a sucessão basal da Bacia potiguar, de caráter eminentemente clástico continental, e inclui as formações Pendências, Pescada e Alagamar. O Grupo Apodi engloba as formações Açu,

sedimentações correlatas, desde o Jurássico até o Terciário.

AMOSTRAGEM E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas (período seco e época de chuvas). As amostras foram retiradas do horizonte superficial do solo, atingindo um máximo de 20 cm de profundidade e pesando aproximadamente 2 kg. Retiraram-se os

materiais orgânicos superficiais, como folhas secas e gravetos. O solo se apresentava em sua maioria, bastante argiloso e homogêneo, com uma pequena diferença na coloração. Os pontos de coleta foram distribuídos pela área, formando um conjunto de 70 pontos, que buscou a representação da área (Fig 4). A ausência de pontos na parte SW da área deve-se à presença de salinas neste local. As amostras coletadas nestes pontos foram utilizadas para as análises químicas e físicas.

A metodologia de reparação das amostras coletadas encontra-se no fluxograma da figura 05. As amostras que seguiram para a análise química de metais foram quarteadas no Laboratório de Sedimentologia (UFRN) e posteriormente peneiradas no Laboratório da Universidade de Aachen (Alemanha), para não haver contaminação do material. O

peso inicial aproximado das amostras era de 2 kg, que foi separado em 4 alíquotas de 250g. Com uma alíquota de 250g foi feito o ensaio granulométrico e a fração inferior a 0,062 mm de cada amostra foi separada para ser analisada no granulômetro a laser. Em pontos escolhidos para a difração de raios X, utilizou-se a mesma fração peneirada que seguiu para o ensaio granulométrico a laser, sendo que o pó sofreu tratamento com H₂O₂. Outra técnica empregada na separação de partículas baseia-se na velocidade terminal de sedimentação, em meio líquido, que aplica a Lei de Stokes (Lima & Luz, 2001). Uma segunda alíquota de 250g do material original foi utilizada para a análise química de metais, sendo estas amostras quarteadas. Para as análises químicas das propriedades do solo, foram empregados 500 g de solo, sem peneiramento, apenas quarteado.

