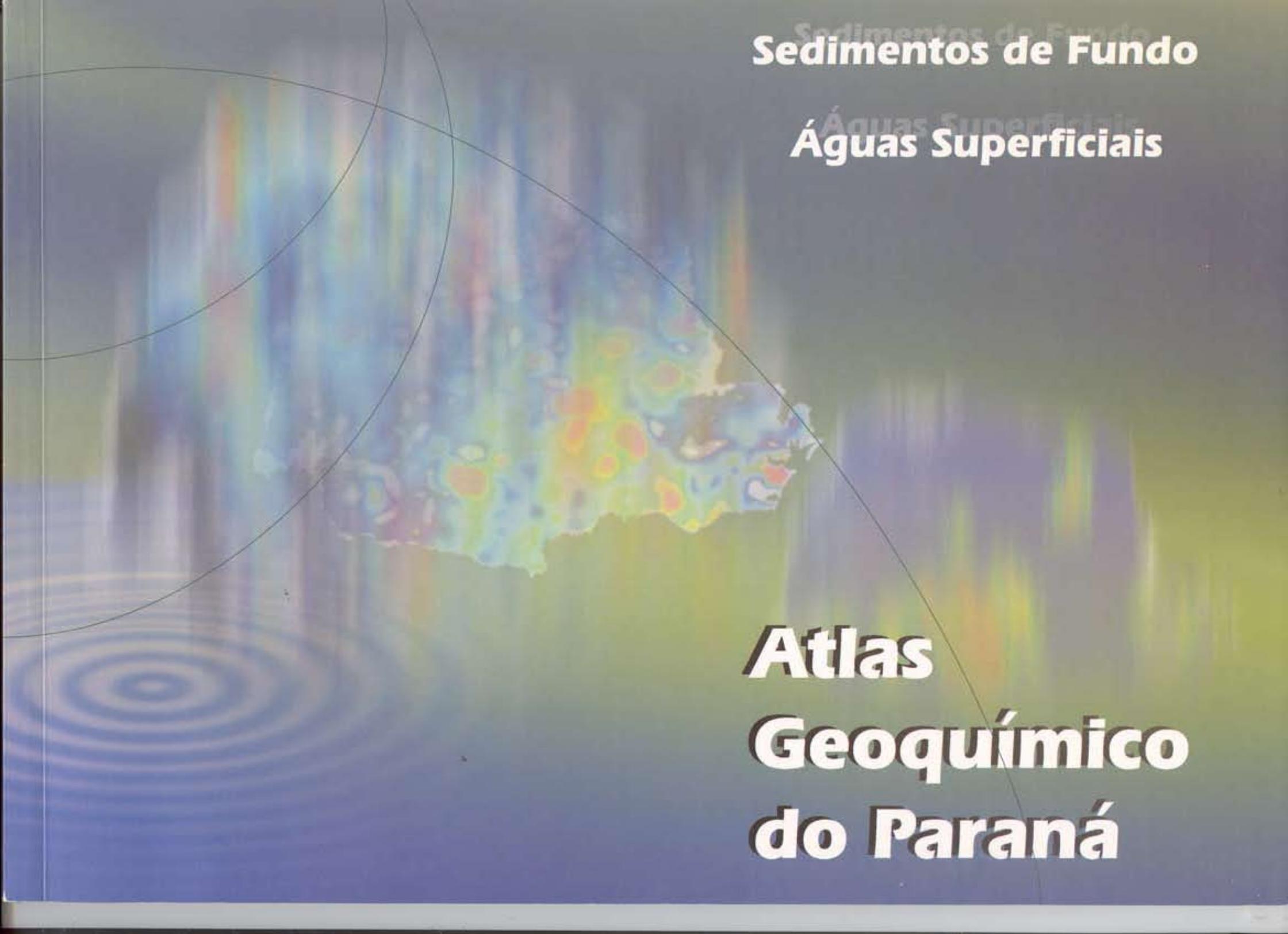


Sedimentos de Fundo  
**Sedimentos de Fundo**

Águas Superficiais  
**Águas Superficiais**



**Atlas**  
**Geoquímico**  
**do Paraná**

# ***ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DO PARANÁ***

**Direitos desta Edição**

Minerais do Paraná S.A.

**FICHA CATALOGRÁFICA**

M 664a

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR  
Atlas geoquímico do Estado do Paraná.  
Curitiba : MINEROPAR, 2001.  
80 p.

1. Geoquímica - Atlas - Paraná. 2. Meio ambiente. 3. Impactos ambientais. 4. Riscos ambientais. I. Licht, Otávio Augusto Boni.  
II. Título.

CDU 550.4 (084.4)

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOQUÍMICAS DO ESTADO DO PARANÁ - SIGEP

***ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DO PARANÁ***

**Geoquímica das águas superficiais  
Geoquímica dos sedimentos de fundo**

Curitiba  
2001

**GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ**

JAIME LERNER

Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO E DO TURISMO**

EDUARDO FRANCISCO SCIARRA

Secretário

**MINERAIS DO PARANÁ S/A - MINEROPAR**

OMAR AKEL

Diretor Presidente

MARCOS VITOR FABRO DIAS

Diretor Técnico

HELOÍSA MONTE SERRAT DE ALMEIDA BINDO

Diretora Administrativo-Financeira

**ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DO PARANÁ**

***Coordenação e elaboração***

Geólogo OTAVIO AUGUSTO BONI LICHT, MS, Dr.  
Gerente Geral do SIGEP

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOQUÍMICAS DO ESTADO DO PARANÁ (Decreto Estadual 4088/94)

***Participação***

Geólogo GIL FRANCISCO PIEKARZ, MS  
Geólogo EDIR EDEMIR ARIOLI

***Colaboração e apoio***

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná - EMATER/PR

Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais - CPRM

Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná - SETI/PR

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES

Câmara Técnica do Sistema de Informações Geoquímicas do Paraná - SIGEP (Decreto Estadual 4389/94)

Comitê Coordenador do Projeto Global Geochemical Baselines - IGCP-360 UNESCO/IUGS

## APRESENTAÇÃO

A MINEROPAR, empresa do Governo do Estado do Paraná com atuação nas áreas de geologia, pesquisa mineral e fomento à atividade industrial, coloca à disposição das instituições públicas, científicas e da sociedade em geral, um importante acervo de informações geoquímicas relativas aos sedimentos ativos e águas superficiais que refletem com precisão parte da composição do solo e das rochas paranaenses, bem como os impactos da ação humana.

A multiplicidade no uso das informações e a consciência de suas funções sociais têm norteado nossos trabalhos, possibilitando que, além do interesse imediato para fins de pesquisa e prospecção mineral, o uso dos dados geoquímicos apresentem a abrangência que a informação científica permite, para uso nos mais diferentes campos de conhecimento, como a saúde, a agricultura e o meio ambiente.

A necessária disponibilidade de dados com multipropósitos, associada aos interesses setorizados dos campos da ciência aplicada, levaram a MINEROPAR a conceber um sistema que permite este interrelacionamento, ao mesmo tempo em que possibilita tratamento da informação com finalidade específica.

A MINEROPAR, com este trabalho, cumpre mais um de seus objetivos, o de gerar dados e informações sobre a geologia do Estado, numa soma de esforços para o avanço do conhecimento do meio físico, importante suporte à melhoria da qualidade de vida dos paranaenses, prioridade do Governo do Estado.

Cabe aqui um agradecimento muito especial à Fundação Araucária, instituição estadual de amparo à pesquisa e ao desenvolvimento científico e tecnológico, cujo apoio financeiro viabilizou o lançamento deste atlas.



OMAR AKEL  
Diretor Presidente  
Minerais do Paraná S/A  
MINEROPAR

## SUMÁRIO

<b>1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>01</b>
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>03</b>
2.1. Amostragem	
2.2. Preparação e Análise	
2.3. Processamento de Dados	
2.4. Cartografia Geoquímica	
<b>3. OS MAPAS GEOQUÍMICOS</b>	<b>07</b>
3.1. Alumínio – águas superficiais	09
3.2. Bário – águas superficiais	11
3.3. Bromo – águas superficiais	13
3.4. Cádmio – sedimentos de fundo	15
3.5. Cálcio – águas superficiais	17
3.6. Chumbo – sedimentos de fundo	19
3.7. Cloro – águas superficiais	21
3.8. Cobalto – sedimentos de fundo	23
3.9. Cobre – sedimentos de fundo	25
3.10. Cromo – sedimentos de fundo	27
3.11. Estrôncio – águas superficiais	29
3.12. Ferro – águas superficiais	31
3.13. Ferro – sedimentos de fundo	33
3.14. Flúor – águas superficiais	35
3.15. Lítio – águas superficiais	37
3.16. Magnésio – águas superficiais	39
3.17. Manganês – águas superficiais	41
3.18. Manganês – sedimentos de fundo	43
3.19. Molibdênio – sedimentos de fundo	45
3.20. Níquel – sedimentos de fundo	47
3.21. Nitrato – águas superficiais	49
3.22. Nitrito – águas superficiais	51
3.23. Potássio – águas superficiais	53
3.24. Sódio – águas superficiais	55
3.25. Sulfato – águas superficiais	57
3.26. Vanádio – sedimentos de fundo	59
3.27. Zinco – sedimentos de fundo	61
3.28. pH da água	63
3.29. Condutividade da água	65
<b>4. MAPAS AUXILIARES</b>	<b>67</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>71</b>

## 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A exploração geoquímica tem na prospeção mineral uma de suas mais antigas e disseminadas aplicações. Baseia-se no conceito que os depósitos minerais representam concentrações anômalas de elementos químicos na crosta da Terra, contrastando fortemente com as rochas encaixantes, estas com teores normais. Pela ação de processos químicos e físicos, essas concentrações anômalas são incorporadas ao ciclo do intemperismo, com a conseqüente dispersão de seus componentes. Esse processo produz um halo de dispersão em forma de leque ou pluma, que configura um alvo muito mais amplo que o próprio corpo mineralizado (Licht, 1998).

A exploração geoquímica examina as propriedades químicas dos materiais naturais, tais como rochas, solos, sedimentos ativos de drenagem, concentrados de minerais, águas superficiais ou subterrâneas, seres vivos, poeira ou gases. Os parâmetros mais comumente medidos nos trabalhos de exploração geoquímica para detecção de jazimentos minerais, são os teores dos elementos ou de compostos químicos, ou então medidas de parâmetros como pH [acidez da amostra] ou condutividade elétrica.

As técnicas de exploração geoquímica têm sofrido uma crescente adaptação às novas necessidades da sociedade. Todos os métodos desenvolvidos para a exploração geoquímica direcionada à exploração mineral são úteis e aplicáveis a estudos da distribuição espacial, da abundância e das carências de elementos químicos ou substâncias de origem natural ou artificial. Isso serve ao conhecimento do quimismo do meio físico, relacionado a diversas áreas do conhecimento, tais como a agronomia, veterinária, saúde pública e monitoramento ambiental. Diversos tipos de doenças endêmicas estão sendo explicadas com este tipo de enfoque, como a doença de Kashin-Beck na República Popular da China, relacionada à carência de selênio. Essa relação foi descoberta após o exame e interpretação dos dados do levantamento geoquímico multielementar do território chinês (Xie Xuejin, 1995, comunicação pessoal).

Essas aplicações modernas das técnicas da exploração geoquímica estão sendo facilitadas pelas pesquisas metodológicas, de campo e laboratório, com o desenvolvimento de novas técnicas de amostragem e de isolamento de frações específicas, como concentrados de proteínas no material húmico de solos e sedimentos de drenagem (Goñi, 1982, comunicação pessoal) ou dos musgos que cobrem as margens dos canais das drenagens em regiões de clima temperado a frio no hemisfério norte. Além dessas, o aperfeiçoamento das técnicas analíticas instrumentais multielementares, como a espectrometria de plasma induzido, a fluorescência de raios X e a espectrofotometria de absorção atômica, têm reduzido de forma drástica os limites de detecção de elementos e substâncias, contribuindo para revelar estruturas e anomalias geoquímicas sutis, porém importantes e significativas (Licht, 1998).

Técnicas modernas de informática têm possibilitado o tratamento de enormes massas de dados geoquímicos multielementares, produzindo imagens de uso compatível com softwares de processamento de imagens e possibilitando sua interpretação integrada com outros temas e mesmo com imagens obtidas por sensores geofísicos ou temáticos multispectrais instalados em aviões ou satélites.

Essa abordagem moderna da exploração geoquímica tem possibilitado a execução de projetos de abrangência regional ou nacional em diversas regiões ou países do mundo, dentre os quais o Brasil. Salientam-se os Projetos das Cartas Geoquímicas do Norte da Escandinávia, da Finlândia, da Grã Bretanha, da Costa Rica, do Alaska e da República Popular da China. Todos esses projetos obedecem padrões estabelecidos pelos Projetos IGCP-259 e IGCP-360 (International Geological Correlation Project) da UNESCO e IUGS (International Union of Geological Sciences).

Durante toda a década de 1970 e a primeira metade dos anos 80, diversos projetos de prospeção mineral foram realizados no Primeiro e Segundo Planaltos Paranaenses, ou seja, o Escudo do Paraná e a seqüência sedimentar da Bacia do Paraná. Executados por organizações estatais ou privadas, produziram enormes quantidades de dados geoquímicos de exploração mineral que tiveram uso restrito à entidade executora ou ao interesse do projeto. Pela sua condição de organização disseminadora do conhecimento geológico e fomentadora da atividade mineral no Estado do Paraná, a MINEROPAR decidiu, em 1992, promover a recuperação desses dados visto os enormes recursos financeiros dispendidos quando da sua geração e pela possibilidade desses dados virem a ser utilizados com interesses diversos da prospeção mineral, como por exemplo no planejamento regional ou localizado, apresentado em Licht e Tarvainen (1996).

