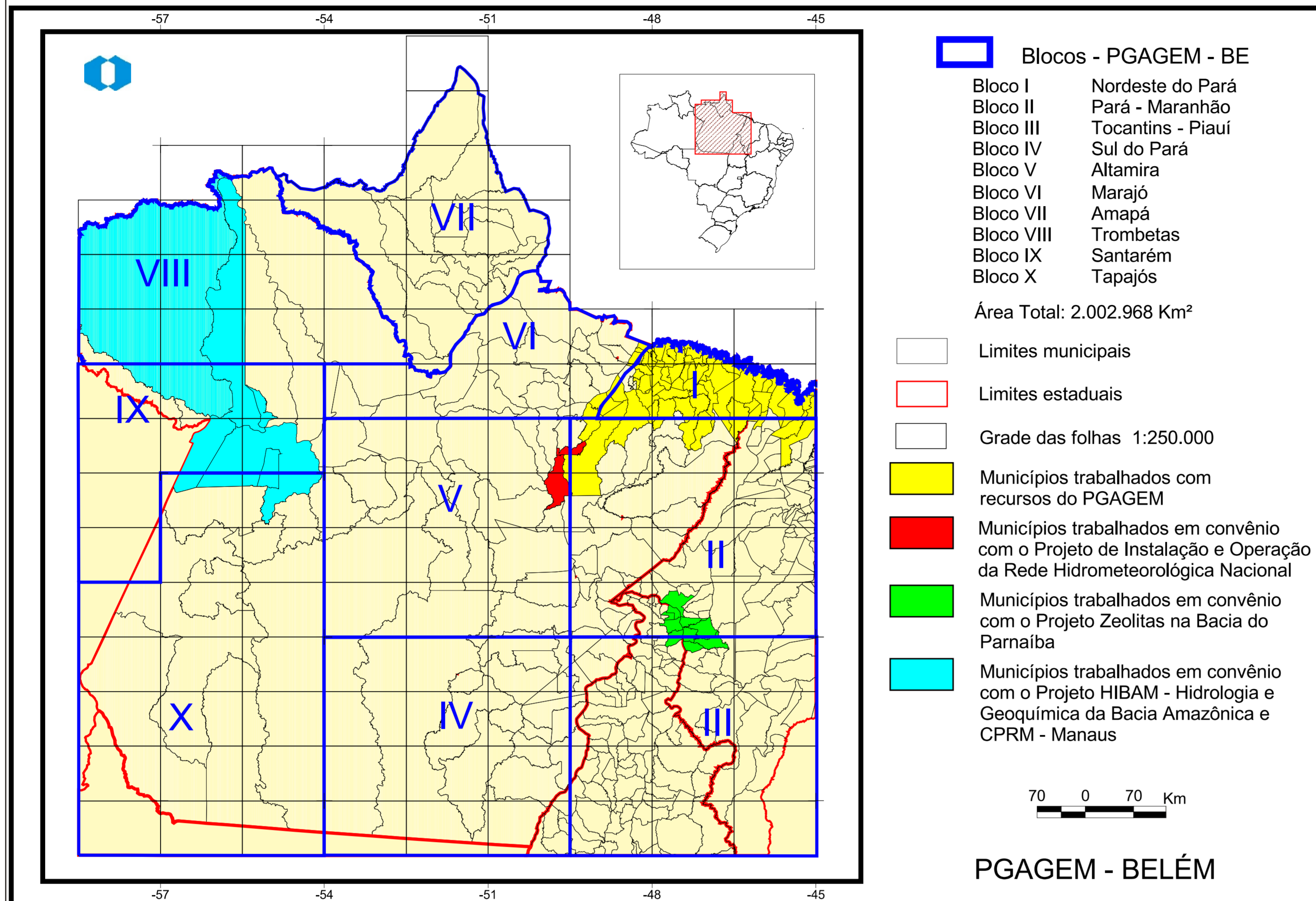


Caracterização Geoquímica das Águas de Sistemas de Abastecimento Público da Amazônia Oriental

Edesio M. Buenano Macambira e Eduardo Paim Viglio

Serviço Geológico do Brasil - CPRM Belém, PA

Mapa de localização dos trabalhos executados pelo PGAGEM-Belém na coleta de água de abastecimento público