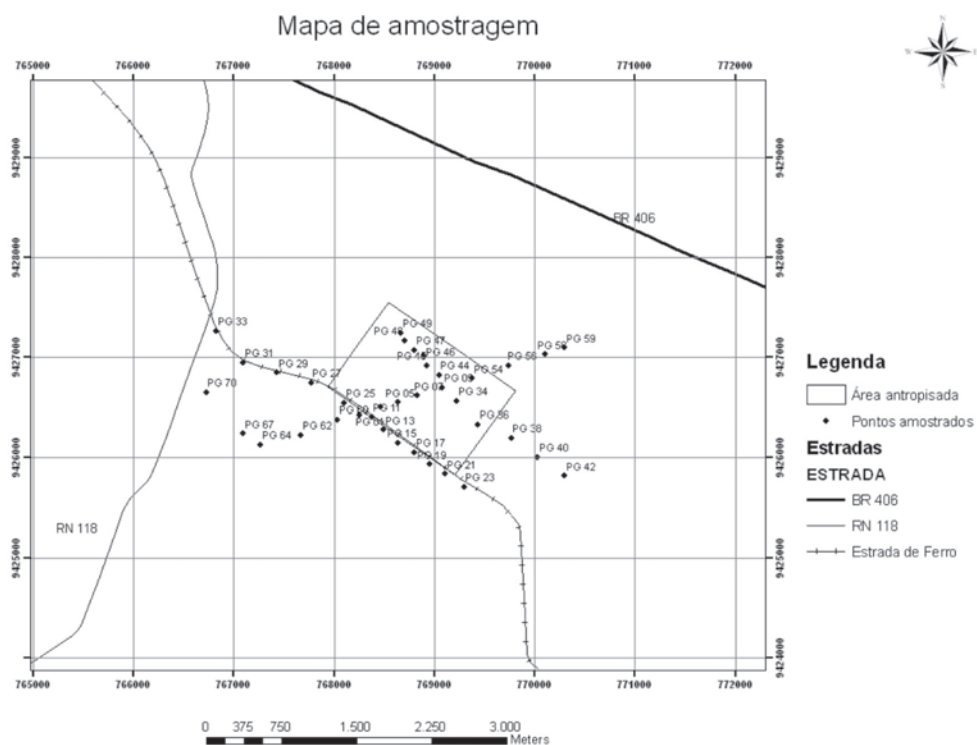


Figura 4 – Mapa de Amostragem

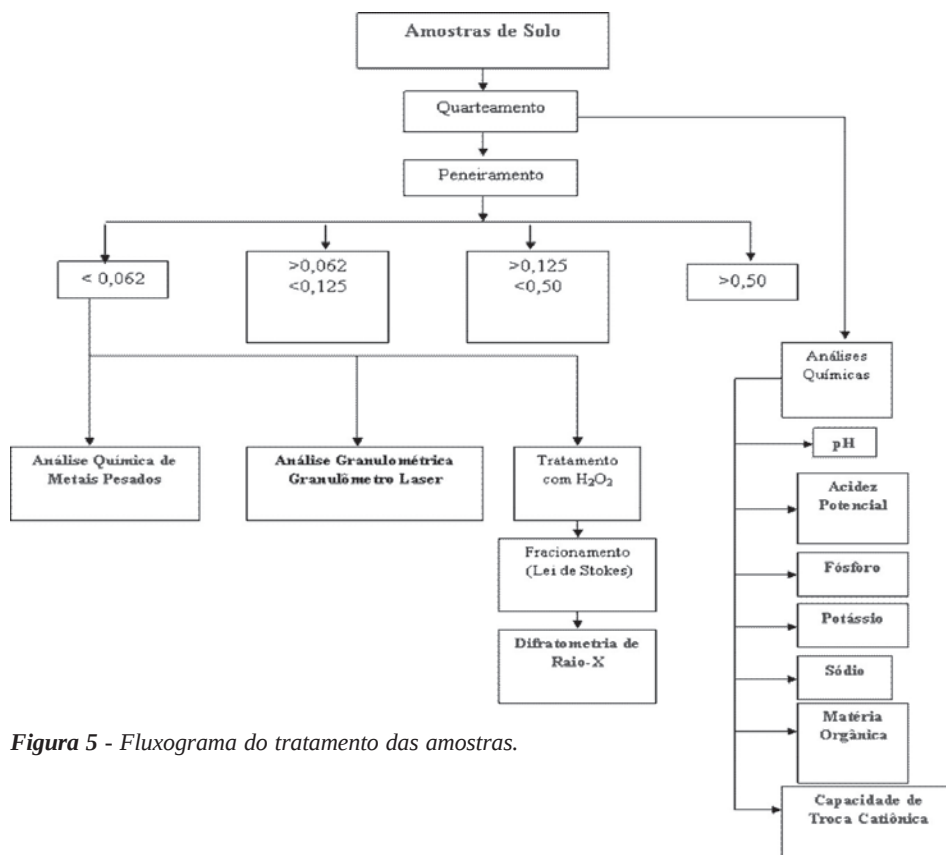


Figura 5 - Fluxograma do tratamento das amostras.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Difração de Raios X - Este método analítico foi utilizado neste trabalho, com o propósito de caracterizar os argilominerais existentes na área de estudo, já que são de grande importância do ponto de vista ambiental. As amostras foram escolhidas com o auxílio de imagens de satélite da área, Landsat 5 TM de 1989 e SPOT de 2000, com base na variação tonal dos pixels, cobrindo a área da melhor forma possível, de maneira a verificar a existência de alguma eventual correlação entre o tipo de mineral, tipo de solo e coloração visualizada na imagem.

Os resultados da difração de raios X empregada permitiu a identificação das ar-

gilas caolinita, clorita e montmorillonita, mas não foi observada a correspondência entre a cor da argila coletada em campo e sua variação tonal na imagem de satélite.

Análises Químicas - Os parâmetros selecionados para as análises químicas nos solos, seguem uma metodologia pré-determinada no Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas da CETESB, 2001, sendo eles: pH, CTC e matéria orgânica, por serem teoricamente relacionados com as concentrações naturais de metais no solo, tendo sido ainda acrescentados os parâmetros de acidez potencial, P, K e Na. Nos resultados obtidos para a CTC, o valor máximo encontrado foi de 26,98 meq/

100cm³ e um mínimo de 3,53 meq/100cm³. Os dados encontram-se dentro do limite estabelecido pela CETESB (2001) que é de 3,0 a 57,2 meq/100cm³.