Uma das técnicas empregadas, qual seja, análise química de amostras de sedimentos ativos de drenagem, foi desenvolvida e aplicada exclusivamente para prospeção de depósitos minerais, já que regiões com teores anormalmente elevados em certos elementos químicos indicam a presença de fontes ricas nesses elementos, que podem estar relacionadas à mineralizações. Este trabalho adquire maior relevância no momento que alguns aspectos da geoquímica ambiental são examinados a fim de identificar alguns efeitos da atividade humana na alteração dos níveis naturais de abundância de certos elementos por contaminação urbana ou industrial; o reconhecimento de certas áreas que mereçam cuidados especiais relativos à sanidade das populações e dos rebanhos devido a níveis elevados de certos elementos tóxicos; a delimitação de regiões com abundâncias ou carências naturais de micro e macronutrientes, assessorando o planejamento de aplicação de corretivos e fertilizantes agrícolas (BGS, 1991). Elementos como o flúor e o zinco, são benéficos à saúde apenas em pequenas quantidades e tóxicos quando em excesso. Já o cádmio e o chumbo, são tóxicos mesmo em teores reduzidos.

O Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade do Estado do Paraná abrange áreas urbanizadas, peri-urbanas e rurais com intensidades variáveis de ocupação humana. Dessa maneira, a distribuição espacial dos padrões e feições geoquímicas reflete o ambiente natural (riscos geoquímicos) ou a ação do homem (impactos geoquímicos), ou em certas situações, a superposição desses dois agentes. Assim, o uso da informação e do dado geoquímico vai depender sempre de investigações mais detalhadas e do objetivo da pesquisa, no sentido de identificar o agente produtor da anomalia geoquímica. A quantidade e variedade de dados geoquímicos contidos neste Atlas permitem que sejam usados

elementos isolados, grupos de elementos e mesmo a combinação dos teores de um mesmo elemento objetivando a delimitação de regiões de interesse para diversos tipos de diagnósticos.

A interpretação dos padrões geoquímicos e sua influência sobre o ambiente deve ser feita pela ótica dos especialistas em geologia, agronomia, saúde pública, saneamento, fiscalização ambiental, dentre outras. Por esse motivo, não foi incluída no Atlas qualquer consideração de caráter geológico para evitar uma tendência *a priori* que viesse a prejudicar a visão multidisciplinar que deve nortear a interpretação dos mapas geoquímicos.



Figura 1 - Cartograma de localização do Estado do Paraná

## 2 - METODOLOGIA

### 2.1 - AMOSTRAGEM

A amostragem foi planejada de modo a proporcionar uma completa cobertura do território paranaense que compreende cerca de 200.000 km<sup>2</sup>. A área total amostrada foi de 165.646 km<sup>2</sup>, correspondendo a 83 % do Estado do Paraná. A área das 697 microbacias amostradas (das 737 planejadas) variou entre 26 km<sup>2</sup> e 183 km<sup>2</sup>, com média de 224 km<sup>2</sup>. A coleta de amostras em bacias de grande porte foi realizada apenas numa estação localizada no Rio Chopim (Bacia do Rio Iguacu) a montante da sede do município de São João, visando comparar os resultados obtidos com os das bacias de área menor.

As amostras foram coletadas nos canais dos rios, no local de maior fluxo d'água, onde os sedimentos e a água sofrem constante homogeneização. As amostras de água foram coletadas em uma única tomada, em recipiente de polietileno de um litro. Para aumentar a homogeneidade e representatividade, as amostras de sedimentos ativos de drenagem foram compostas por no mínimo cinco tomadas, espaçadas de alguns metros, totalizando dez litros de material.

A coleta das amostras foi realizada em duas campanhas: a primeira, executada pelos Escritórios Locais e Regionais da EMATER/PR aconteceu entre 15/outubro/1995 e 15/dezembro/1995, produziu cerca de 90% das amostras; a segunda, de complementação de amostragem foi realizada por equipe da MINEROPAR entre 28/abril/1997 e 24/maio/1997.

### 2.2 - PREPARAÇÃO E ANÁLISE

As amostras, após a coleta, foram remetidas ao Laboratório da MINEROPAR, onde sofreram o seguinte processamento:

**água** - revisão das condições da embalagem e da identificação da amostra. Envio das amostras ao Laboratório de Análises Mineraias da Companhia de Pesquisas de Recursos Mineraias (LAMIN/CPRM) para filtragem em milipore (abertura 90 µm) e análise química em espectrometria de plasma (ICP) e cromatografia iônica (CI).

**sedimentos ativos de drenagem (SAD)** - após uma revisão das condições da embalagem, as amostras foram secas a temperatura ambiente, desagregadas e peneiradas em malha de náilon de 80 mesh (0,162 mm) no Laboratório da MINEROPAR. Uma alíquota de cada amostra de sedimento foi arquivada para reanálises de verificação ou novos procedimentos analíticos.

Não foram elaborados os mapas dos elementos Ag, Cr, Cu, Ga, Ti, W, Cd, V, Co, Ni, Pb, B, Li, Zn e Mo nas águas (Tabela 1) e Ag nos sedimentos de fundo (Tabela 2), em virtude da pequena quantidade ou da grande dispersão geográfica dos valores válidos (maiores que o Limite de Detecção Analítico).

Elemento/ composto	Método analítico	Limite de Detecção	Menor que o Limite de Detecção		Valores válidos	
			N	%	N	%
Ag (prata)	ICP-ES	0,05 mg/L	697	100	0	0
Cr (cromo)	ICP-ES	0,02 mg/L	697	100	0	0
Cu (cobre)	ICP-ES	0,02 mg/L	697	100	0	0
Ga (gálio)	ICP-ES	0,05 mg/L	697	100	0	0
Ti (títio)	ICP-ES	0,20 mg/L	697	100	0	0
W (tungstênio)	ICP-ES	0,20 mg/L	697	100	0	0
Cd (cádmio)	ICP-ES	0,02 mg/L	697	100	0	0
V (vanádio)	ICP-ES	0,02 mg/L	696	99,86	1	0,14
Co (cobalto)	ICP-ES	0,02 mg/L	696	99,86	1	0,14
Ni (níquel)	ICP-ES	0,05 mg/L	696	99,86	1	0,14
Pb (chumbo)	ICP-ES	0,05 mg/L	696	99,86	1	0,14
B (boro)	ICP-ES	0,20 mg/L	694	99,57	3	0,43
Li (lítio)	ICP-ES	0,01 mg/L	692	99,28	5	0,72
Zn (zinco)	ICP-ES	0,02 mg/L	672	96,41	25	3,59
Mo (molibdênio)	ICP-ES	0,02 mg/L	642	92,11	55	7,89
NO <sub>2</sub> (nitrito)	CI	0,02 mg/L	639	91,68	58	8,32
Al (alumínio)	ICP-ES	0,25 mg/L	622	89,24	75	10,76
In (índio)	ICP-ES	0,05 mg/L	619	88,81	78	11,19
PO <sub>4</sub> (fosfato)	CI	0,02 mg/L	599	85,94	98	14,06
Sr (estrôncio)	ICP-ES	0,01 mg/L	580	83,21	117	16,79
Ba (bário)	ICP-ES	0,05 mg/L	565	81,06	132	18,94
Mn (manganês)	ICP-ES	0,02 mg/L	534	76,61	163	23,39
Br (bromo)	CI	0,02 mg/L	463	66,43	234	33,57
Fe (ferro)	ICP-ES	0,02 mg/L	293	42,04	404	57,96
F (flúor)	CI	0,001 mg/L	233	33,43	464	66,57
SO <sub>4</sub> (sulfato)	CI	0,02 mg/L	50	7,17	647	92,83
NO <sub>3</sub> (nitrato)	CI	0,02 mg/L	11	1,58	682	98,42
Cl (cloro)	CI	0,02 mg/L	13	1,87	684	98,13
Na (sódio)	ICP-ES	0,25 mg/L	3	0,43	694	99,57
Ca (cálcio)	ICP-ES	0,20 mg/L	1	0,14	696	99,86
K (potássio)	ICP-ES	0,10 mg/L	1	0,14	696	99,86
Mg (magnésio)	ICP-ES	0,05 mg/L	1	0,14	696	99,86

Tabela 1 – Quantidade de amostras de água analisadas (N) e respectivas proporções de resultados analíticos válidos e abaixo do limite de detecção analítico.

Elemento	Método analítico	Limite de Detecção	Menor que o Limite de Detecção		Valores válidos	
			N	%	N	%
Ag (prata)	58 AA 2	0,2 ppm	690	100	0	0
Cd (cádmio)	58 AA 2	0,2 ppm	687	99,56	3	0,43
Co (cobalto)	58 AA 2	0,5 ppm	2	0,29	688	99,71
Cu (cobre)	58 AA 2	0,5 ppm	3	0,43	687	99,56
Cr (cromo)	58 AA 2	1 ppm	5	0,72	685	99,28
Fe (ferro)	58 AA 1	0,01 %	0	0	690	100
Li (lítio)	58 AA 2	0,1 ppm	0	0	627	100
Mn (manganês)	58 AA 2	1 ppm	0	0	690	100
Mo (molibdênio)	58 AA 2	1 ppm	625	90,58	65	9,42
Ni (níquel)	58 AA 2	0,5 ppm	8	1,16	682	98,84
Pb (chumbo)	58 AA 2	2 ppm	15	2,17	675	97,83
V (vanádio)	58 AA 2	1 ppm	0	0	690	100
Zn (zinco)	58 AA 2	0,5 ppm	0	0	690	100

Tabela 2 - Quantidade de amostras de sedimentos de fundo analisadas (N) e respectivas proporções de resultados analíticos válidos e abaixo do limite de detecção analítico.

Chave para o método analítico	Ataque	58 = ataque HNO <sub>3</sub> concentrado e à quente
	Método analítico	AA = espectrofotometria de absorção atômica
	Unidade	1 = % (por cento); 2 = ppm (partes por milhão)

A fração <80 mesh sofreu abertura por meio de ataque químico e metodologia analítica adequada a obter o conteúdo total de cada elemento, no LAMIN/CPRM. O teor total nos sedimentos de fundo indica a presença do elemento químico, independente da forma em que se apresenta naquela bacia, seja a estrutura de um mineral natural, ou participando na composição de um efluente industrial ou pesticida agrícola ou ainda dejetos urbanos. Já os teores dos elementos químicos dissolvidos na água (na forma iônica) são os que merecem maior atenção, sob o ponto de vista ambiental e sanitário, pois representam a fração passível de absorção imediata pelos seres vivos e de contaminação de aquíferos superficiais e subterrâneos.

Para construção dos mapas e estimadores estatísticos, os teores menores que o limite de detecção do método analítico foram considerados como a metade do limite de detecção, o que significa atribuir 0,05 ppm como teor de uma amostra onde o procedimento analítico identificou < 0,1 ppm.

### 2.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS

As bases de dados geoquímicos do Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade do Estado do Paraná foram constituídas em arquivos digitais em formato dBASE III e dividem-se em três partes :

*a. dados de localização e de posicionamento* - os dados relativos ao posicionamento espacial de cada estação de amostragem foram obtidos por meio de leitura direta na base cartográfica em meio digital.

*b. dados descritivos do sítio da estação de amostragem* - obtidos diretamente no campo, por observação do amostrador, registrada em ficha padronizada adequada às características do levantamento;

*c. dados analíticos* - campos que contêm resultados de análises geoquímicas ou físico-químicas.

### 2.4 - BASE CARTOGRÁFICA

A base cartográfica do Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade do Paraná foi obtida por meio de digitalização manual de 14 cartas planialtimétricas em escala 1:250.000 (IBGE), no sistema gráfico MaxiCAD (Setor de Geoprocessamento/IPARDES), com conversão e geocodificação em ambiente ARC/INFO e ArcView.

### 2.5 - CARTOGRAFIA GEOQUÍMICA

Para a representação das superfícies geoquímicas complexas que definem as tendências geoquímicas dos elementos aqui considerados, foi necessário realizar a regularização das malhas de amostragem. Essa regularização diz respeito ao espaçamento e a distribuição espacial dos dados originais. O ponto de amostragem foi deslocado de sua posição real para o baricentro da microbacia. Esse procedimento foi adotado considerando que o ponto de coleta da amostra não representa apenas um ponto mas sim uma área (a microbacia) e que os pontos originais estão concentrados ao longo das linhas das drenagens principais.

Os dados geoquímicos obtidos durante Levantamentos Geoquímicos Multielementares representam a composição química das águas e dos sedimentos de fundo de cada microbacia amostrada. Em certas situações, bacias isoladas podem apresentar alterações na composição geoquímica esperada para a região. Essas alterações podem estar relacionadas a fontes naturais (ocorrências minerais e estruturas geológicas, tipos de solo, vegetação, dentre outros) ou fontes artificiais (depósitos de lixo doméstico, efluentes industriais, resíduos de pesticidas agrícolas, dentre outros). O exame de um mapa geoquímico pode ser feito buscando os padrões de comportamento geoquímico regionais ou então identificando as anomalias localizadas.

Para o traçado das curvas de contorno dos mapas geoquímicos, foram selecionados o valor mínimo, os percentis 5, 10, 15, 25, 50, 75, 90, 92, 94, 96 e 98 e o valor máximo das

células na malha regularizada. Para salientar as áreas anômalas negativas e positivas, foi adotada uma escala cromática variando desde cores frias (cinza, preto e azul escuro) até cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) correspondendo à variação dos teores baixos até altos. Em alguns mapas, foi necessário, adequar os intervalos de valores e respectiva escala de cores de forma a apresentar a estruturação geoquímica claramente. Os mapas geoquímicos foram elaborados com o software Surfer for Windows versão 6.0.