INTRODUÇÃO

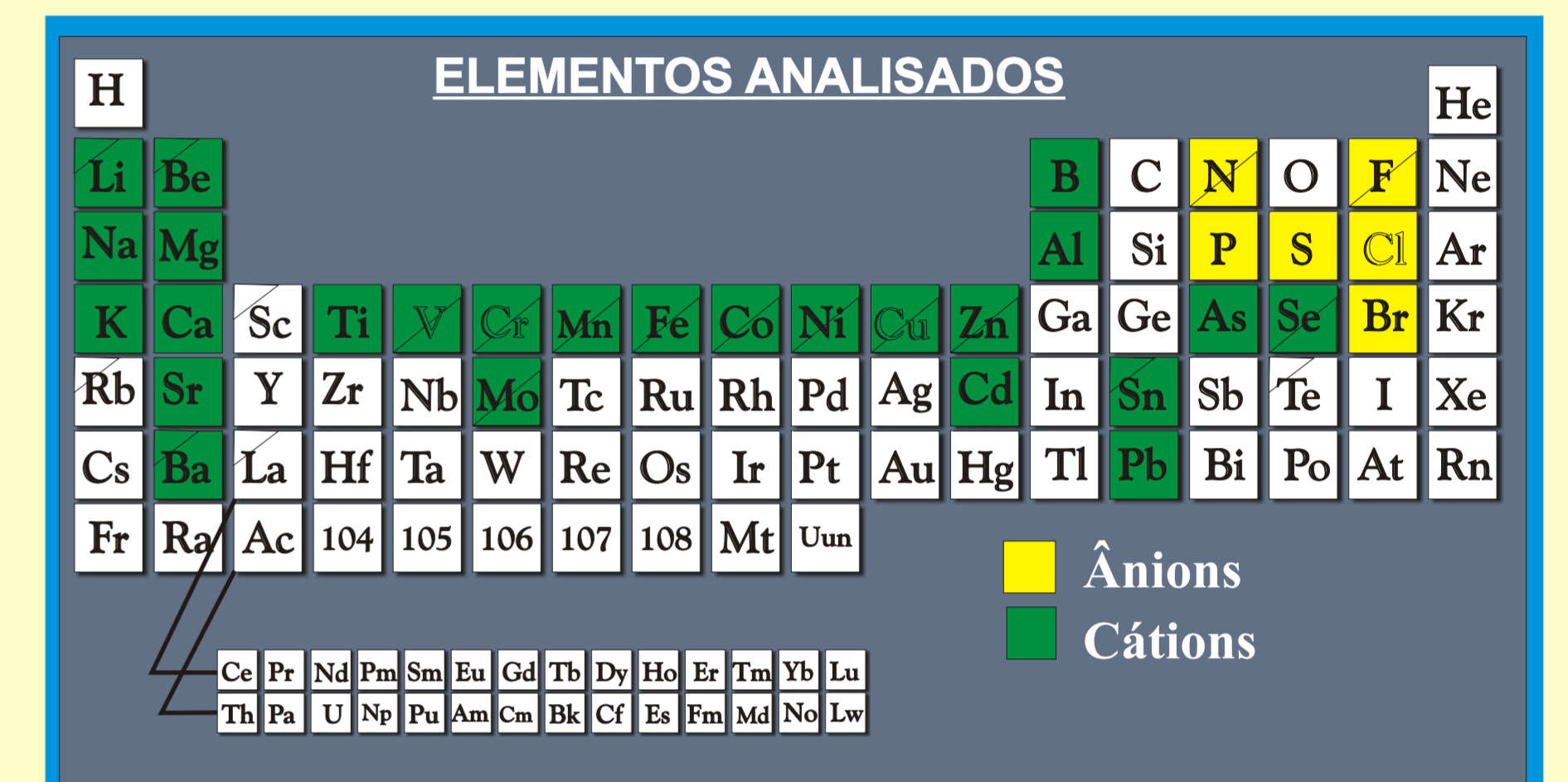
O PGAGEM-BELÉM ocupa uma área de cerca de 2.000.000km² compreendendo inteiramente os estados do Pará e do Amapá e parte do Maranhão, Piauí, Tocantins, Mato Grosso e Amazonas. Com o intuito de otimizar as atividades operacionais, a área do PGAGEM-BELÉM, de acordo com as suas características fisiográficas e logísticas, foi dividida em 10 blocos de trabalho.

Foram executadas 4 etapas de campo e coletadas 77 amostras de água de abastecimento. O de maior volume de trabalho foi realizada no Bloco I Nordeste do Pará (47 amostras no Pará e 14 no Maranhão). Outra etapa foi realizada nos Blocos II e III em convênio com o Projeto Zeolitas na Bacia do Parnaíba (10 amostras). A terceira etapa foi executada no Bloco IX em parceria com o Projeto Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica - HIBAM produto de convênio entre a Agência Nacional de Águas - ANA, Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq e Institut de Recherche pour le Développement - IRD, da França (4 amostras). A última etapa de trabalhos de campo foi efetuada no Bloco V em conjunto com o Projeto Instalação e Operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (2 amostras).

As amostras de águas foram analisadas para 6 ânions (F, Cl, NO₃, Br, SO₄ e PO₄) via cromatografia e para 25 cátions (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Sn, Sr, Ti, V, e Zn) por ICP-AES.

DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

BLOCO TRABALHADO	Nº DE AMOSTRAS COLETADAS
BLOCO I	57
BLOCO II	12
BLOCO III	02
BLOCO V	02
BLOCO IX	04
TOTAL	77



ASPECTOS GEOLÓGICOS, FISIográficos E SOCIOECONÔMICOS

A principal unidade geotectônica ocorrente na área de operação do PGAGEM-BELÉM é o Cráton Amazonas. Trata-se de um complexo arranjo tectono-estratigráfico, de idade arqueoproterozóica, onde está presente uma diversidade de ambientes, tais como: *greenstone belts* (Rio Maria, Tucumã, Vila Nova, etc.) cinturões de cisalhamentos (Itacaiúnas, Jarí, Araguaia, etc.), províncias orogênicas (Tapajós), bacias transcorrentes (Carajás, Aquiri, São Félix, etc.) núcleos antigos (Cupixi), terrenos de alto grau metamórfico (Bacajá), etc. No extremo oriental da região de trabalho destaca-se o Cráton

de São Luiz e o Cinturão Gurupi. Circundando as áreas cratônicas ocorrem as bacias paleozóicas sedimentares representadas principalmente pela Bacia do Amazonas e Bacia do Parnaíba. Ainda merece ser destacado a extensa cobertura sedimentar quaternária que se desenvolve ao longo dos principais cursos d'água e na faixa litorânea Atlântica.

O rio Amazonas e seus maiores afluentes da margem direita (Tocantins/Araguaia, Xingu e Tapajós) e os da esquerda (Jarí, Paru, Maicuru e Trombetas) constituem o principal sistema hidrográfico da região de trabalho. No Amapá, destacam-se os rios Oiapoque e Araguari e no Maranhão-Piauí o sistema Gurupi/Parnaíba.