Os resultados encontrados para matéria orgânica encontram-se muito abaixo do limite mínimo permitido pela CETESB, 2001, tendendo a um máximo de 2%, sendo o limite estabelecido pela CETESB (2001) variando entre 0,32 e 38,9%. Já os resultados de pH, entre 4,3 e 6,8, quando comparados com os valores estabelecidos pela CETESB (2001) entre 3,5 e 6,8, encontram-se dentro dos limites permitidos. Pode-se dizer que os solos são levemente ácidos.

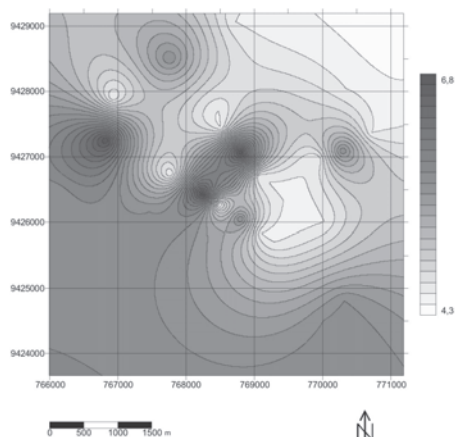


Figura 6 - Mapa de isovalores de pH.

Os mapas das figuras 6 e 7 representam a distribuição dos parâmetros de pH e CTC na área de estudo, com o objetivo de analisar as tendências e fazer uma correlação com outros parâmetros. A leste da região de atividade de exploração de petróleo, os valores de pH são em geral mais baixos apresentando dois mínimos: um no setor nordeste do mapa e outro a leste do campo de petróleo, com pH = 4,3. O mapa de pH, mostra um "trend" NE-SW no centro do campo, onde estão concentrados os maiores valores, com um máximo de pH = 5,9. Na

parte centro-oeste do mapa, encontra-se outro foco, com PH = 6,8 (Fig. 6).

As análises dos elementos químicos foram realizadas na Universidade RWTH em Aachen, Alemanha, e os elementos analisados foram: As, Ba, Bi, Cd, Co, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sr, Y, Zn e Zr, dentre todos os elementos analisados, serão discutidos aqui os dados correspondentes a As, Ba, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb e Zn, pois estes elementos têm parâmetros dentro da legislação da CETESB (2001) que é a referência empregada neste trabalho. Os resultados analíticos encontram-se na Tabela 1.

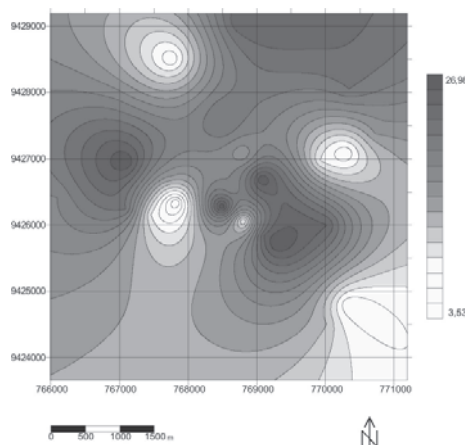


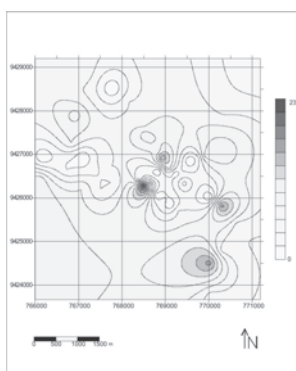
Figura 7 - Mapa de isovalores de CTC (meq/100cm³).

Com base nos resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística aplicando matriz de correlação foram gerados mapas de isotores para os elementos analisados. Observando os dados, pode-se dizer que os pares Co-Cu, Cr-V, Ni-Co, Ni-Cr, Ni-V, Mo-V, Zn-Co, Zn-Cr, Zn-Cu e Zn-Ni apresentam correlações positivas bastante significativas, maiores que 0,7.