As tendências e a estruturação geoquímica dos elementos selecionados foram calculadas com os seguintes parâmetros:

Método de interpolação	Krigagem ordinária (Ordinary Kriging). isotrópica
Método de busca	Simplex, dos 24 pontos mais próximos
Raio de busca (isótropo)	35.000 m
Dimensões das células	Leste: 4.496 m
	Norte: 3.355 m
Quantidade de células	Leste: 150
	Norte: 150
	Total: 22.500

Tabela 3 – Parâmetros empregados na interpolação e estimação dos dados para produção dos mapas geoquímicos

### 3 – OS MAPAS GEOQUÍMICOS

A composição de uma amostra de água ou de sedimento de fundo de um canal de drenagem reflete a composição química média de toda bacia hidrográfica à montante do ponto de coleta.

Uma amostra de água contém fases minerais em suspensão e uma carga iônica em solução. Já uma amostra de sedimento de fundo é mais complexa pois é constituída por minerais ou fragmentos de rocha resistentes ao processo de intemperismo, detritos produzidos pela atividade biológica, material mineral fino produzido pelo intemperismo como argilo-minerais e óxidos hidratados de Fe e Mn. A todo esse conjunto de origem natural, somam-se os produtos e resíduos líquidos ou sólidos provenientes da atividade humana.

A análise química de uma amostra de água ou de sedimento de fundo, então, reflete a soma das características químicas dos materiais que ocorrem na bacia hidrográfica.

Mapas geoquímicos são elaborados com base nos resultados de análises químicas de amostras de água ou de sedimentos de fundo, coletadas em um conjunto de bacias hidrográficas. Desse modo, são capazes de retratar a atuação de fontes naturais ou antrópicas no território investigado, discriminando regiões com excesso (anomalias positivas) ou escassez (anomalias negativas) de elementos químicos.

Anomalias expressas nos mapas hidrogeoquímicos (produzidos a partir da coleta e análise de amostras de água) merecem atenção especial, já que representam a fração química passível de agregação imediata ao ciclo biológico.

As anomalias caracterizadas nos mapas geoquímicos apresentados neste Atlas devem ser consideradas como identificadoras de fontes naturais e antrópicas de expressão regional.

Como apoio à interpretação multidisciplinar, junto aos mapas geoquímicos são fornecidas informações sobre as características geoquímicas, fontes naturais e usos e a importância na nutrição e toxidez de cada elemento. Uma tabela resume as estatísticas do elemento ou do íon, nos sedimentos de fundo ou nas águas superficiais no Estado do Paraná, estabelecendo níveis de referência para trabalhos posteriores.

# ALUMÍNIO - Al

## a. Características geoquímicas

O alumínio é um elemento metálico que ocorre na natureza nos estados de oxidação +1 e +3. Depois do oxigênio e do silício, é o elemento mais importante nas rochas da crosta terrestre com abundância média de 8%. Nas rochas, o alumínio está presente nos minerais silicatados combinado com metais alcalinos, alcalino-terrosos e ferro. Especialmente nos minerais máficos, ele pode ser substituído completa ou parcialmente dentro do retículo cristalino pelo ferro, titânio e cromo.

## b. Fontes naturais

Sua concentração nas rochas mostra as seguintes variações: 8,3% nos gabros, 7,3% nos granitos e 9,1% nas mica-xistos (Koljonen *et al.*, 1992).

Os feldspatos e os minerais máficos que contêm alumínio e cálcio são facilmente intemperizados, enquanto que os feldspatos potássicos e plagioclásio sódico são resistentes. Os sedimentos residuais contêm em média cerca de 2,5% de alumínio. O alumínio dissolvido é enriquecido nos sedimentos, geralmente nas argilas, e por isso suas concentrações são altas nas rochas ricas em argilo-minerais como os mica-xistos. Sob condições climáticas tropicais, o alumínio migra lentamente e forma a bauxita, que é sua principal fonte industrial. Nas lateritas, o alumínio é enriquecido junto com o ferro (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

O alumínio pode ser liberado nas operações de fabricação de utensílios domésticos e industriais e materiais de construção. A limpeza de utensílios domésticos (p.ex. panelas) com palha de aço libera micropartículas de alumínio; da mesma maneira águas tratadas e fluoretadas apresentam poder corrosivo sobre os utensílios domésticos de alumínio.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O teor limite de Al para a água potável é estabelecido pela US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) em 0,2 ppm, já que teores mais elevados prejudicam o gosto e o cheiro da água (ATSDR, 1995).

Apesar de o alumínio ser um constituinte do pigmento da planta, não é um nutriente essencial, mas pelo contrário, quando presente em excesso e na forma iônica, é prejudicial.

O papel desempenhado pelo alumínio na fisiologia humana não é bem conhecido. Embora o metal seja ingerido através dos alimentos e da água, acredita-se que grande parte seja eliminado. O Al foi detectado nas células do cérebro de pacientes do mal de Alzheimer, muito embora a relação de causa e efeito entre a presença do metal e a doença ainda não esteja clara (ATSDR, 1995).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,39 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 4 a 27 ppm, no fígado 3 a 23 ppm, nos músculos 0,7 a 28 ppm. A quantidade média de Al numa pessoa de 70 kg é de 60 mg e a ingestão diária é de 2,45 ppm. A dosagem de 5 mg é considerada como tóxica (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

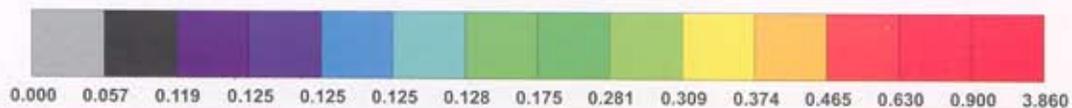
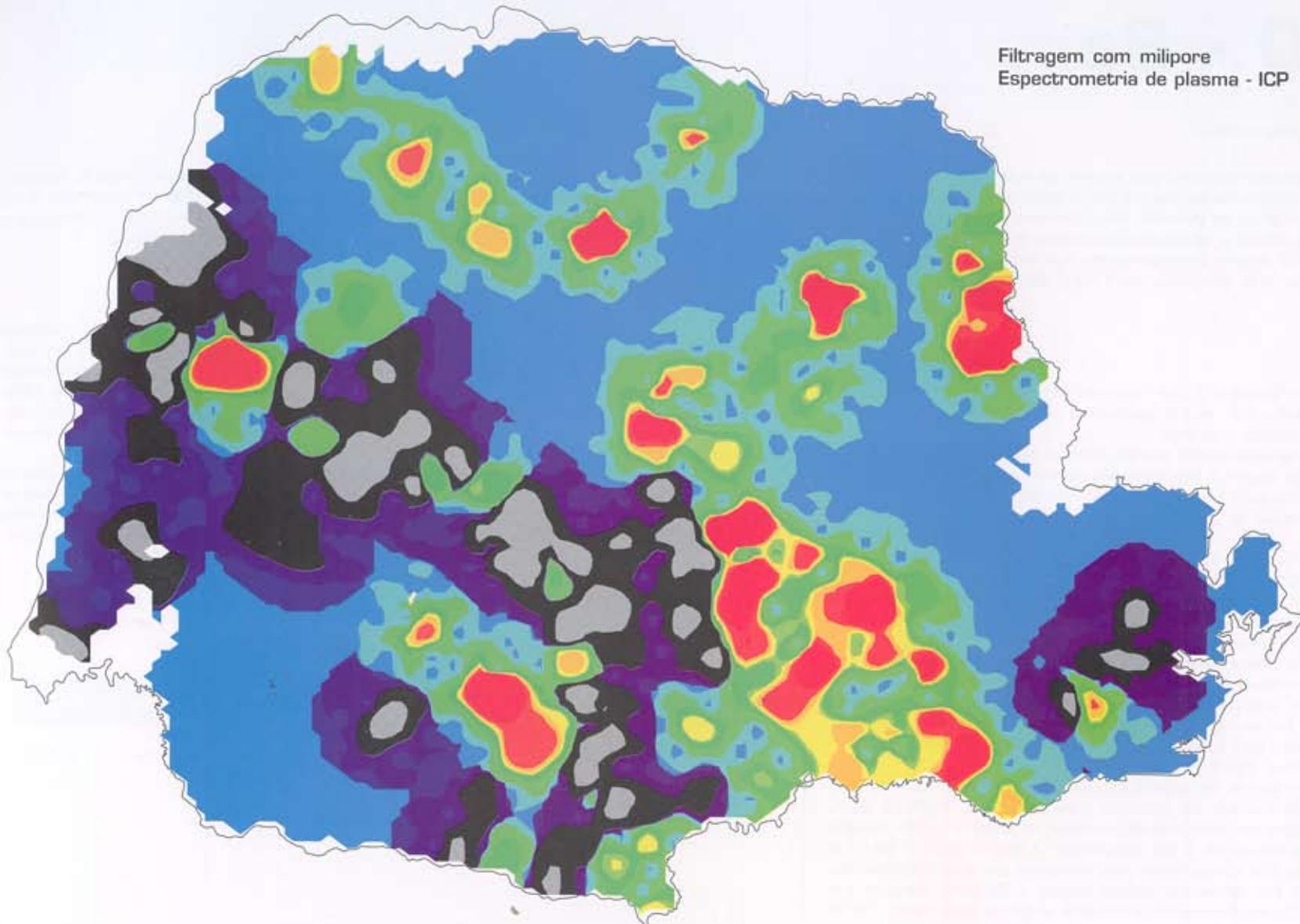
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Al <sup>3+</sup> (mg/L) (água)	697	0,02	0,125	0,125	0,173	0,125	3,86	0,876

# Águas superficiais - Al<sup>3+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Al<sup>3+</sup> (mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# BÁRIO - Ba

## a. Características geoquímicas

O bário é um elemento alcalino-terroso, que ocorre na natureza no estado de oxidação +2. Durante a diferenciação magmática, o bário é removido das fusões silicatadas quando os minerais e feldspatos potássicos [Koljonen *et al.*, 1992]. Durante os processos ígneos, o Ba ocorre principalmente nos feldspatos potássicos e micas Ba<sup>2+</sup> substituindo o K<sup>+</sup>, ambos com raio iônico de 1,45 Å [Wedepohl, 1978 in BGS, 1991].

## b. Fontes naturais

As concentrações de bário tendem a ser maiores nos feldspatos do que nos filosilicatos. O Ba<sup>2+</sup> também substitui o Ca<sup>2+</sup> nos plagioclásios, piroxênios e anfibólios, bem como nos minerais não-silicáticos, calcita e apatita.

As soluções hidrotermais e diferenciações tardias contêm tipicamente o íon sulfato que liga e precipita o bário em barita (BaSO<sub>4</sub>). Nas soluções hidrotermais e na água do mar a precipitação é quase total. A barita está sempre presente nas mineralizações sulfetadas e algumas vezes é recuperada durante os processos de beneficiamento [Koljonen *et al.*, 1992].

A abundância média de bário é de 500 ppm na crosta terrestre, 300 ppm nos gabros, e 600 ppm nos granitos [Koljonen *et al.*, 1992]. O teor de Ba nas rochas ígneas geralmente aumenta com o teor de Si [Ure e Berrow, 1982 in BGS, 1991], mas concentrações muito baixas (< 200 ppm) foram registradas em granitos altamente evoluídos [Plant *et al.*, 1980 in BGS, 1991]. O mineral mais importante de Ba, a barita, associa-se frequentemente aos depósitos de minerais metálicos. Nas rochas sedimentares, as concentrações do Ba refletem a abundância dos feldspatos potássicos, dos minerais argilosos e dos óxidos hidratados de Fe e Mn (que podem adsorver este elemento; Wedepohl, 1978 in BGS, 1991). O teor médio de Ba nas rochas sedimentares é de 538 ppm, com os valores mais baixos nas carbonatadas (em torno de 90 ppm) e os maiores nos arcósios e folhelhos (> 600 ppm) [Ure e Berrow, 1982 in BGS, 1991].

Os feldspatos detriticos, as micas e, em menor extensão, a barita são os principais minerais portadores de Ba nos sedimentos de corrente [Ure e Berrow, 1982 in BGS, 1991]. A dissolução do Ba é geralmente baixa nestes minerais, embora a biotita mostre liberação rápida sob condições de baixos Eh e pH [Boettcher, 1966 in BGS, 1991]. A dispersão do Ba nas águas de superfície é controlada pela presença dos óxidos hidratados de Fe e Mn, que adsorvem o Ba<sup>2+</sup>. Em ambientes menos ácidos, o Ba pode também ser removido das soluções por sorção de argilo-minerais e matéria orgânica [Wedepohl, 1978 in BGS, 1991].

Durante o intemperismo, o bário é adsorvido pelas soluções coloidais e depositado em sedimentos e em minerais argilosos. Sob condições normais ele pode formar compostos solúveis e insolúveis.

## c. Fontes artificiais e uso

O sulfato de bário é usado em tintas, contrastes para diagnósticos em raios X, vidraria; na forma de barita é usado como componente das lamas de perfuração para petróleo e na fabricação da borracha; o carbonato de bário é usado como veneno para ratos; o nitrato e o clorato são usados para dar cores verdes aos fogos de artifício [Winter, 1998].

## d. Importância na nutrição e toxidez

Os compostos insolúveis não são perigosos à saúde e são utilizados pela medicina como meio de contraste aos raios X. Entretanto, os compostos de Ba muito solúveis em água podem causar efeitos danosos à saúde humana, já que o bário não é considerado um nutriente e quando na forma iônica é altamente tóxico [Koljonen *et al.*, 1992]. A ingestão de altos níveis de Ba pode causar problemas no aumento da pressão sanguínea, dificuldades respiratórias, mudanças no ritmo cardíaco, irritações no estômago, flacidez muscular e danos ao coração, fígado, rins e outros órgãos [ATSDR, 1995].