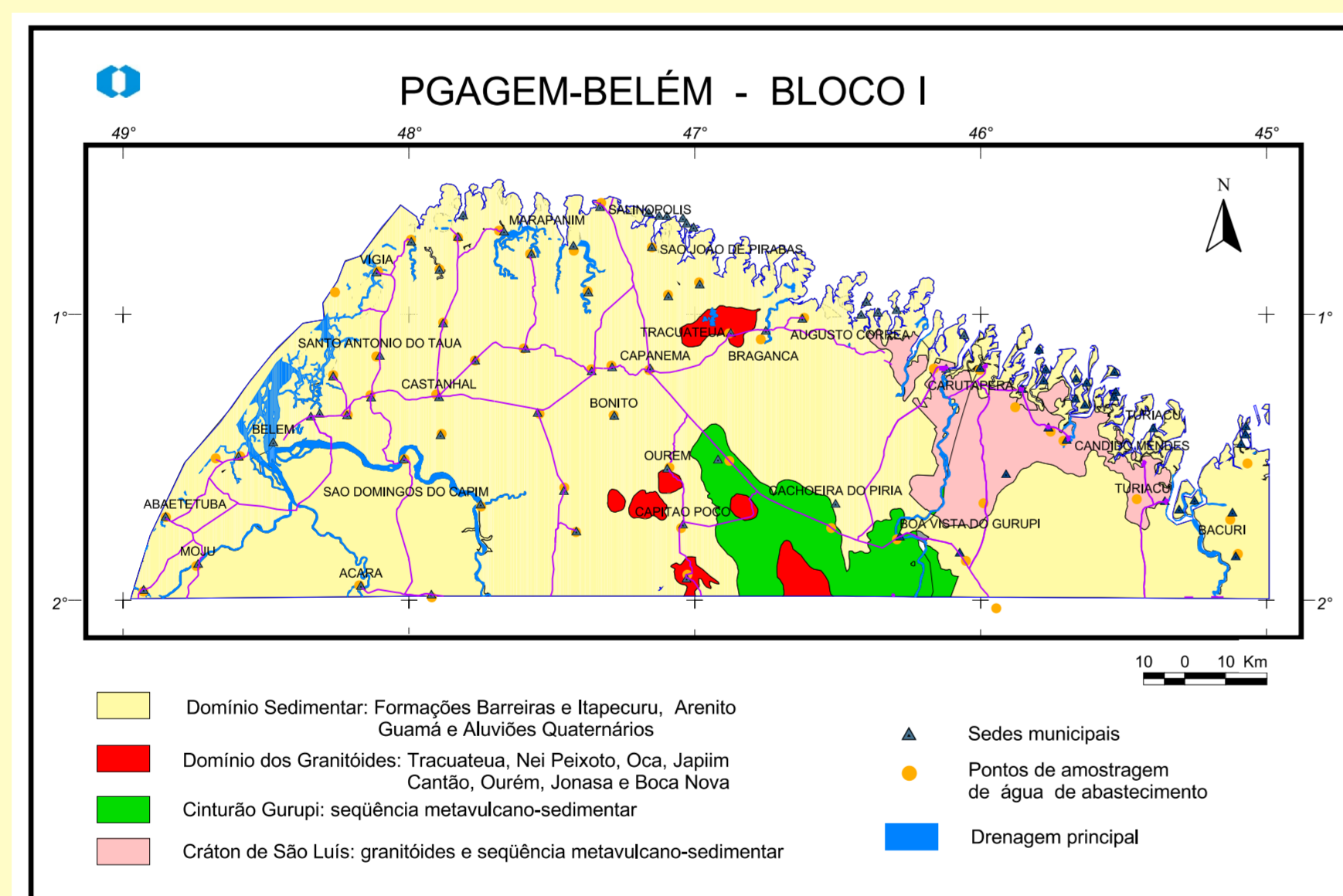
Os mais altos níveis de densidades populacionais estão situados na

porção oriental da região de trabalho; em segundo plano, destaca-se a borda sul e determinados trechos ao longo dos principais cursos d'água e das rodovias; nas demais regiões predominam um grande vazio demográfico particularmente na margem esquerda do rio Amazonas. Conseqüentemente, nas regiões de maior concentrações humanas estão implantadas as principais atividades econômicas: mineração, metalurgia, indústria madeireira, agropecuária, pesca e comércio.

A área de trabalho apresenta um precário sistema de saneamento básico, inclusive nas grandes cidades. A malária, a Hanseníase e a leishmaniose são endêmicas na região e numerosas doenças de veiculação hídrica e/ou alimentar (verminose, hepatite, diarreia, etc.) atingem altos índices.

RESULTADOS OBTIDOS: BLOCO I

Mapa geológico simplificado do Bloco I - Nordeste do Pará (CPRM/Projeto GIS do Brasil, Faraco et al 2004)



Este bloco abrange cerca de 50.000km², sendo aproximadamente 80% na região nordeste do Pará e o restante na porção noroeste do Maranhão. Trata-se da região mais densamente povoada do Estado do Pará, servida por uma boa infraestrutura logística e com a economia baseada nas atividades agropecuárias e pesqueiras.

Sob o ponto de vista geológico a maior porção do Bloco I é ocupada pelo Grupo Barreiras (arenitos, siltitos e argilitos). Na região do Gurupi estão presentes o Cráton de São Luís (granitóides e seqüência metavulcano-sedimentar) e o Cinturão Gurupi (seqüência metavulcano-sedimentar). Distribuídas na região de trabalho ainda ocorrem as unidades sedimentares Arenito Guamá e Formação Itapecuru e granitóides intrusivos (Tracuateua, Nei Peixoto, Cantão, Japiim, Oca, etc.). Ao longo dos principais cursos d'água e na costa litorânea desenvolve-se uma cobertura de sedimentos quaternários.

Dos 30 elementos e compostos analisados, o As (< 0,01 mg/L), o Mo (< 0,005 mg/L), o Se (< 0,02 mg/L), o V (< 0,02 mg/L), o Be (< 0,001 mg/L) e NO₂ (= 0,1 mg/L) tiveram seus resultados prejudicados pelo elevado valor do limite inferior do método analítico e, portanto, não foram submetidos a cálculos estatísticos. O Cd (< 0,001 mg/L), Co (< 0,002 mg/L), Cr (0,02 mg/L), Ni (0,004 mg/L), Ti (0,05 mg/L) e o PO₄ (0,2 mg/L) também tiveram mais de 90% dos seus resultados prejudicados pelo limite inferior analítico, em vista disto foram interpretados visualmente. Os demais elementos foram submetidos a cálculos estatísticos cujos principais parâmetros constam da Tabela 1. Baseado nas informações acima são apresentadas as seguintes considerações:

As unidades sedimentares representadas pelo Grupo Barreiras, Formação Itapecuru, Arenito Guamá e Aluviões Quaternários constituem os maiores aquíferos da região, em razão de sua grande extensão territorial,

da desenvolvida espessura e do alto índice de permo-porosidade. Nas demais unidades (Granitóides, Cinturão Gurupi e Cráton de São Luís) o potencial dos aquíferos é restrito estando limitado a zonas de fraturas.

Entre os elementos analisados, o As, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Li, Mg, Mo, Na, Ni, Se, Sr, Ti, V, Cl e F, e os compostos NO₂ e SO₄ tiveram seus resultados na faixa de valores considerados como compatíveis para consumo humano segundo os padrões fornecidos pelo CONAMA, MS e OMS.

O Al, B, Cd, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn e PO₄⁻³ apresentaram resultados mais elevados do que os dos padrões acima mencionados, indicando a imprópriedade para consumo humano dos correspondentes sistemas de abastecimento público.