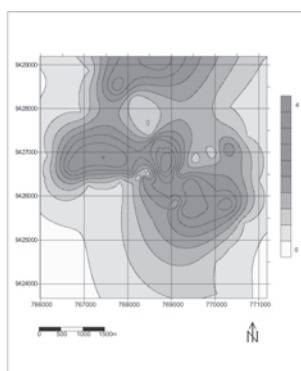
Foram gerados os mapas de isotores para os elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn, cujo exemplo pode ser visto nas Figs. 8 e 9.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas (em ppm) efetuadas para as amostras da área.

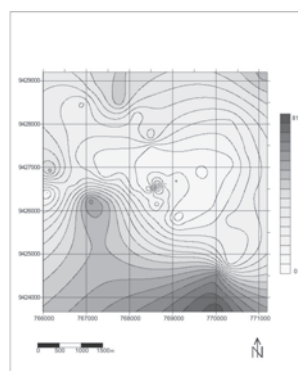
Amostra	Bi	Pb	Ba	Sb	Cd	Mo	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	As	Ga	Zn	Cu	Ni	Co
PG 01	5	3	150	-	-	-	2	13	232	7	39	7	8	36	7	44	11
PG 03	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	11	77	33	104	38
PG 05	7	1	376	1	-	2	31	278	16	74	13	3	22	126	59	206	83
PG 07	8	11	97	-	5	4	14	386	5	20	9	-	17	75	53	99	28
PG 09	10	6	154	-	-	3	28	546	12	54	10	11	18	85	27	122	18
PG 11	8	6	117	-	2	2	18	299	7	37	10	1	18	63	41	78	26
PG 13	3	7	148	-	-	2	22	295	8	55	9	23	16	72	36	99	52
PG 15	2	3	74	-	-	2	11	234	5	22	8	12	11	44	16	54	20
PG 17	5	11	202	-	-	2	24	236	20	73	8	-	11	70	8	154	28
PG 19	6	6	106	-	-	2	9	314	7	26	10	3	6	24	-	31	9
PG 21	8	9	11	1	1	1	8	353	7	25	9	-	6	24	-	30	7
PG 23	5	1	111	-	-	3	8	443	8	30	11	6	8	25	-	28	9
PG 25	7	3	125	-	-	2	14	438	17	41	5	7	8	37	5	42	11
PG 27	17	2	198	1	-	3	24	469	19	63	8	6	9	56	19	70	13
PG 29	11	7	101	-	-	3	14	438	11	32	8	4	10	39	4	54	9
PG 31	6	13	192	-	-	3	27	451	20	41	13	-	-	-	-	-	-
PG 33	7	4	175	-	-	2	16	565	11	33	9	8	6	34	4	37	16
PG 34	9	5	136	-	-	1	11	387	7	36	4	3	8	26	-	41	6
PG 36	5	12	80	-	-	3	13	419	12	31	8	9	16	44	14	77	20
PG 38	1	6	217	-	-	1	5	469	9	35	16	-	4	20	-	27	5
PG 40	9	7	115	-	-	2	8	382	9	25	9	-	4	24	-	28	7
PG 42	8	-	217	-	-	3	27	507	12	64	11	17	16	77	10	201	25
PG 44	6	23	172	-	-	3	18	562	15	49	12	4	15	57	12	72	16
PG 45	9	20	77	-	-	4	14	500	7	28	7	16	12	37	50	49	11
PG 46	6	9	48	-	-	3	10	445	6	21	3	7	8	22	-	23	4
PG 47	7	8	51	-	-	3	12	528	9	23	5	8	11	28	-	29	5
PG 48	6	4	41	-	-	3	9	520	7	18	4	13	6	21	-	15	7
PG 49	8	12	64	-	-	3	12	593	8	25	5	10	7	23	-	18	7
PG 54	7	10	92	-	-	2	18	458	11	41	4	3	11	24	-	26	3
PG 56	6	1	29	-	-	1	3	321	5	9	-	3	3	10	-	5	3
PG 58	4	7	242	-	1	2	16	495	15	52	19	8	8	31	-	37	10
PG 59	2	3	72	-	-	2	7	313	7	18	4	12	4	15	-	9	4
PG 60	5	4	138	-	-	2	18	376	10	45	11	7	11	38	9	47	10
PG 62	6	3	153	1	-	1	5	276	6	29	5	5	1	11	-	5	2
PG 64	-	14	644	-	-	1	7	289	7	104	36	1	2	14	-	8	5
PG 67	7	8	366	-	-	2	5	322	7	56	20	5	4	17	-	15	5
PG 70	2	7	226	-	-	3	10	438	7	38	14	2	7	23	-	16	7