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,068 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 3 a 70 ppm, no fígado 0,04 a 1,2 ppm, nos músculos 0,09 ppm [Winter, 1998]. A quantidade média de Ba numa pessoa de 70 kg é de 22 mg [Winter, 1998]. A ingestão diária de uma pessoa é de 0,6 a 1,7 mg Ba. A dosagem de 100 a 200 mg na forma de carbonato de bário, é tóxica e a de 418 mg/kg em ratos é considerada como letal [Winter, 1998].

## e. Tabela-resumo das estatísticas

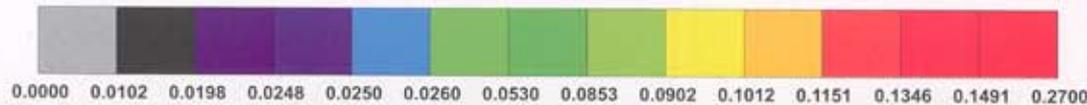
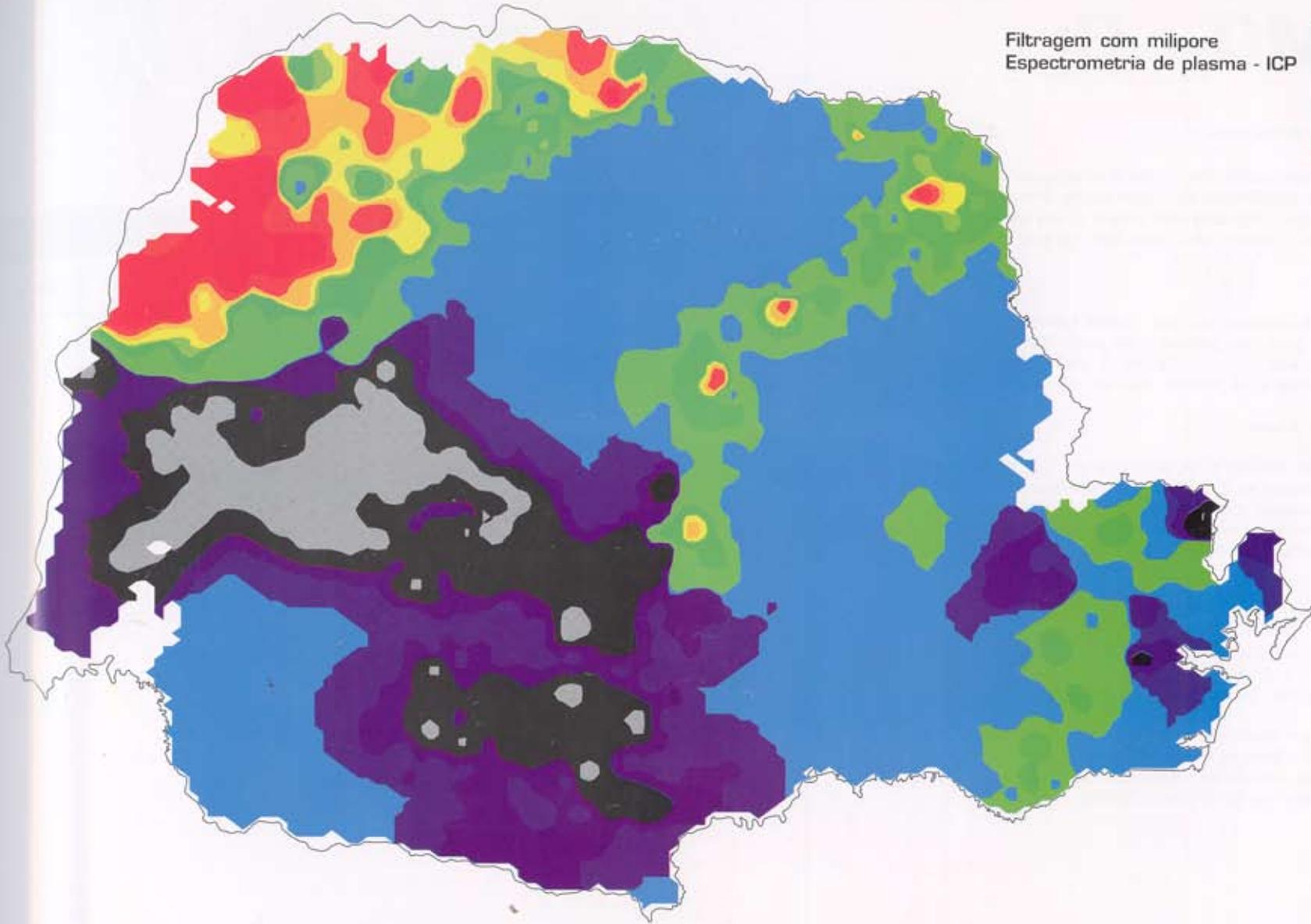
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Ba <sup>2+</sup> (mg/L) (água)	697	0,007	0,025	0,025	0,035	0,025	0,27	0,0102

# Águas superficiais - Ba<sup>2+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Ba<sup>2+</sup>(mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# BROMO - Br

## a. Características geoquímicas

O bromo é um elemento não-metálico da família dos halogêneos (flúor, cloro, bromo e iodo) e apresenta-se naturalmente no estado líquido. Como todos os halogêneos é um elemento litófilo (tem afinidade pelo silício); o seu raio atômico, 1,96 Å, é semelhante ao do cloro e assim o bromo pode substituí-lo na estrutura dos minerais.

## b. Fontes naturais

O bromo raramente está concentrado nas rochas ígneas. Os teores médios de bromo nos basaltos é de 2,67 ppm, nos gabros 2,00 ppm, nos granitos 1,60 ppm, e nos sienitos 1,07 ppm (Rankama e Sahama, 1954). A maior fonte natural de bromo está nos evaporitos, fontes termais e na própria água do mar (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

O maior uso industrial do bromo é na produção do 1,2 dibromoetano (etileno dibrometo), um produto que associado ao chumbo é usado como antidetonante da gasolina. Entretanto, essa aplicação vem caindo devido aos problemas ambientais, o que afetará a produção desse elemento. Outros usos importantes: produção de pesticidas, agentes a prova de fogo, inibidores de chama em plásticos, produtos fotográficos e medicamentos (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

É um líquido marrom-avermelhado, denso, volátil e extremamente perigoso. O vapor avermelhado tem um cheiro desagradável, que assemelha-se ao do cloro, e com efeito irritante nos olhos e garganta. Quando em contato com a pele, produz ferimentos dolorosos.

O bromo é encontrado em todos os animais e vegetais marinhos (Rankama e Sahama, 1954) e pode ser um elemento essencial para a vida de certas espécies de algas vermelhas e talvez para os mamíferos, mas o seu papel na fisiologia dos animais superiores não é claramente estabelecido (Winter, 1998).

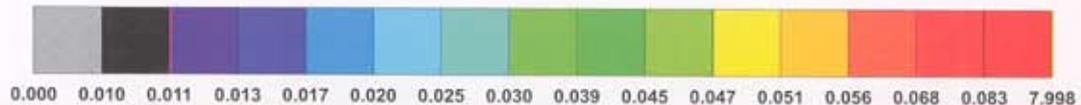
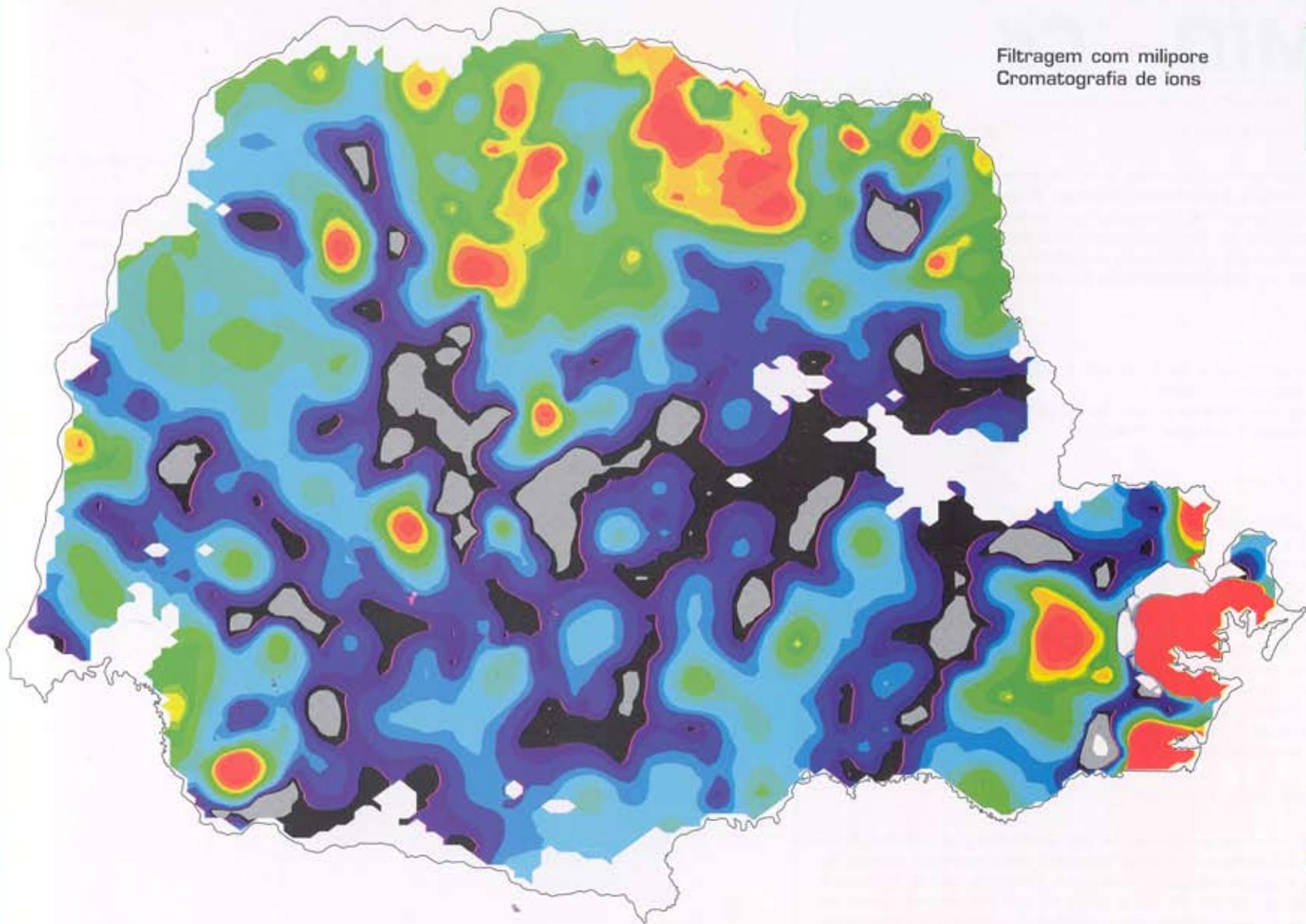
## e. Tabela-resumo das estatísticas

### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Br <sup>-</sup> (mg/L) (água)	627	0,01	0,01	0,020	0,048	0,030	8,50	0,172

Filtragem com milipore  
Cromatografia de ions

Br<sup>-</sup> (mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# CÁDMIO - Cd

## a. Características geoquímicas

O cádmio é um metal branco-azulado, muito mole (facilmente cortado com uma faca). Em muitos aspectos é semelhante ao zinco. É essencialmente calcófilo (afinidade pelo enxofre) e assim está presente em muitos minerais sulfetados. Os teores de cádmio na blenda (sulfeto de zinco) mostram uma correlação direta com os teores de zinco. Durante os processos de cristalização magmática, o cádmio concentra-se nas fases residuais e hidrotermais de baixa temperatura (Rankama e Sahama, 1954).

## b. Fontes naturais

A grande maioria do cádmio utilizado pelo homem é obtido como subproduto da fundição dos minérios de zinco, chumbo ou cobre.

O teores médios de cádmio nos granitos variam de 0,12 a 0,2 ppm, e nas rochas básicas de 0,02 a 0,2 ppm (Rankama e Sahama, 1954).

## c. Fontes artificiais e uso

O cádmio tem diversas aplicações industriais, mas é usado principalmente na indústria metalúrgica, pigmentos e tintas, baterias e plásticos. (ATSDR, 1989).

A aplicação de fertilizantes fosfatados ou lama de esgoto, pode aumentar os níveis de cádmio nos solos, podendo aumentar os teores nos vegetais cultivados. O cádmio não é comumente encontrado nas águas em teores expressivos, embora possa contaminar os aquíferos através de depósitos de resíduos domésticos e/ou industriais (ATSDR, 1989). A maior fonte de poluição de cádmio é a queima de combustíveis fósseis (tais como carvão ou óleo) ou na incineração de resíduos sólidos urbanos. Pode escapar para a atmosfera através das emissões de fundições de zinco, chumbo e cobre. O fumo é outra importante fonte de cádmio. O tabaco, como outras plantas, contém concentrações expressivas de cádmio que são absorvidas pelo organismo durante a inalação da fumaça do cigarro. Os fumantes têm duas vezes mais cádmio que os não-fumantes (ATSDR, 1989).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cádmio pode entrar na corrente sanguínea ao ser absorvido pelo estômago ou intestinos após ingestão de água ou alimentos, ou por absorção pelos pulmões através do ar. A absorção através da pele é muito pequena. Apenas 1 a 5% do que é ingerido é absorvido pelo sangue, enquanto que cerca de 30 a 50% do que for inalado entra na corrente sanguínea. Entretanto, uma vez absorvido pelo organismo, o cádmio é fortemente

retido, assim, mesmo pequenas dosagens podem constituir elevados teores no organismo caso essa ingestão perdure por longos períodos (ATSDR, 1989).