Em cerca de 80% da área de trabalho, o Al e o Pb apresentaram valores impróprios para o consumo humano (Al = 0,1 mg/L; Pb = 0,01). O mais elevado teor de Al foi de 1,8mg/L, o que corresponde a 18 vezes o limite máximo permitido e para o Pb, o mais alto valor foi de 1,45 o qual é 145 vezes o limite tolerado. Não se observa uma perfeita correspondência entre a distribuição geográfica dos dois elementos, embora na análise de Cluster ambos tenham apresentado comportamento e teores semelhantes.

Os valores de Cu impróprio para o consumo humano (> 0,009 mg/L) ocupam cerca de 60% da área de trabalho, particularmente a porção oriental.

A água de abastecimento público da porção ocidental da região de trabalho está caracterizada por valores de Fe superiores ao permitido para o consumo humano (0,3 mg/L).

O Zn, B, Mn e K apresentaram pequenas áreas com conteúdo impróprio para o consumo humano. Estas áreas apresentam-se dispersas na região de trabalho e aparentemente não apresentam correspondência entre os citados elementos.

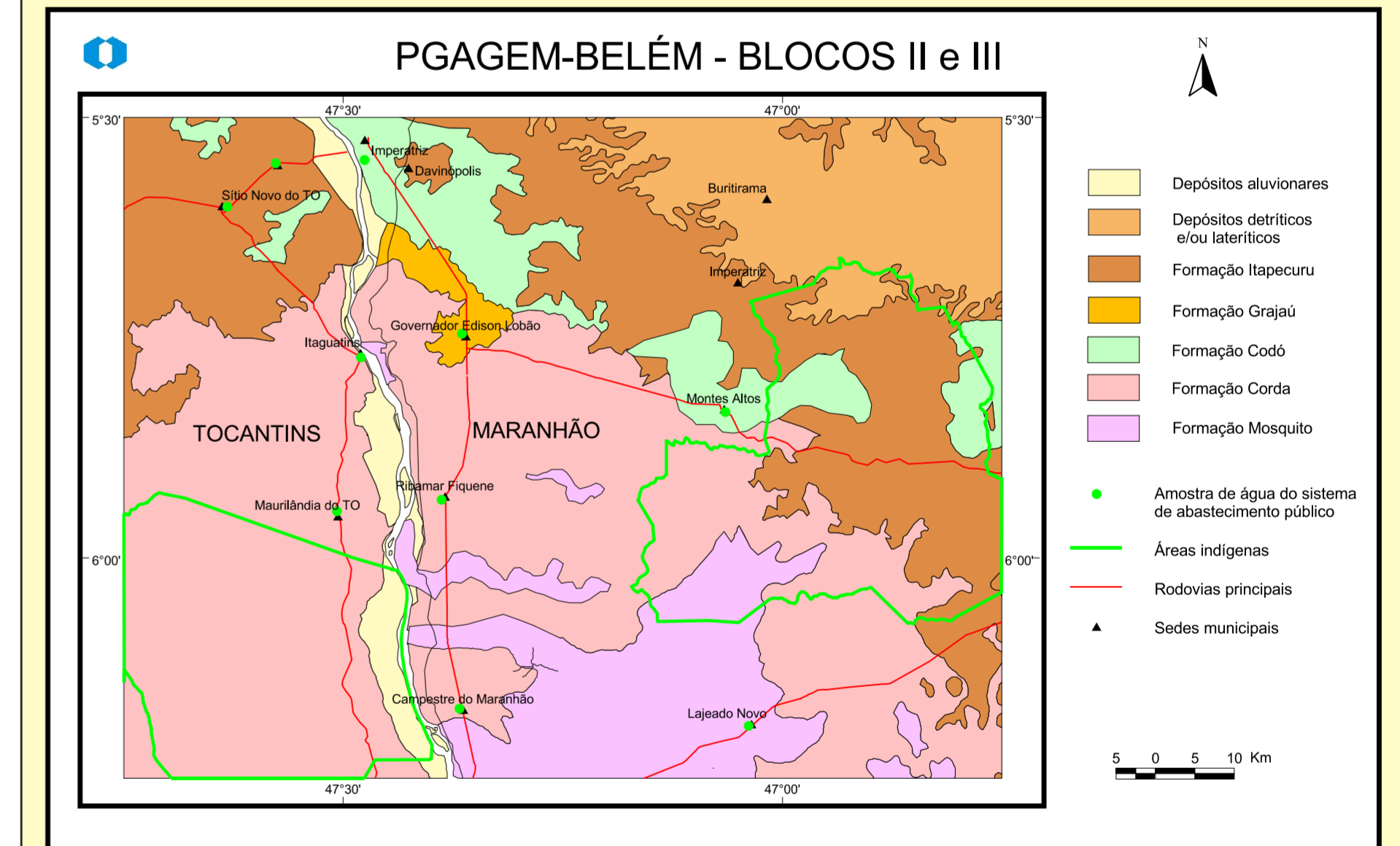
O Cd e o PO₄ apresentaram valores pontuais distribuídos na região de trabalho. Para o Cd detectou-se 3 valores de 0,002 mg/L, os quais são superiores ao permitido para o consumo humano (0,001 mg/L), e também considerados como anomalias de 1ª ordem (0,0014 mg/L). Com relação ao PO₄ foram observados teores de 0,7 mg/L e 0,9 mg/L. Estes valores são superiores ao limite permitido para consumo humano (0,1mg/L) e também são considerados como anomalia de 1ª ordem (0,387 mg/L). Tanto para o Cd como para o PO₄ foram observados vários teores que coincidiam o limite inferior do método analítico com o limite superior permitido pelo CONAMA/MS.

Com relação às medidas de pH observou-se que em cerca de 80% da área de trabalho apresentou valores de 4 a 6. Apenas em 8 pequenos núcleos foram verificados valores na faixa de 6 a 7,5. Salienta-se que o valor do pH aceitável pelo CONAMA situa-se na faixa de 6 a 9.

Enquadrando-se os valores anômalos no contexto geológico observa-se que as anomalias geoquímicas encontram-se nos 4 domínios mapeados. O Domínio Sedimentar é o que abrange o maior número de amostras anômalas, possivelmente, em decorrência de sua maior abrangência territorial, como também por se tratar de um possante aquífero. Salienta-se que, em termos regionais, as curvas de background para Al e Pb apresentam uma tendência segundo NNW, acompanhando a direção do Cinturão Gurupi.