Mapa de isotores de As

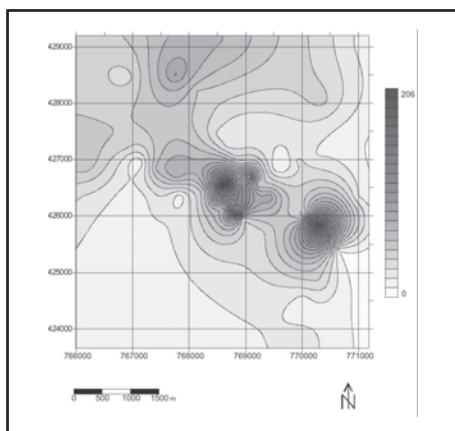


(B) Mapa de isotores de Mo

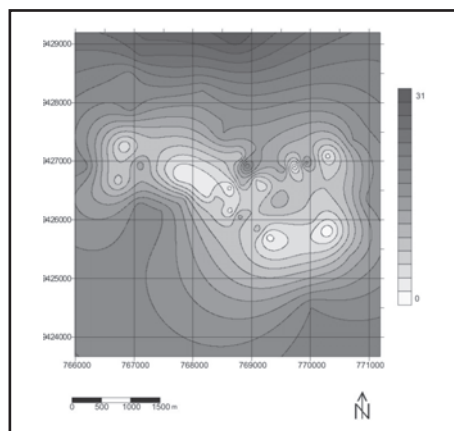


(C) Mapa de isotores de Ba

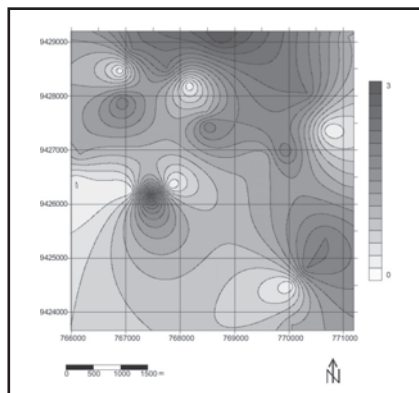
Figura 8 - Mapas de isovalores para os elementos Arsênio (A), Molibdênio (B), Bário (C)



(D) Mapa de isotores de Ni



(E) Mapa de isotores de Pb



(F) Mapa de isotores de Se

Figura 9 – Mapas de isovalores para os elementos Níquel (D), Chumbo (E) e Selênio (F)

INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Com base nos dados obtidos, e com o sistema de informação geográfica (SIG) estruturado, várias consultas puderam ser realizadas, e assim visualizar espacialmente ao mesmo tempo informações diversas sobre o mesmo tema (Fig. 10). Por exemplo, a Fig. 11 apresenta a tela de consulta do ARCGIS 9.0, onde se pode observar a consulta a temas analíticos ativos, onde foram selecionados quais os pontos em que o elemento Ni encontra-se acima de 13 ppm (padrão estabelecido pela CETESB). Como resposta, na tabela em que estão os resultados dos metais, os pontos ficam selecionados em cinza

mais claro e também podem ser visualizados no mapa.

A Fig. 12 apresenta exemplos de mapas de distribuição da concentração dos elementos, no caso As, Mo, Pb e Zn, vistos em uma tela do sistema de informações.

A figura 13 apresenta uma consulta sobre a área de influência próxima aos locais amostrados, para a avaliação da contaminação em caso de acidentes. A avaliação da área de influência foi analisada pela proximidade da rede hidrográfica, onde foi feito um "buffer" de 500m (Fig. 13A) e, pela proximidade da área amostrada, também com "buffer" de 500m (Fig. 13B).

Distribuição dos teores dos elementos Zn, Pb e Ni por pontos amostrados.