O cádmio pode ser um elemento importante em quantidades extremamente reduzidas, atuando como estimulante do metabolismo (Winter, 1998). No entanto, todos os compostos de Cd devem ser vistos como extremamente tóxicos, já que têm efeito cumulativo, provocam danos nos rins, são carcinogênicos (produção de câncer) e podem ser teratogênicos (produção de deformidades congênitas) (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,0052 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 1,8 ppm, no fígado 2 a 22 ppm, nos músculos 0,14 a 3,2 ppm. A quantidade média de Cd numa pessoa de 70 kg é de 50 mg (Winter, 1998) e a ingestão diária varia entre 0,007 - 3 mg. A ingestão de 17 mg/kg de cloreto de cádmio por via oral em ratos é tóxica e a de 63 mg/kg de cloreto de cádmio por via oral em porcos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

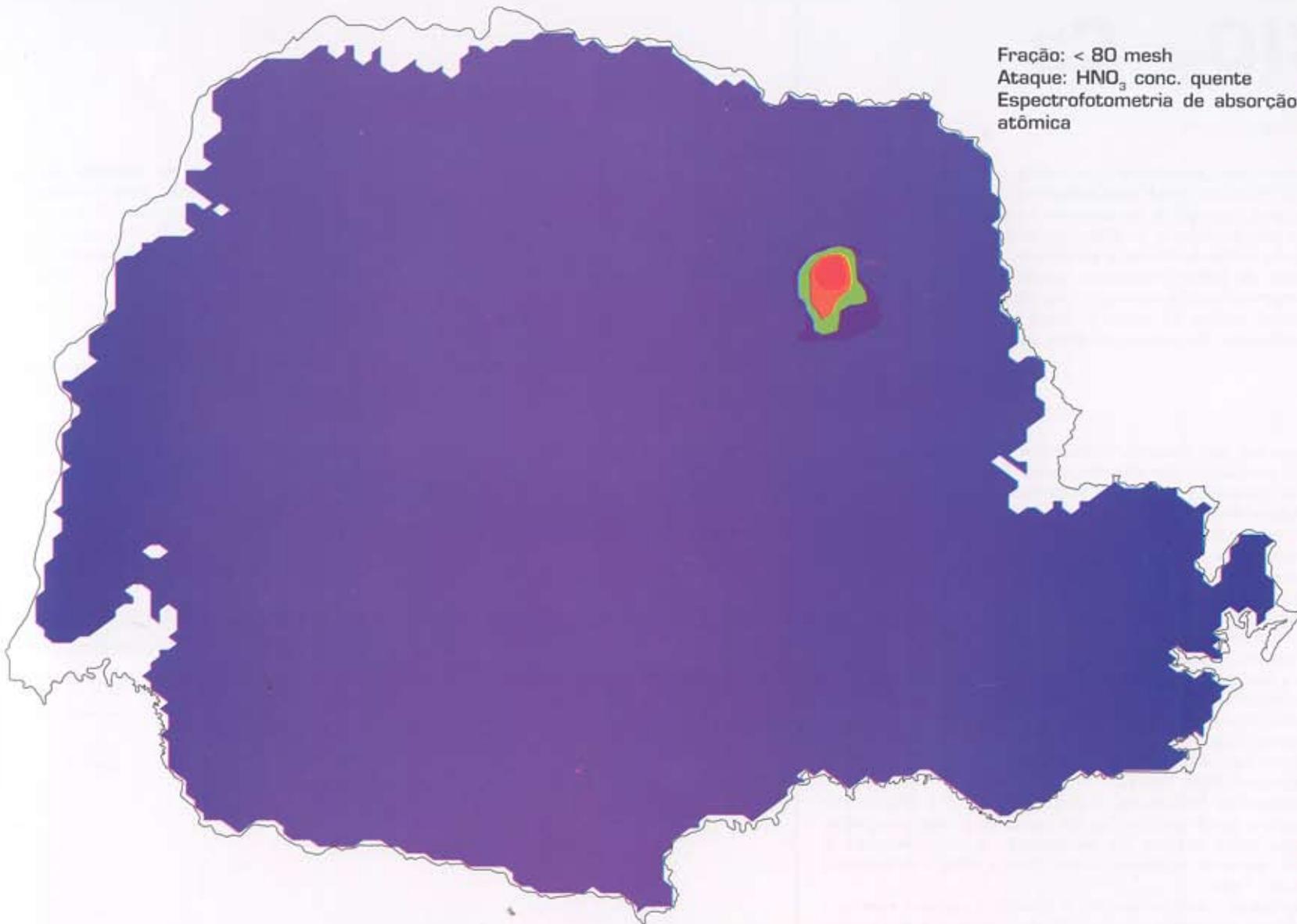
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Cd (ppm) (SAD)	690	0,10	0,10	0,10	0,111	0,10	4,4	0,0408

# Sedimentos de fundo - Cd (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Cd (ppm)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# CÁLCIO - Ca

## a. Características geoquímicas

O cálcio é o quinto elemento mais abundante nas rochas da crosta continental, constituindo cerca de 3,5% do seu peso (Ure e Berrow, 1982 in BGS, 1991). É um metal alcalino-terroso, que ocorre na natureza no estado de oxidação +2 (Koljonen *et al.*, 1992). Forma um grande número de silicatos, carbonatos e fosfatos e é um constituinte dos plagioclásios e de muitos anfibólios e piroxênios. Nas redes cristalinas, o cálcio é parcialmente substituído por sódio, manganês, estrôncio, itrio e elementos terras raras, de modo que seu comportamento geoquímico controla a ocorrência de vários elementos-traço nas rochas. O maior volume de cálcio é fixado no primeiro estágio de cristalização e é um elemento característico das rochas máficas, pobres em sílica (Koljonen *et al.*, 1992).

## b. Fontes naturais

É um dos principais componentes dos minerais formadores das rochas, tais como os plagioclásios e o diopsídio, sendo enriquecido por isto nas rochas básicas e ultrabásicas, particularmente naquelas em que os plagioclásios formam fenocristais. O Ca é geralmente refratário ao metamorfismo de médio e alto grau, mas pode ser mobilizado por alterações de baixa temperatura, formando minerais secundários, tais como calcita, dolomita e granadas. Nos gabros a concentração média é 7,4% Ca e nos granitos é 0,9% Ca (Koljonen *et al.*, 1992). Na maioria das rochas sedimentares, as concentrações de Ca refletem a abundância de calcita ou dolomita, embora sulfatos (como gipsita e anidrita) possam ser importantes, particularmente em arenitos e evaporitos. Em alguns sedimentos detriticos, os plagioclásios são os principais hospedeiros de Ca (BGS, 1991).

Por efeito da drenagem natural, o Ca é liberado durante o intemperismo dos plagioclásios, piroxênios, anfibólios e epidotos, bem como dos carbonatos e sulfatos. Destas fases, o  $\text{CaCO}_3$  tem a menor solubilidade em águas alcalinas, mas dissolve-se rapidamente em ambientes moderadamente ácidos. Em solução, o Ca ocorre principalmente na forma dissociada  $\text{Ca}^{2+}$ , exceto sob condições fortemente alcalinas, mas pode ser removido por troca catiônica com  $\text{H}^+$  sob condições eletronegativas, na superfície dos argilo-minerais e por incorporação à matéria orgânica viva (BGS, 1991).

Minerais de cálcio intemperizam-se facilmente. O cálcio dissolvido é cristalizado dentro dos sedimentos ou precipitado a partir de soluções na forma de calcita, aragonita, dolomita, fosfato, e principalmente como apatita. Na evaporação o cálcio também é precipitado como gipsita, um mineral típico de depósitos de sal, onde o cálcio é cristalizado num estágio precoce (Koljonen *et al.*, 1992).

Depósitos sedimentares de rochas calcárias (calcita e dolomita), gipsita, apatita e fosforita são as mais importantes fontes industriais de cálcio. Carbonatitos, que são rochas carbonáticas magmáticas, também são exploradas como fontes industriais de carbonato de cálcio (dolomita e apatita) (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

É empregado como agente redutor nos processos industriais de obtenção de metais como tório, urânio e zircônio; desulfurizante e decarbonizante de várias ligas ferrosas e não ferrosas. É um agente de ligas de berílio, alumínio, cobre, chumbo e magnésio. Age na captura de gases residuais em tubos de vácuo. A cal ( $\text{CaO}$ ) usada na construção civil, tratamento de água e muitos outros processos industriais, é produzida pelo aquecimento do calcário. O cálcio obtido de calcários é um componente importante do cimento Portland (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cálcio é um nutriente essencial para todos os seres vivos e o constituinte mais importante de paredes celulares, fluidos do corpo e ossos (Koljonen *et al.*, 1992). Desempenha também um importante papel na coagulação sanguínea. Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 60,5 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 170.000 ppm, no fígado 100 - 360 ppm, nos músculos 140 - 700 ppm (Winter, 1998). A quantidade média de Ca numa pessoa de 70 kg é de 1,00 kg e a ingestão diária é de 600 - 1.400 mg (Winter, 1998). A ingestão de 6.450 mg/kg de carbonato de cálcio por via oral em ratos, é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

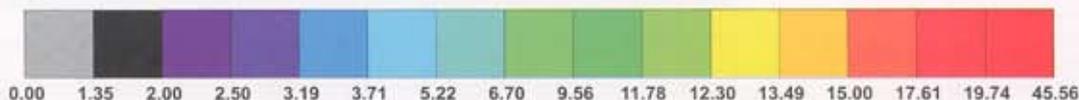
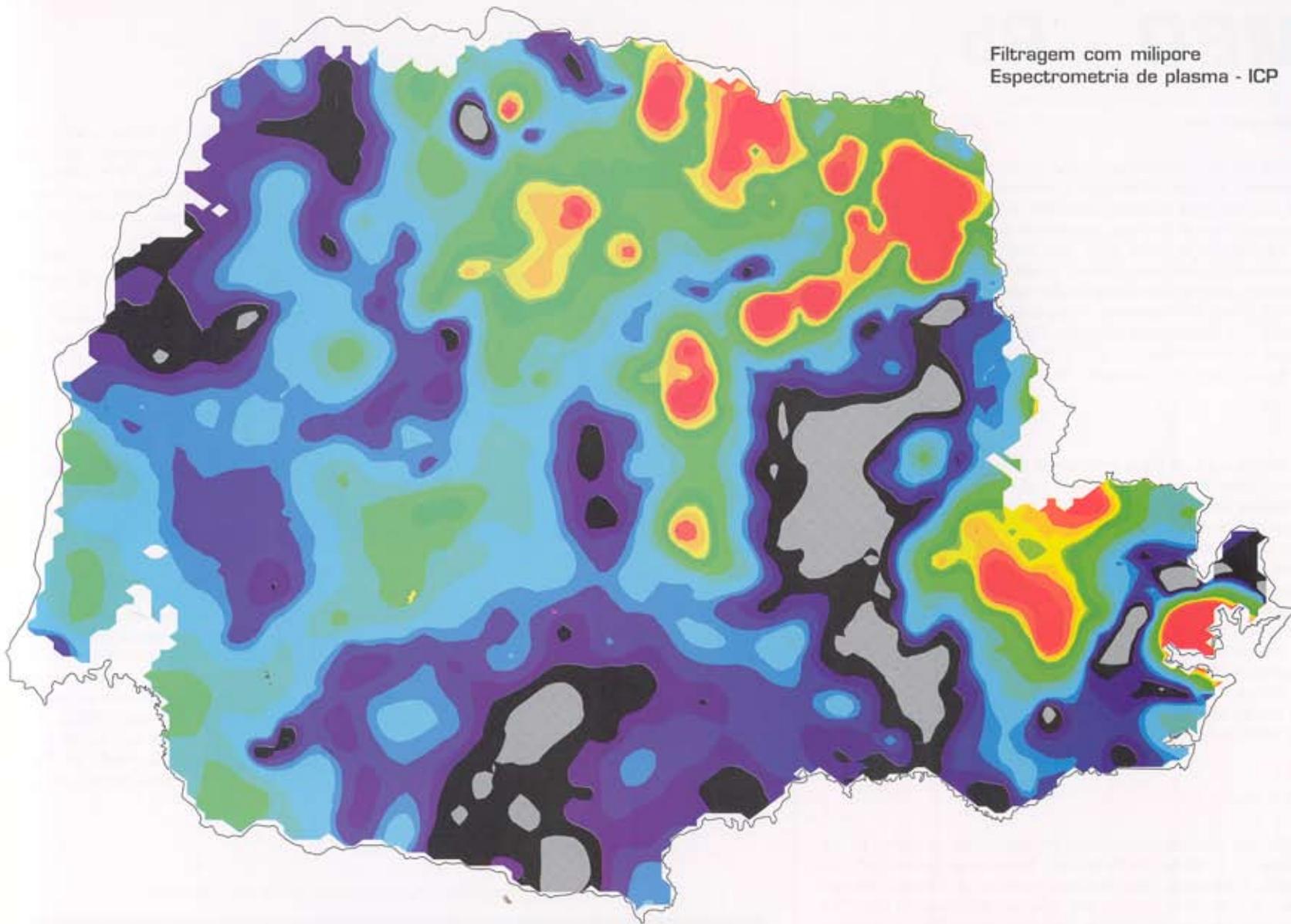
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Ca <sup>2+</sup> (mg/L) (água)	697	0,10	2,30	3,810	6,005	7,14	48,61	39,803

# Águas superficiais - Ca<sup>2+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Ca<sup>2+</sup>(mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# CHUMBO - Pb

## a. Características geoquímicas

O chumbo é um metal cinza-azulado, brilhante, mole, muito maleável, dúctil e um fraco condutor de eletricidade. É muito resistente à corrosão, mas torna-se opaco quando exposto ao ar. É um elemento calcófilo (afinidade com o enxofre) e por isso, isolado ou combinado com outros metais, forma diversos minerais sulfetados.