RESULTADOS OBTIDOS: BLOCOS II E III

Mapa Geológico da região do sul do Tocantins e oeste do Maranhão (CPRM/Projeto GIS do Brasil, Faraco et al 2004)



A área de pesquisa ocupa cerca de 9.300 km². Caracteriza-se por ser uma região relativamente bem povoada (25 a 100 hbs./km²), servida por uma boa infraestrutura logística e com a economia baseada nas atividades agropecuárias.

Localiza-se na porção noroeste da Bacia do Parnaíba. A unidade estratigráfica basal é a Formação Mosquito constituída de derrames basálticos, seguida da Formação Corda (arenitos e folhelhos vermelhos), acima se verificam as formações Grajaú (arenitos) e Codó (folhelhos, calcários e arenitos). Segue-se a Formação Itapecuru, constituída por arenitos e argilitos. Na porção nordeste desenvolve-se uma cobertura detritica e/ou lateritica e ao longo dos principais cursos d'água estão presentes depósitos aluvionares. Os principais aquíferos são as formações Corda, Itapecuru e Grajaú.

O B, Be, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, SO₄, Zn, F e Cl apresentaram os resultados abaixo do valor máximo permitido.

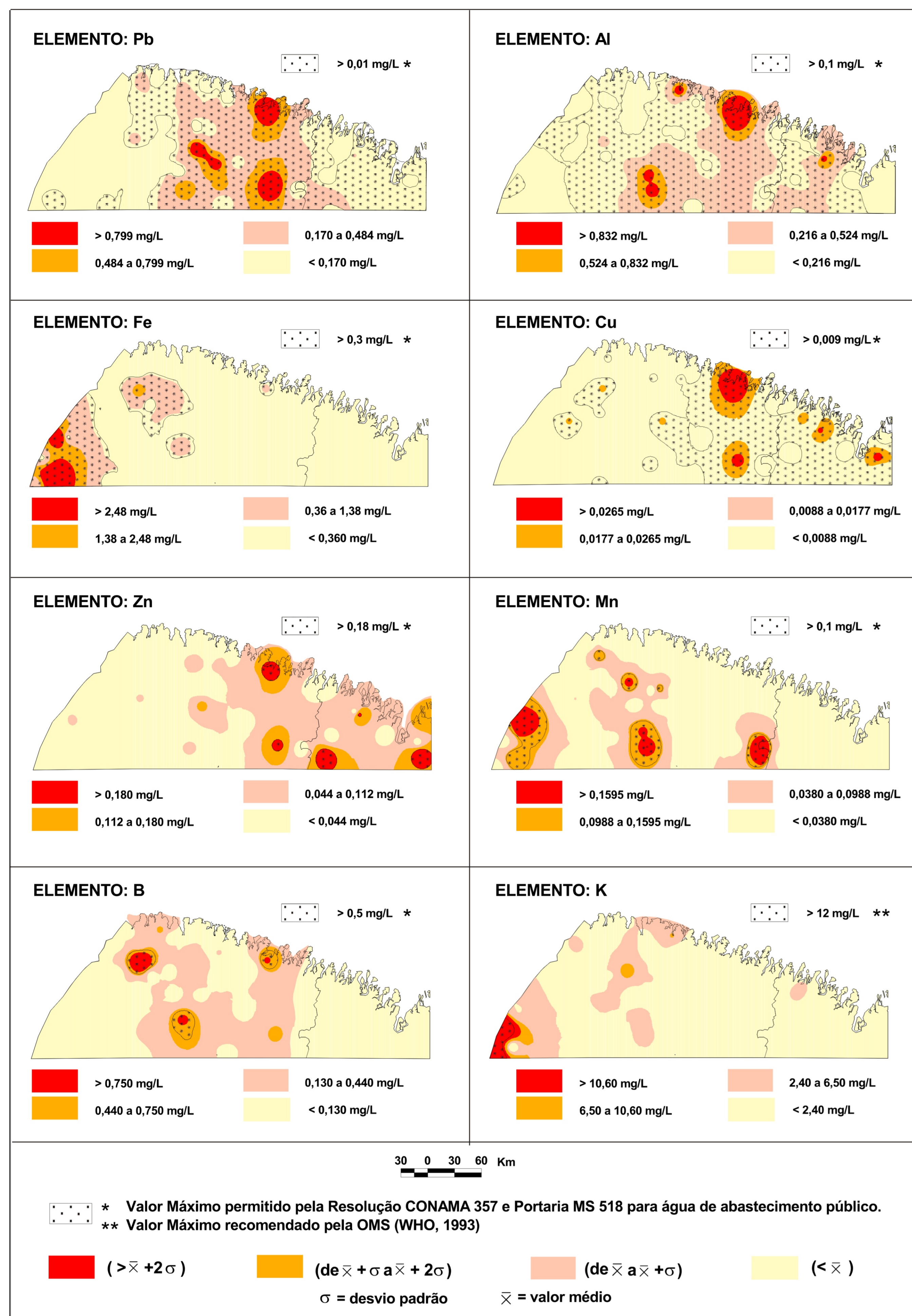
O Ba foi o elemento que apresentou o maior número de amostras com conteúdo impróprio para o consumo humano. O Al apresentou todos os resultados iguais ao limite inferior do método analítico (0,1 mg/L), o qual coincide com o teor máximo permitido para o consumo, exceto na amostra coletada em Imperatriz que apresentou 0,2 mg/L. Coincidência semelhante foi verificada para o As, Cd, Cu, Se, V, Br e PO₄.

Apenas na água de abastecimento de Ribamar Freire não foi verificado conteúdo impróprio para o consumo humano.

Plotando-se os valores impróprios para o consumo humano sobre a base geológica não se observa uma evidente correspondência entre os diversos elementos com as várias unidades estratigráficas.

Apesar de atender aos padrões, a água de Itaguatins, ao ser fervida, precipita um pó branco no fundo da panela de alumínio, cuja análise detectou principalmente aragonita e calcita magnesiana.

Variação do conteúdo de Pb, Al, Fe, Cu, Zn, Mn, B e K nas águas de sistema de abastecimento público no Bloco I - Nordeste do Pará.