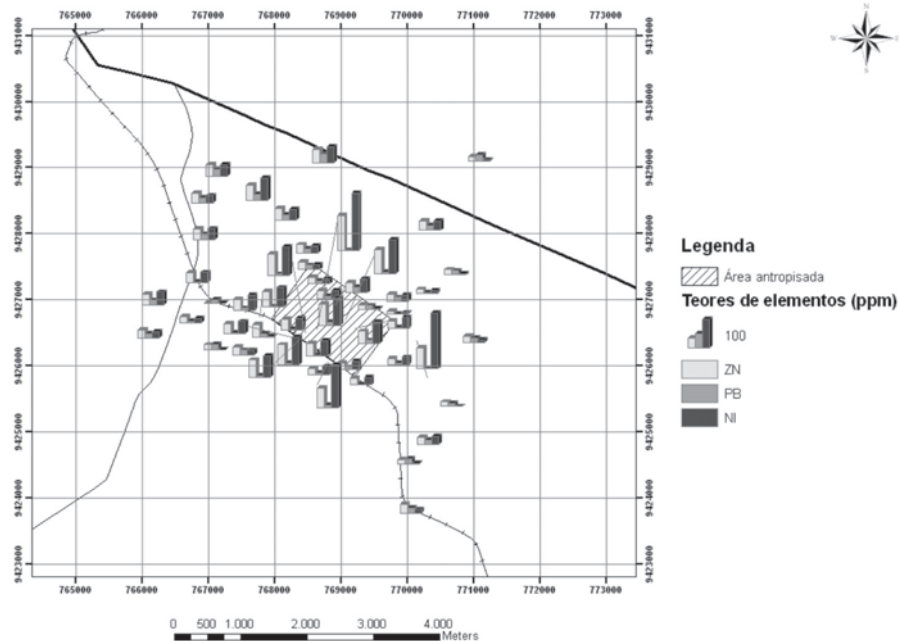


Figura 10 - Mapa de distribuição dos valores de Zn, Pb e Ni por pontos amostrados.

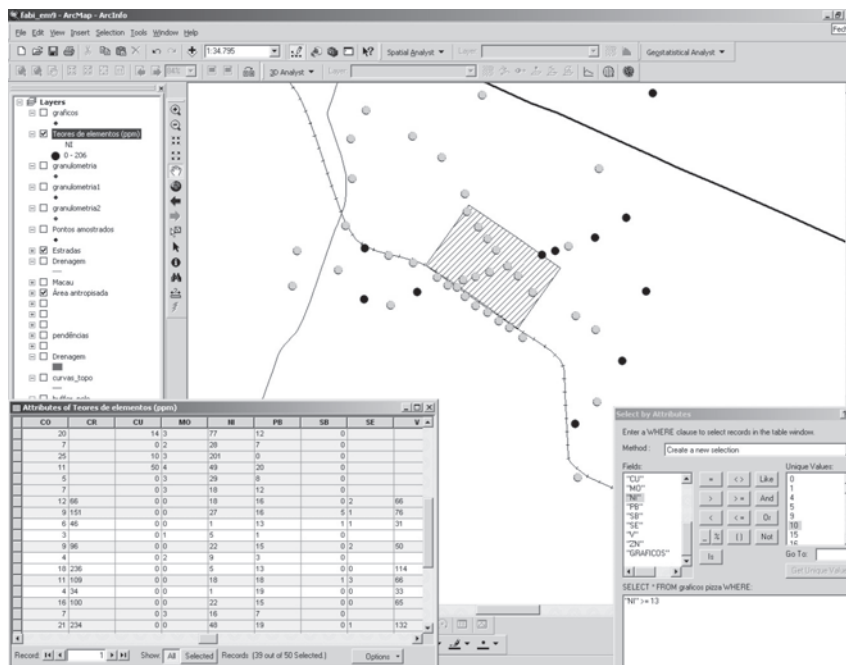


Figura 11 - Ilustração do SIG, com os temas analíticos, tabelas e figuras, em possibilidade de consulta.