O íon  $Pb^{2+}$  tem raio iônico intermediário entre o  $K^+$  e o  $Ca^{2+}$ , e conseqüentemente ocorre, por substituição, nos feldspatos potássicos, micas, e em menor quantidade nos plagioclásios e apatitas. Por este motivo, as rochas ígneas ácidas são mais enriquecidas em chumbo que as básicas. O chumbo é móvel nos estágios finais dos processos magmáticos (MacDonald *et al.*, 1973, in BGS, 1991) e fortemente calcófilo. Pode se dispersar durante o metamorfismo de baixo grau (Gebauer e Grunfelder, 1977 in BGS, 1991) tendo sido esta perda também relatada nos granulitos (Sighinolfi e Gorgoni, 1978, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

Em rochas sedimentares, a distribuição do Pb é controlada pela presença de minerais detriticos (tais como feldspatos, micas e sulfetos), argilo-minerais e matéria orgânica. Carbonatos puros (cerca de 5 ppm Pb) e arenitos (cerca de 10 ppm Pb) são caracteristicamente empobrecidas com relação aos folhelhos (cerca de 23 ppm Pb). As rochas sedimentares com teores mais elevados são os folhelhos negros, refletindo a afinidade do Pb pela matéria orgânica.

As fases principais do Pb nos sedimentos de drenagem são os feldspatos potássicos, micas e em menor importância plagioclásios e silicatos ferro-magnesianos. Nas proximidades de mineralizações hidrotermais, podem ocorrer sulfetos de Pb tais como a galena. Sob pH elevado, essas fases podem persistir e se acumular em concentrações significativas, produzindo níveis tão elevados de  $SO_4$  e  $CO_3$  dissolvidos que formam coberturas protetoras de baixa solubilidade. Entretanto, em drenagens ácidas, o PbS é dissolvido e se dispersa em taxas controladas pela disponibilidade de óxidos de Fe e Mn para sorção. Em alguns casos, a co-precipitação e a adsorção do Pb em associação à estes óxidos produzem níveis anômalos de Pb em sedimentos de drenagem, o que pode ser verificado pela correlação com Fe, Mn, Co, Ba e As (BGS, 1991).

## c. Fontes artificiais e uso

Em 1988, a produção mundial do chumbo proveniente de operações mineiras foi de 3,4 milhões de toneladas e a de sucata 2,3 milhões de toneladas. Observa-se assim que uma grande quantidade do chumbo utilizado é reciclada. No consumo mundial, o chumbo situa-se na sexta posição entre os metais (Fe > Al > Mn > Cu > Zn > Pb). Seu uso em baterias (50-70% do consumo total) continua a crescer, mas seu uso em aditivos antidetonantes (5%) na gasolina está caindo rapidamente devido aos problemas ambientais. Há também o uso do chumbo como revestimento em cabos elétricos (3-4%), em tubos e barras, em ligas, como pigmento de tinta (vermelho e branco) e como escudo anti-radiação (Koljonen *et al.*, 1992).

O chumbo é mole e altamente dúctil, mas quando ligado a 10% de antimônio, é obtida

uma variedade dura, adequada a baterias e revestimentos de cabos. Fios de solda contêm 35% Pb e 65% Sn. Uma liga resistente, dura e de difícil rompimento utilizada na fabricação de moedas é composta de 84% Pb, 4% Sn e 12% Sb. O metal de Wood (50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn e 12,5% Cd) funde com grande facilidade (até com o calor de um fósforo) e é utilizado nos modernos sistemas antifogo. Outras ligas e compostos químicos são utilizados em baterias, vidros e cristais, cerâmicas, borracha e revestimentos (Koljonen *et al.*, 1992).

Apesar dos problemas ambientais associados ao chumbo serem tão agudos, o consumo do metal deve continuar aumentando, pois o chumbo utilizado em baterias não pode ser substituído economicamente por qualquer outro metal (Koljonen *et al.*, 1992).

O chumbo tetraetil (PbEt<sub>4</sub>) é ainda hoje utilizado como antidetonante na gasolina sendo responsável por uma parcela considerável do chumbo encontrado na biosfera. Por esse motivo está sendo eliminado nos países com compromisso ecológico (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O chumbo não é um elemento essencial na nutrição e está presente na natureza em concentrações muito baixas. Os microrganismos do solo são mais sensíveis ao chumbo que as plantas superiores. O chumbo é bastante fixado nas porções superiores do solo e por este motivo, a maior parte do chumbo encontrado nas plantas é de origem antropogênica, produzido pelas fumaças de motores a gasolina contendo chumbo tetraetil (antidetonante) e transportado pelo ar (Koljonen *et al.*, 1992).

Os animais absorvem chumbo pela ingestão e inalação e ele se acumula nos tecidos ricos em cálcio tais como ossos, fígado e rins. Os animais e os seres humanos, e especialmente os fetos, bebês e crianças ficam assim expostos a riscos para a saúde e seus músculos e fluidos podem conter concentrações consideradas como tóxicas. A acumulação de chumbo nas porções calcificadas do corpo continua até aproximadamente os dezesseis anos. Os maiores efeitos tóxicos do chumbo nos animais, incluem anemia, disfunções neurológicas e renais (Koljonen *et al.*, 1992). Apesar de o chumbo ser tóxico, a maior parte do que é ingerido, passa pelo organismo sem ser absorvido porém, tem efeito cumulativo, e pode ser carcinogênico e teratogênico (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,21 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 3,6 a 30 ppm, no fígado 3 a 12 ppm, nos músculos 0,23 a 3,3 ppm. A quantidade média de Pb numa pessoa de 70 kg é de 120 mg (principalmente nos ossos) e a ingestão média diária é de 0,06 a 0,5 mg.

## e. Tabela-resumo das estatísticas

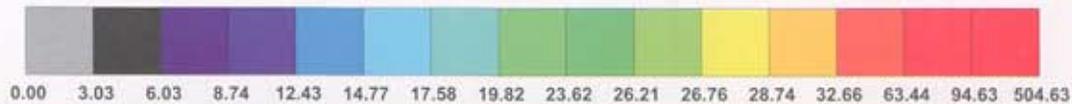
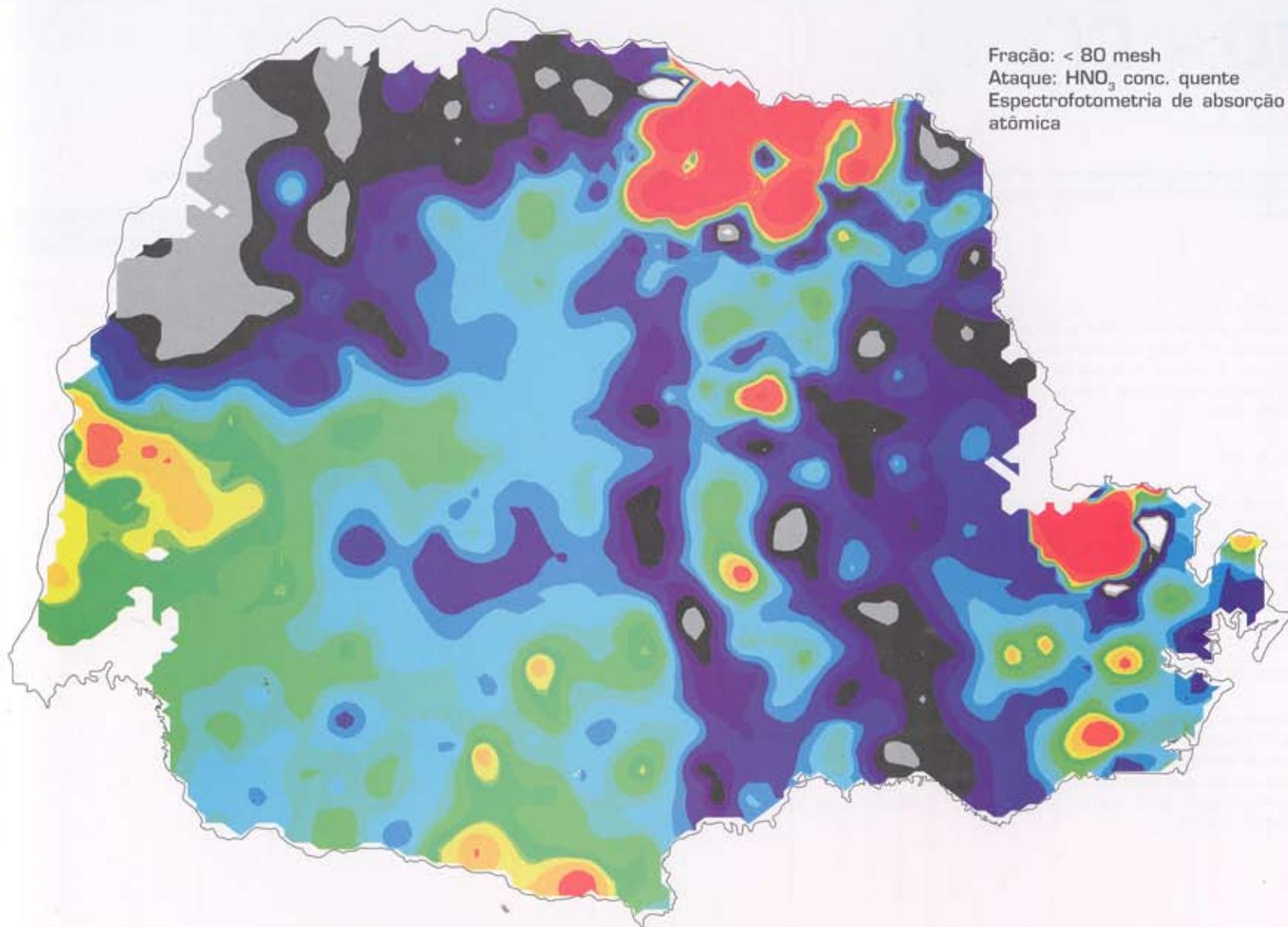
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Pb (ppm) (SAD)	690	1,00	8,00	14,00	18,59	20,00	580,00	1.084,78

# Sedimentos de fundo - Pb (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Pb (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# CLORO - Cl

## a. Características geoquímicas

O cloro é o halogênio (grupo da tabela periódica composto por flúor, cloro, bromo e iodo) mais abundante na natureza e tem caracter fortemente litófilo (elemento com afinidade pelo silício).

## b. Fontes naturais

O cloro encontra-se nas rochas ígneas na forma do ion Cl<sup>-</sup>. Nessas, participa da constituição de minerais pouco comuns como clorosulfatos (clorotinita) e clorocarbonato (fosgenita). Como silicato está presente na série sodalita-helvita, escapolitas e eudialita. Nas fumarolas e sublimados vulcânicos, é comum a presença do salmiac (NH<sub>4</sub>Cl).

A cloroapatita é um mineral comum nas rochas ígneas básicas. O sal comum (NaCl) é a fonte natural mais importante do cloro.

## c. Fontes artificiais e uso

O cloro é usado em todo mundo para a produção de água potável, em virtude de suas propriedades bactericidas. É muito empregado como agente na produção de papéis, têxteis, produtos do petróleo, antissépticos, inseticidas, solventes, tintas, plásticos e muitos outros produtos industriais.

A maior parte do cloro é usada na produção de agentes clorados de limpeza, desinfetantes, clorofórmio e tetracloreto de carbono e em tubos de PVC para abastecimento d'água potável.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cloro é encontrado em praticamente todas as espécies vegetais (exceto as coníferas) e em todas as espécies de animais. A abundância maior é nos animais marinhos inferiores; em algumas espécies de antozoários, o esqueleto chega a apresentar 0,3% Cl. As funções biológicas do cloro são variadas: crescimento dos vegetais, componente dos sucos gástricos, atuando no transporte dos metais nos organismos, quantidade de água nos tecidos e na pressão osmótica (Rankama e Sahama, 1954).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