BLOCO I - NORDESTE DO PARÁ / NOROESTE DO MARANHÃO								
ÁGUA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO								
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS								
Elemento	População	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média x̄	Desvio Padrão	Anomalia de 2ª Ordem (x +)	Anomalia de 1ª Ordem (x + 2)	Valor Máximo Permitido em Água Doce Classe I - Resolução CONAMA 357
Al	59	0,0050	1,8000	0,2043	0,3033	0,508	0,811	0,1 mg/L
As	59	0,0050	0,0050	0,0050	0,0000	0,005	0,005	0,01 mg/L
B	59	0,0010	2,0000	0,1331	0,3118	0,445	0,757	0,5 mg/L
Ba	59	0,0010	0,1630	0,0228	0,0372	0,060	0,097	0,7 mg/L
Be	59	0,0005	0,0005	0,0005	0,0000	0,001	0,001	0,04 mg/L
Ca	59	0,1000	60,0500	7,7517	12,5985	20,350	32,949	10 a 100 mg/L **
Cd	59	0,0005	0,0020	0,0006	0,0004	0,001	0,001	0,001 mg/L
Co	59	0,0010	0,0040	0,0011	0,0004	0,001	0,002	0,05 mg/L
Cr	59	0,0100	0,0300	0,0108	0,0034	0,014	0,018	0,05 mg/L
Cu	59	0,0010	0,0500	0,0090	0,0088	0,018	0,027	0,009 mg/L
Fe	59	0,0020	6,6600	0,3614	1,0445	1,406	2,450	0,3 mg/L
K	59	0,1000	101,0000	4,1441	13,4763	17,620	31,097	12 mg/L **
Li	59	0,0010	0,0200	0,0027	0,0036	0,0063	0,0099	2,5 mg/L
Mg	59	0,0900	15,2700	2,2615	2,9889	5,250	8,239	1 a 40 mg/L **
Mn	59	0,0010	0,2230	0,0380	0,0608	0,0988	0,1595	0,1 mg/L
Mo	59	0,0025	0,0025	0,0025	0,0000	0,003	0,003	0,07 mg/L **
Na	57	0,1000	42,0000	9,4560	10,5120	19,968	30,480	200 mg/L *
Ni	59	0,0020	0,0150	0,0030	0,0026	0,0057	0,0083	0,025 mg/L
Pb	59	0,0025	1,4500	0,1700	0,3146	0,4846	0,7991	0,01 mg/L
Se	59	0,0100	0,0100	0,0100	0,0000	0,010	0,010	0,01 mg/L
Sr	59	0,0010	0,6520	0,0545	0,1105	0,1650	0,2755	1 mg/L **
Ti	59	0,0250	0,0600	0,0256	0,0046	0,0301	0,0347	***
V	59	0,0100	0,0100	0,0100	0,0000	0,010	0,010	0,1 mg/L
Zn	59	0,0010	0,2740	0,0440	0,0681	0,1121	0,1802	0,1802 mg/L
Br	58	0,0250	0,8100	0,0626	0,1059	0,1685	0,2744	0,025 mg/L *
Cl	57	1,5800	61,6300	11,4100	12,2960	23,706	36,002	250 mg/L
F	58	0,0050	0,7500	0,0594	0,1035	0,1629	0,2663	1,4 mg/L
NO ₂ ⁻	58	0,0500	0,0500	0,0500	0,0000	0,050	0,050	1,0 mg/L
PO ₄ ³⁻	58	0,1000	1,4000	0,1466	0,2121	0,3587	0,5708	0,1 mg/L
SO ₄ ²⁻	58	0,4000	38,4000	4,7638	6,7064	11,4702	18,1767	250 mg/L
pH	59	4,0000	7,5000	5,2136	0,8653	6,079	6,944	de 6 a 9

* Portaria 518 do Ministério da Saúde, de 25/03/04 ** OMC in WHO, 1993
*** Não foram obtidos valores máximos permitidos para o titânio. Valores em mg/L ou ppb

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Faraco M.T.L., Marinho P.A.C., Vale A.G., 2004. Folha SC.22 Tocantins. In: C. Schobbenhaus, J.H. Gonçalves, J.O.S. Santos, M.B. Abram, R. Leão Neto, G.M.M. Matos, R.M. Vidotti. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, Brasília.

Edmunds, W.M., & Smedley, P.L. 1966. Groundwater geochemistry and health: an overview. In: Appleton, J.D., Fuge, R. & McCall, G.J.H. (eds), Environmental Geochemistry and Health Geolo. Soc. Special Publication No. 113 pp. 91-105.

Miranda, L. da C.P. 2004. Proveniência de Arenitos da Formação Barreiras (Mioceno), Região de IPIXUNA, com base em análise de Minerais Pesados e Datação de Grãos de Zircão por Evaporação de Chumbo. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. CD-ROM.

RESULTADOS OBTIDOS: BLOCO V

Os trabalhos neste bloco foram de pequena monta (2 amostras) e executados em parceria com o Projeto Instalação e Operação da Rede Hidrometeorológica Nacional. A área trabalhada localiza-se na Bacia do Baixo Amazonas, particularmente no domínio da Formação Altér do Chão (Cretáceo-Terciário). Litologicamente é semelhante ao Grupo Barreiras e está representada por intercalações de arenitos, silteitos e argilitos. Exibe uma alta permeabilidade em razão do que constitui um excelente aquífero.

A região de pesquisa localiza-se na margem direita do rio Tocantins. Apresenta uma boa infraestrutura logística com a economia baseada nas atividades agropecuárias. Possui uma baixa densidade populacional (2 a 5 hbs/km²).

Baseado nos trabalhos realizados pode-se estabelecer as seguintes considerações:

Os teores de B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V, Zn, Be, F, Cl, e SO₄, estiveram abaixo do limite estabelecido para o consumo.

Todos os resultados de Al, As e Cd apresentaram teores que coincidiam o limite inferior analítico com o teor máximo permitido pela resolução do CONAMA/MS.

Os teores de Cu, Se, Br e PO₄ são superiores aos permitidos para consumo humano.

De uma maneira geral, os teores observados nas cidades amostradas (Baião e Mocajuba) são semelhantes, particularmente para os elementos cujos valores estão acima dos padrões permitidos para o consumo humano.