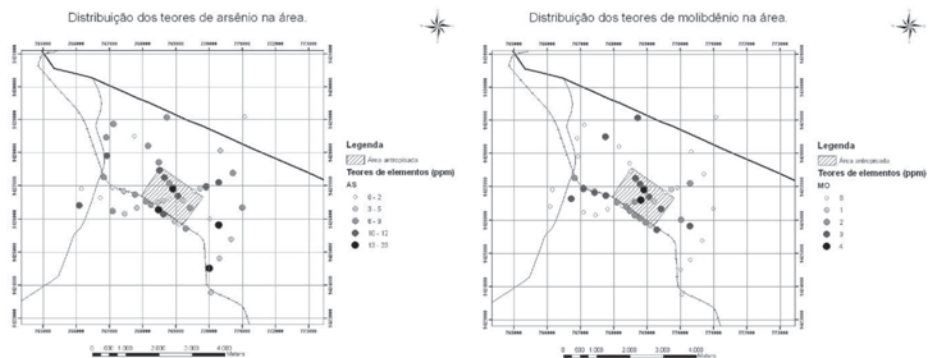


Figura 12A - Mapas de distribuição dos elementos As, Mo no entorno da área antropizada.

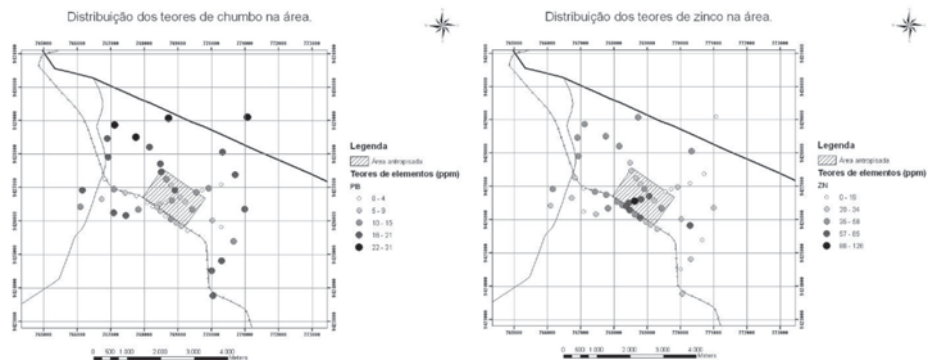


Figura 12B - Mapas de distribuição dos elementos Pb e Zn no entorno da área antropizada.

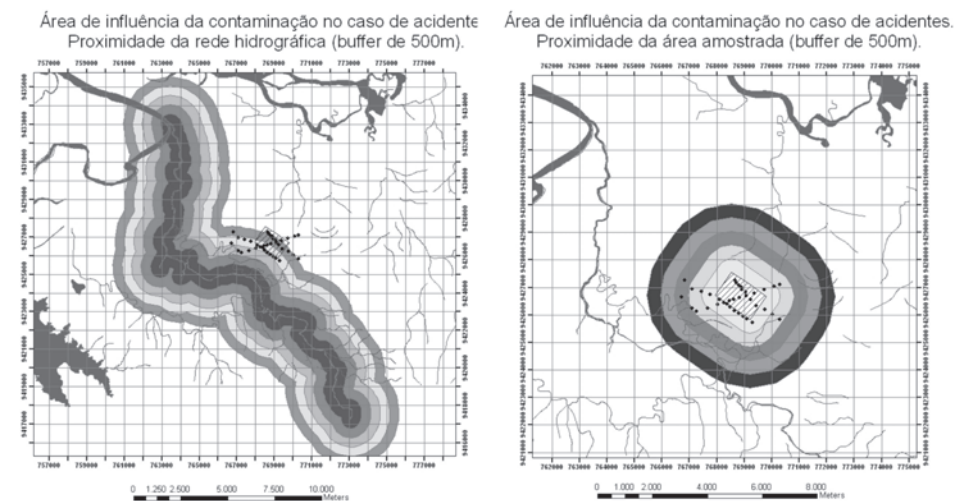


Figura 13 - Avaliação de área de influência da contaminação no caso de acidentes. (A) Proximidade da rede hidrográfica (buffer de 500m) e (B) proximidade da área amostrada (buffer de 500m).

REFERÊNCIAS

- Araripe, P.T. & Feijó, F., 1994. Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da PETROBRÁS. 8(1): 127-141.
- CETESB, 2001. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 246 p.
- NATRONTEC, 1998. Estudo de Impacto Ambiental para a Implantação do Pólo Gás-Sal no Município de Macau-RN. Diagnóstico, Análise de Impactos e Programa de gestão Ambiental. Relatório Final, Rio de Janeiro/Natal, 243 p.
- Lima, R.M.F., & Luz, J.A.M. - Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. REM 54(2) 2001. Título da pesquisa disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200014