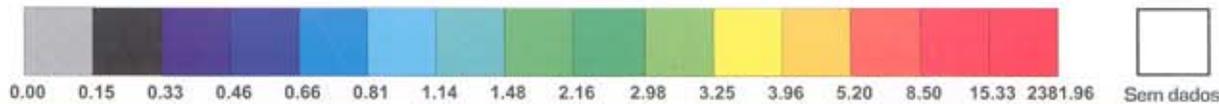
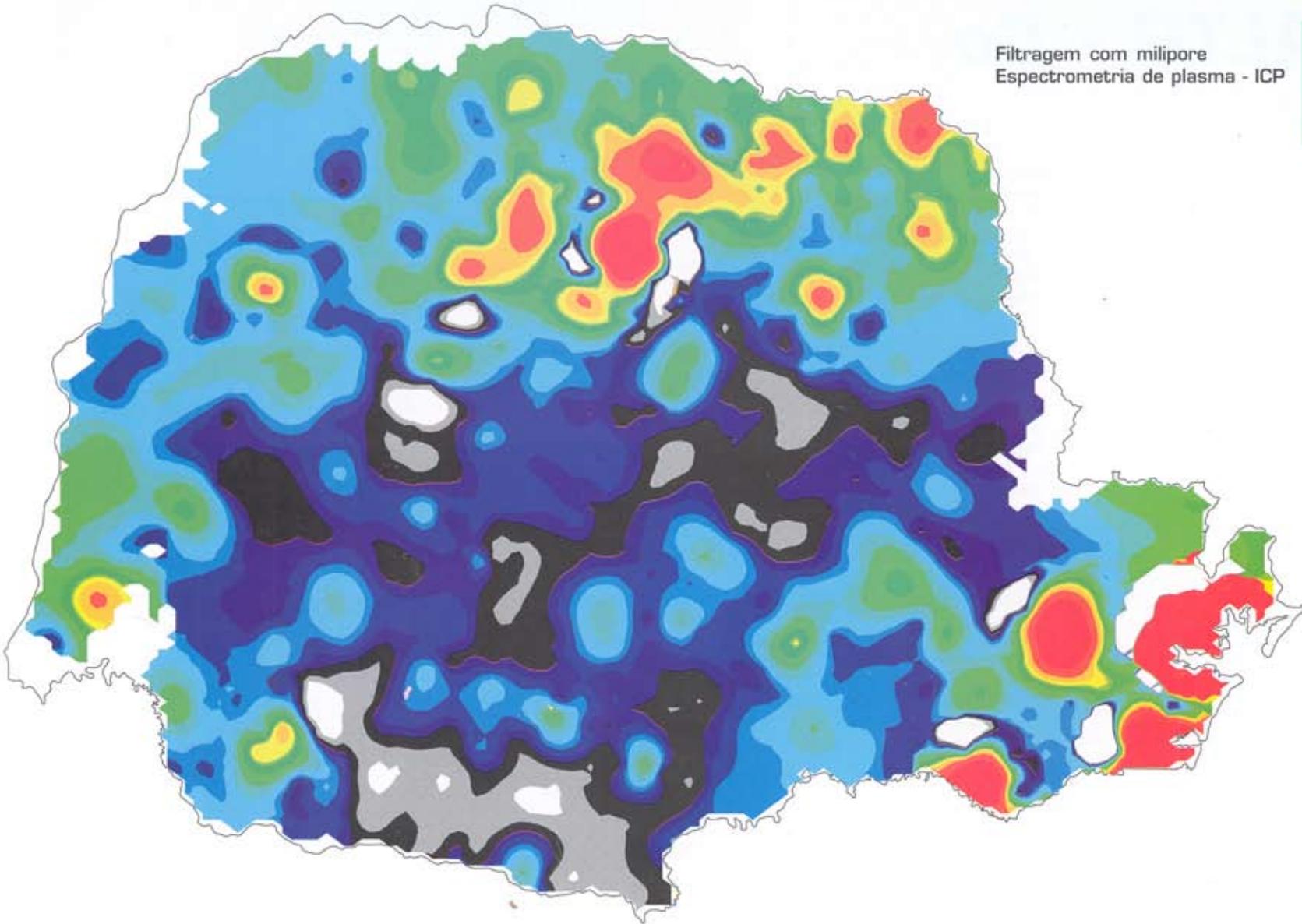
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Cl <sup>-</sup> (mg/L) (água)	697	0,008	0,430	0,800	7,720	1,50	2.530,00	13.909,61

# Águas superficiais - Cl<sup>-</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Cl<sup>-</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# COBALTO - Co

## a. Características geoquímicas

**D**urante os processos magmáticos iniciais o  $\text{Co}^{2+}$ , substitui o  $\text{Fe}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{2+}$  que são similares em carga e raio iônico. Deste modo o Co é mais enriquecido nas rochas básicas que nas ácidas (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991). O Co desempenha suas propriedades calcófilas e é particionado entre as fases sulfeto (linneita) e sulfoarseniato (cobaltita). Ele pode também estar associado aos sulfetos de Fe como piritita e pirrotita, e com óxidos acessórios tais como a magnetita (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). O Co é considerado como imóvel durante os processos metamórficos (Condie, 1976; Nicollet e Andriambololona, 1980, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

Nas rochas sedimentares o Co tende a acompanhar o Fe e Mn e concentra-se nas frações finas. Minerais como o quartzo, feldspato e carbonato de cálcio puro, geralmente apresentam muito pouco Co (<2 ppm). Os arcósios e grauvacas são mais enriquecidos, e os teores de Co refletem a abundância de minerais máficos nestas rochas (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). Teores de Co de cerca de 50 ppm são comuns em argilitos muito finos. Os teores médios de Co em folhelhos negros são um pouco mais baixos (Vine e Tourtelot, 1970, in BGS, 1991) indicando que a complexação organo-metálica não é um mecanismo de enriquecimento importante.

Uma grande quantidade do Co nos sedimentos de drenagem está contida nas fases detríticas, incluindo os silicatos ferromagnesianos, óxidos primários e sulfetos metaestáveis. Vários desses minerais (notadamente os sulfetos e sulfoarsenietos de Co) liberam  $\text{Co}^{2+}$  durante o intemperismo, sob condições ácidas (MacKenzie, 1975, in BGS, 1991). Por isso, o tamanho das plumas de dispersão do Co depende do teor de argila no sedimento e da presença das espécies e da valência do Fe e Mn (Calvert e Price, 1977; Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). Fases de Fe hidratadas (tais como a goethita) são geralmente os mais importantes captadores do Co, muito embora a coprecipitação com minerais de Mn neoformados tais como a birnessita, pode ser também importante em certas condições de pH (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial de cobalto foi de 27.000 toneladas em 1988. A maior parte do cobalto é destinada a superligas de Ni, Cr, Co e Mo da indústria aeroespacial (30-40% do consumo), aço inoxidável (Co-Cr-Fe), magnetos permanentes (Al-Ni-Co e Sm-Co), para a sinterização de carbetos de W, Ti, Ta e Nb utilizados no aumento da resistência de aço de

ferramentas (10%), e para usos químicos e cerâmicos (30%). Existem vários substitutos efetivos para o cobalto; em aplicações de menor demanda ele pode ser substituído por níquel e ferro (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cobalto é um nutriente essencial sendo fundamental na produção de vitamina  $\text{B}_{12}$ , porém, em elevadas concentrações ele é tóxico e cancerígeno.

Em regiões onde existe carência de cobalto no solo, os animais ruminantes tendem a não apresentar um desenvolvimento adequado (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,0002 - 0,04 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 0,01 - 0,04 ppm, no fígado 0,06 - 1,1 ppm, nos músculos 0,028 - 0,65 ppm. A quantidade média de Co numa pessoa de 70 kg é de 3 mg e a ingestão média diária é de 0,005 - 1,8 mg. A dosagem de 500 mg é tóxica e a de 80 mg/kg de cloreto de cobalto via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

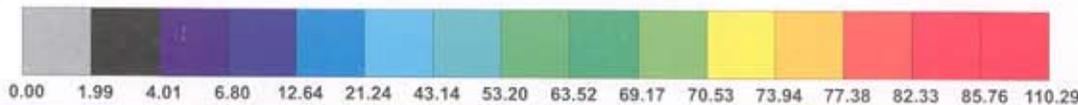
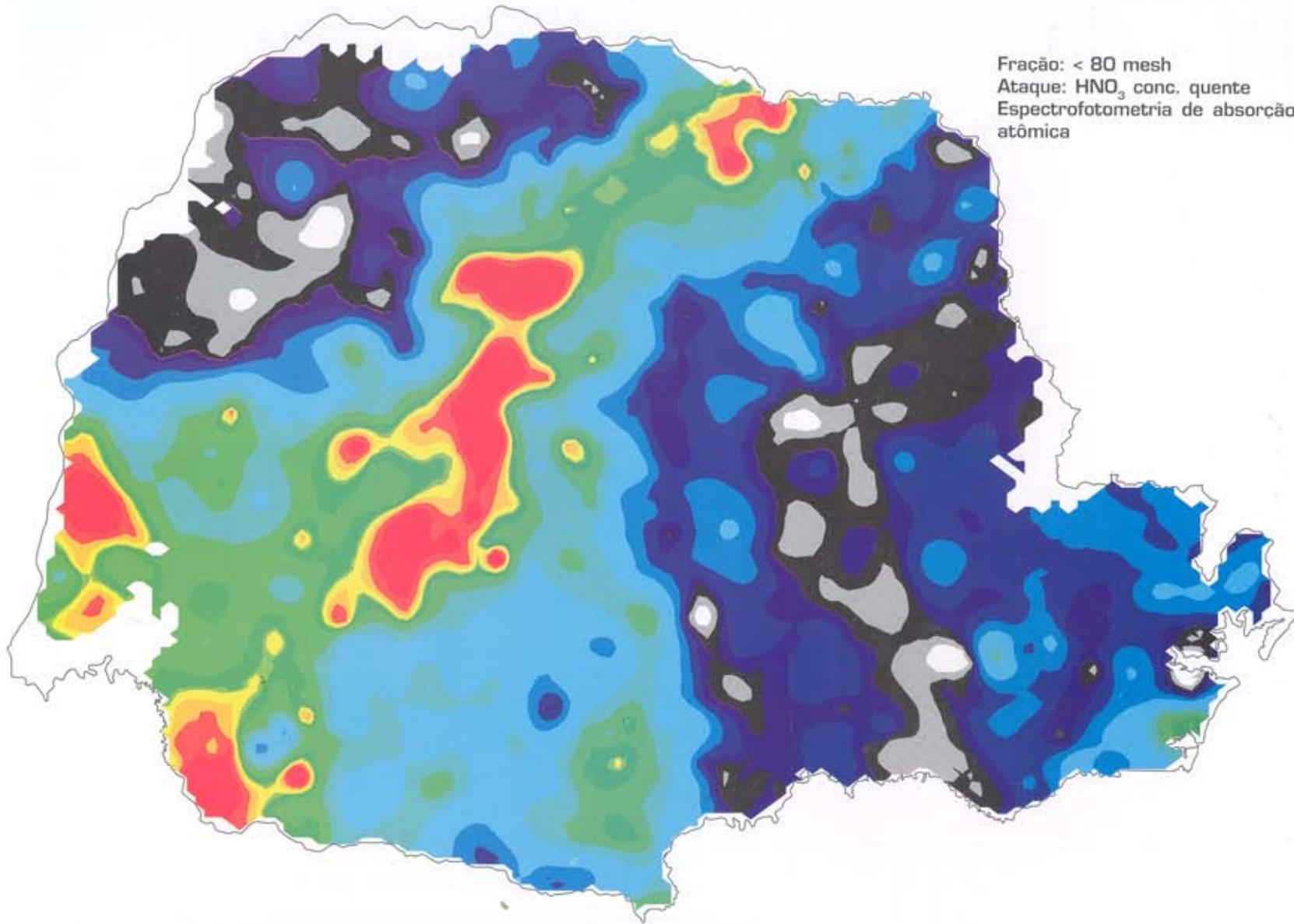
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Co (ppm) (SAD)	690	0,25	5,50	20,00	31,21	55,00	114,00	792,71

# Sedimentos de fundo - Co (ppm)

## Co (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# COBRE - Cu

## a. Características geoquímicas

O cobre é um metal avermelhado, maleável, dúctil e excelente condutor de eletricidade. Tem uma grande afinidade pelo enxofre (é calcófilo) e assim forma uma grande quantidade de minerais sulfetados, sozinho ou em combinação com outros metais.

## b. Fontes naturais

Durante os processos magmáticos, o ion  $Cu^{2+}$  é principalmente concentrado nos diferenciados primários. Os teores médios de cobre em minerais, apresentados por Ure e Berrow (1982, em BGS, 1991) são 115 ppm para as olivinas, 120 ppm para os piroxênios, 78 para os anfibólios, 86 ppm para as biotitas e 62 ppm para os plagioclásios. A calcopirita é um mineral acessório comum e o principal portador de Cu em rochas ígneas básicas. Os basaltos e gabros (40 a 60 ppm) e as rochas ultrabásicas (40 ppm) sempre contêm mais Cu que as rochas intermediárias (cerca de 20 ppm) e as graníticas (cerca de 12 ppm) [Wedepohl, 1978, in BGS, 1991].

Em sedimentos não-mineralizados, os teores de cobre são principalmente controlados pelos grãos e fragmentos de composição básica, óxidos e hidróxidos de Fe e Mn secundários, argilo-minerais e matéria orgânica. Rochas clásticas de grão fino, (particularmente os folhelhos negros), são caracteristicamente enriquecidos em Cu (cerca de 50 ppm) em relação às rochas quartzo-feldspáticas e sedimentos carbonatados (5 a 15 ppm).

No ambiente superficial, o cobre pode ser hospedado por uma gama de silicatos detriticos e óxidos dos sedimentos de drenagem. A liberação do  $Cu^{2+}$  desses minerais é relativamente rápida sob condições ambientais ácidas (pH < 5,0), mas a dispersão subsequente é controlada por ácidos húmicos, argilo-minerais, óxidos hidratados e carbonatos solúveis, todos eles desempenhando um papel ativo na complexação, coprecipitação e adsorção do Cu. A afinidade do Cu pela matéria orgânica tem sido amplamente documentada e pode ser responsabilizada pelo influxo de grande quantidade de Cu não-detritico aos sedimentos das drenagens que passam por regiões de turfeiras ou então com grande produção de algas. Em sedimentos ricos em óxidos hidratados de Fe e Mn, o cobre é removido da solução mais por adsorção que por coprecipitação (Robinson, 1981 in BGS, 1991). Entretanto, a precipitação de  $CaCO_3$  (geralmente como resposta ao aumento do pH) pode causar uma rápida remoção do Cu e do Zn dos sedimentos de drenagem por coprecipitação (Rubin, 1976, in BGS, 1991).

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial das minas de cobre foi de 8,8 milhões de toneladas em 1988 e a de sucata de 10,6 milhões de toneladas. A utilização principal continua sendo a da indústria eletro-eletrônica (40-50% do consumo total), mas seu uso nesse setor está declinando enquanto o uso mais genérico está aumentando. A propriedade de elevada

condutividade elétrica e térmica, boa resistência à corrosão, boa ductilidade e maleabilidade, elevada resistência à tração, ausência de magnetismo, e uma cor agradável tornam o cobre um metal de uso amplo na indústria [Koljonen *et al.*, 1992].

A condutividade elétrica do cobre aumenta com a presença de traços de prata e diminui com teores de Fe, P, Si, As, Sb e Sn maiores que 0,001%. A resistência à corrosão é aumentada com a presença de Ag, Ni, Al e Sn, a dureza é aumentada com a presença de Mn, Fe, Ni e Si, e a maleabilidade é melhorada com a presença de Zn, Pb, P e Se [Koljonen *et al.*, 1992].