RESULTADOS OBTIDOS: BLOCO IX

Os trabalhos (4 amostras) foram executados em parceria com o Projeto HIBAM. A região de trabalho situa-se na zona limítrofe do estado do Pará com o Amazonas. As amostras coletadas situam-se na Bacia do Médio Amazonas, particularmente no domínio dos Aluviões Quaternários dos rios Amazonas e Tapajós. Tratam-se de sedimentos arenosos e argilosos, com elevada permeabilidade e constituem excelentes aquíferos. Entre as sedes municipais amostradas, Santarém destaca-se pelo maior desenvolvimento populacional e econômico. Entretanto, todos os municípios apresentam uma boa infraestrutura logística e a economia baseada nas atividades agropecuárias e possuem uma baixa densidade populacional. Baseado nos resultados analíticos pode-se emitir as seguintes considerações:

Os teores de B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sr, V, Zn, Be, F, Cl, e SO₄, estiveram abaixo do limite estabelecido para consumo.

Para o As e o Cd os teores encontrados são coincidentes com o limite estabelecido pelo CONAMA/MS para consumo humano e o limite inferior analítico.

O Al, Cu, Pb, Se, Br e PO₄, apresentaram teores superiores aos permitidos para consumo humano.

Relacionando os elementos cujos teores são impróprios para o consumo humano com a sede municipal, verifica-se que todas as cidades apresentaram teores impróprios de Se, PO₄ e Br. Santarém apresentou o maior número de elementos com conteúdo impróprio para consumo humano, pois além dos citados verificou-se também o Al e o Pb. O teor de Cu encontrado em Curuá é superior ao valor máximo permitido para o consumo humano.

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

As 4 áreas trabalhadas fornecem uma boa representatividade dos sistemas ambientais e hidrogeológicos da região Amazônica, visto que foram abordados os principais aquíferos tais como: formações Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru, na Bacia do Parnaíba; Formação Altér do Chão na Bacia do Amazonas; Grupo Barreiras, Formação Itapecuru, Arenito Guamá e Aluviões Quaternários Marinhos e Fluviais.

A economia das regiões trabalhadas está baseada principalmente nas atividades agrícolas, na pecuária, na pesca e na extração de produtos da floresta. A densidade populacional é inferior a 100hbs/km². Predominam na região doenças endêmicas, de veiculação hídrica e alimentar, como as verminoses, doenças do aparelho digestivo e cáries dentárias. Observam-se também freqüentes casos de anemia, hepatite, malária e subnutrição. Durante os trabalhos de campo não foi observada nenhuma relação, evidente e direta, entre alguma doença específica com determinada área.

Os sistemas de abastecimento geralmente são constituídos de poços tubulares rasos (<100m). Em alguns casos a água fornecida é superficial. Na maioria dos sistemas a água é fornecida à população sem qualquer tratamento e em poucos é realizada uma cloração.

Com relação ao Bloco I - Nordeste do Pará, o As, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Li, Mg, Mo, Na, Ni, Se, Sr, Ti, V, Cl e F, e os compostos NO₂ e SO₄ tiveram seus resultados abaixo dos teores permitidos para consumo humano (CONAMA-357, MS-518 e/ou pela WHO). O Al, B, Cd, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn e PO₄³⁻ apresentaram resultados mais elevados do que os dos padrões acima mencionados, indicando a imprópriedade para consumo. Destes elementos, pela sua nocividade destacam-se o Al e o Pb, que apresentaram, respectivamente, valores máximos de 18 vezes e 145 vezes, o valor máximo permitido. Não se observou na literatura valores tão elevados de Pb para água de abastecimento. Estes elementos ocorrem em cerca de 80% da região de trabalho, entretanto não apresentam uma boa correlação geoquímica entre si. Em segundo plano destacam-se o Fe e o Cu. A grande abrangência areal, aliada à ordem de grandeza dos resultados de Al, Pb, Fe e Cu, nos permite supor uma origem natural para os teores encontrados. Os demais elementos (Zn, B, Mn, K, Cd, e PO₄) distribuem-se em pequenas áreas ou apresentam valores pontuais, o que pode sugerir também possível contaminação de origem antrópica.

As medidas de pH apresentaram valores de 4 a 6, indicando uma natureza ácida, em cerca de 90% da área de trabalho. Estes valores são considerados como impróprios para o consumo humano e podem estar relacionados à intensa decomposição de substâncias orgânicas e aos elevados índices de pluviosidade, evapotranspiração e lixiviação regionais.

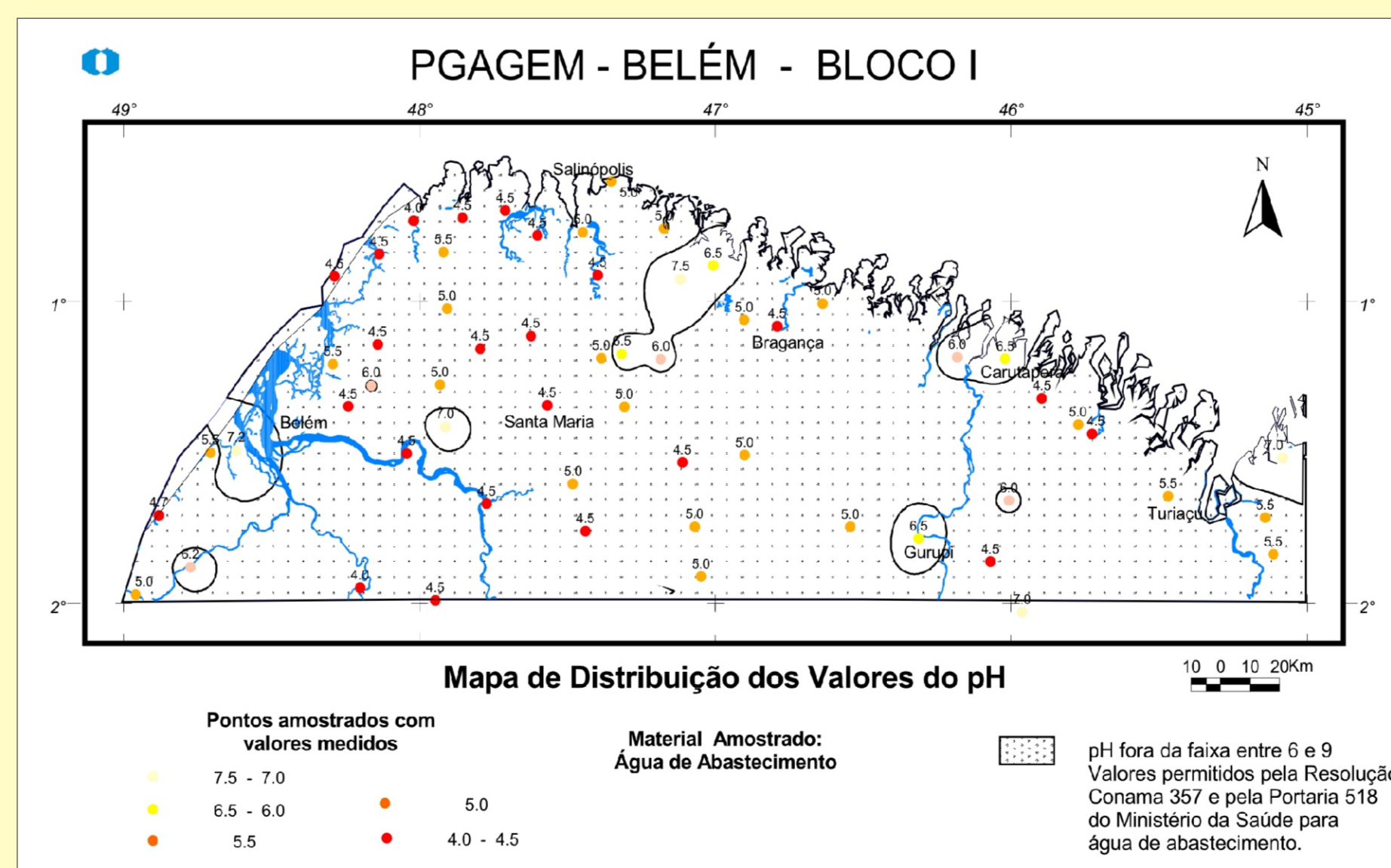
O Ba foi o elemento que apresentou o maior número de amostras com conteúdo impróprio para o consumo humano. Em segundo plano destacam-se o Al, As, Cd, Cu, Se, V, Br e PO₄. Entre as cidades amostradas, apenas em Ribamar Freire não foi observado conteúdo impróprio para o consumo.

As amostras de água de abastecimento coletadas no Bloco V - Altamira apresentaram teores de B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V, Zn, Be, F, Cl, e So, abaixo do limite estabelecido para o consumo humano. Todos os resultados de Al, As e Cd apresentaram teores que coincidiam o limite inferior analítico com o valor máximo permitido pela legislação. Os valores encontrados para Cu, Se, Br e PO₄ são superiores ao valor máximo permitido para consumo humano.

No Bloco IX - Santarém o B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sr, V, Zn, Be, F, Cl, e SO₄ apresentaram valores adequados ao consumo. Para o As e o Cd, os teores encontrados são coincidentes com o limite estabelecido para consumo humano e com o limite inferior analítico. Com relação ao Al, Cu, Pb, Se, Br e PO₄, os teores encontrados são superiores aos padrões estabelecidos para o consumo humano. A cidade de Santarém apresentou o maior número de elementos com conteúdo impróprio para consumo humano: Al, Pb, Se, PO₄ e Br.

No atual estágio da pesquisa torna-se difícil determinar a fonte dos cátions, particularmente dos que apresentaram teores acima do valor máximo permitido pelo CONAMA/MS. Ao observar-se o caráter errático dos elementos e valores anômalos pode-se eliminar a possibilidade de um erro sistemático de amostragem. Uma anomalia de Pb detectada no Bloco I - Nordeste do Pará foi realizada por outro método (Absorção Atômica) sendo confirmado o valor encontrado por ICP, em consequência disto descarta-se a possibilidade de erros analíticos. No local da coleta das amostras não se observou a presença de lixões, indústrias, esgotos ou outras fontes de contaminação, o que reduz a possibilidade de uma contaminação ambiental de cunho pontual. Face ao exposto acredita-se que os elevados teores dos diversos elementos encontrados nas águas de sistemas de abastecimento público estejam relacionados a motivos naturais, particularmente os hidrogeológicos.

Com relação ao Bloco I - Nordeste do Pará onde foi realizado o maior volume de trabalho, o principal aquífero desta região é o Grupo Barreiras. De acordo com os recentes estudos de Miranda (2004) a área fonte desses sedimentos seriam a Faixa Tocantins-Araguaia, a Província Borborema com seus complexos gnáissicos e migmatíticos, o Grupo Gurupi com os granitóides paleoproterozóicos, e o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria e a Província Carajás, com seus granitóides e complexos gnáissicos e migmatíticos. Todos os elementos (Al, B, Cd, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn e P) que apresentaram teores acima do permitido pelo CONAMA-357 / MS-518 no Bloco I são passíveis de serem provenientes das áreas fontes mencionadas. Assim acredita-se que esses elementos, de acordo com as suas propriedades geoquímicas, poderiam associar-se aos diversos condicionamentos geoquímico-estratigráficos presentes no Aquífero Barreiras, tais como: os níveis ricos em matéria orgânica, adsorvido nas argilas, formando compostos com os óxidos e hidróxidos de ferro, constituindo *coating* nos diversos minerais, etc. O pH ácido facilitaria a solubilização de compostos com os metais. Desta maneira esses elementos seriam facilmente transportados pelo movimento das águas subterrâneas, a qual seria captada para os sistemas de abastecimento público e podem estar causando diversos problemas de saúde pública ainda sem motivos conhecidos como, por exemplo, o fato amplamente divulgado pela mídia paraense e por congressos da área médica do relativamente elevado número de casos de câncer do aparelho digestivo que ocorrem no Pará (o maior do Brasil).



A cidade de Augusto Correa (Al, Pb, Cu, Fe, Zn, B e Cd) foi a que apresentou o maior número de elementos nocivos à saúde. Em segundo plano destacam-se as cidades de Cachoeira do Piriá (Pb, Cu, Zn), e Boa Vista do Gurupi (PO₄ e Mn).

Os resultados analíticos do Bloco II - Pará-Maranhão e do Bloco III Tocantins-Piauí demonstraram que os teores de B, Be, Ca, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, SO₄, Zn, F e Cl apresentaram todos os resultados abaixo do valor máximo permitido para consumo humano.