Muitas das ligas de cobre são denominadas após uma primeira utilização: prata nova (Cu-Ni-Zn), "metal fundido" (Cu-Pb), Monel (Cu-Ni, 1:2) e constantan (Cu-Ni, 1:1). O uso do cobre em moedas, indústria química e pigmentos está em franco crescimento. A estimativa do consumo do cobre até o ano 2.000 é de crescimento de 1,9% ao ano [Koljonen *et al.*, 1992].

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cobre é um micronutriente essencial para todos os organismos. Nas plantas, tende a ocorrer complexado com compostos orgânicos de baixo peso molecular. É encontrado nas enzimas, tem funções vitais no metabolismo vegetal e desempenha papel fundamental na fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação do nitrogênio, metabolismo das proteínas e paredes celulares e síntese da lignina. Como o cobre está relacionado aos mecanismos da resistência às doenças, as resistências das plantas aos ataques de fungos são também relacionadas a uma disponibilidade adequada de cobre. Em excesso, é tóxico às bactérias e fungos e tem sido utilizado como fungicida [Koljonen *et al.*, 1992].

Os animais podem absorver cerca de 50% do cobre ingerido que vai se acumular no fígado, cérebro e rins. Têm sido encontradas carências de cobre no gado, mas que ocorrem apenas raramente nos seres humanos, como nas carências alimentares infantis ou nas desordens metabólicas de fundo genético [Koljonen *et al.*, 1992].

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 1,01 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 1 - 26 ppm, no fígado 30 ppm, nos músculos 10 ppm. A quantidade média de Cu numa pessoa de 70 kg é de 72 mg e a ingestão diária é em média 0,50 - 6 mg. A dosagem de 85 g do metal ou de 20 g de  $CuSO_4$  é tóxica e a de 300 mg/kg  $CuSO_4$  em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

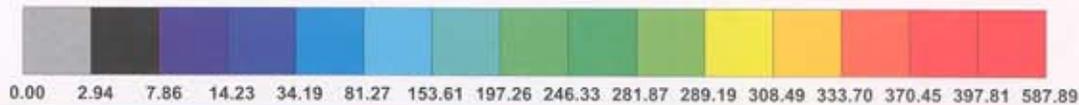
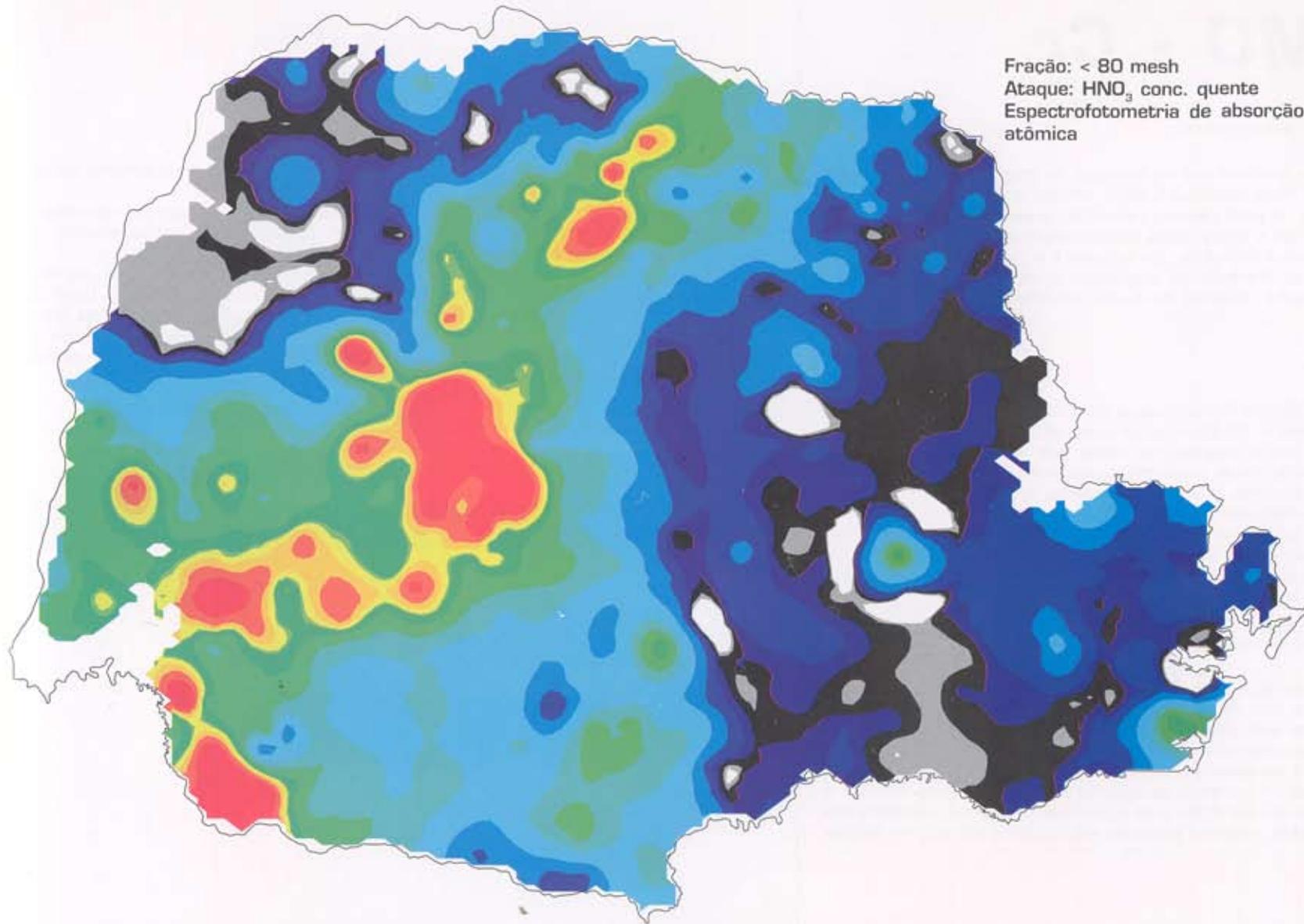
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Cu (ppm) (SAD)	690	0,25	11,00	66,50	114,48	200,00	610,00	14.881,42

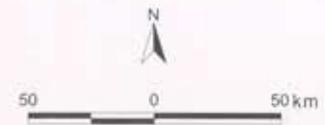
# Sedimentos de fundo - Cu (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Cu (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# CROMO - Cr

## a. Características geoquímicas

O cromo é um elemento metálico que na natureza se encontra nos estados de oxidação +2, +3 e +6. Pode substituir o ferro, titânio, alumínio e magnésio nos retículos dos minerais e pode ocorrer junto com esses elementos tanto nos silicatos como nos óxidos. Nas rochas, o cromo tende a estar presente nos minerais máficos. O mais importante mineral de cromo é a cromita, que também é o mais importante mineral-minério. Nos primeiros estágios de diferenciação magmática quando as rochas máficas e ultramáficas se cristalizam, o cromo é removido das fusões silicáticas na forma de óxidos e silicatos.

## b. Fontes naturais

A abundância média é de 70 ppm Cr nas rochas da crosta, 2.300 ppm nas rochas ultramáficas, 250 ppm nos gabros e 10 ppm nos granitos (Koljonen *et al.*, 1992). Os minérios de cromo associados com o magmatismo inicial, são os óxidos diferenciados. Assim a cromita, que é mais densa, tende a ser segregada dos silicatos e pode formar depósitos econômicos. No intemperismo, o cromo acompanha o ferro e o alumínio e é enriquecido nos sedimentos residuais tais como laterita e nas argilas (Koljonen *et al.*, 1992). Sob condições oxidantes, no estado de oxidação +6, o cromo é facilmente dissolvido. A cromita é altamente resistente ao intemperismo se concentra junto com outros minerais resistentes nos sedimentos e aluviões. É o elemento responsável pela coloração verde das esmeraldas (variedade do berilo) e vermelha dos rubis (variedade do corindon).

## c. Fontes artificiais e uso

O cromo é usado na produção de aço inoxidável, no endurecimento do aço, na cobertura de superfícies metálicas para evitar a corrosão. Na indústria do vidro, é usado para obter a coloração verde-esmeralda. Os dicromatos tais como o  $K_2Cr_2O_7$  são agentes oxidantes usados em laboratórios de química analítica também nos processos de curtimento de couros. O cromato de chumbo é um pigmento amarelo. Compostos de cromo são usados como mordentes na indústria têxtil. A indústria aeronáutica usa o cromo para anodizar o alumínio. A indústria de refratários usa a cromita para a produção de tijolos e revestimentos devido ao seu elevado ponto de fusão, pequena expansão sob o calor e estrutura cristalina estável (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O cromo é um nutriente essencial, que toma parte no metabolismo da glicose, aumentando o efeito da insulina.

O cromo é um dos mais importantes poluentes industriais. Todos os compostos de Cr devem ser observados como tóxicos. O ion cromato (valência +6) é extremamente tóxico e carcinogênico, porém os compostos do  $Cr^{3+}$  são menos tóxicos.

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,006 - 0,11 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 0,1 - 3,3 ppm Cr, no fígado 0,02 - 3,3 ppm, nos músculos 0,024 - 0,84 ppm. A quantidade média de cromo numa pessoa de 70 kg é de 14 mg e a ingestão média diária é de 0,01 - 1,2 mg Cr. A dosagem de 200 mg é tóxica e a de 70 mg/kg do metal ministrada por via oral em seres humanos ou a de 11.000 mg/kg do acetato via oral, em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

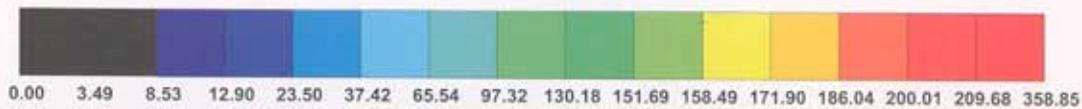
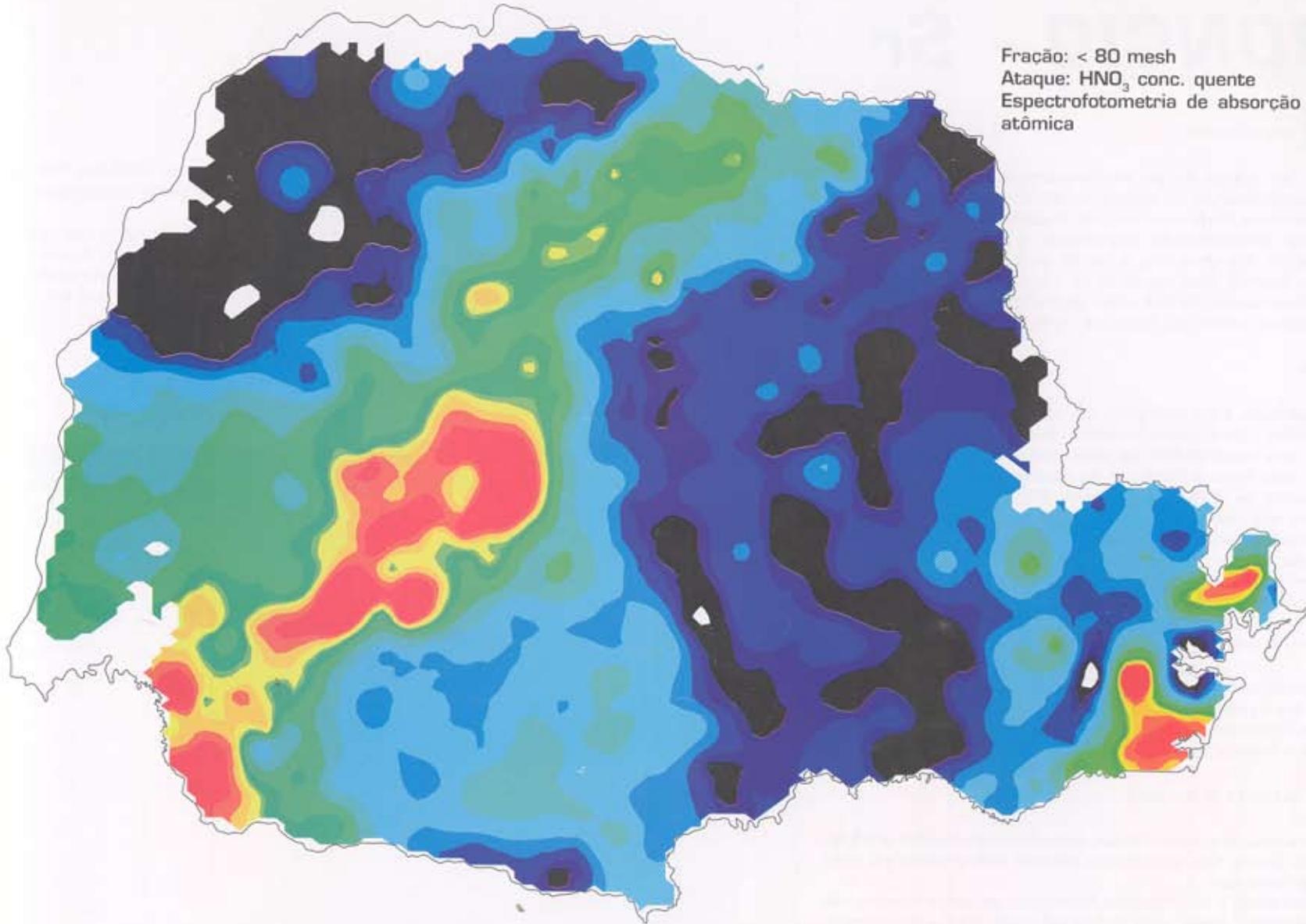
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Cr (ppm) (SAD)	690	0,50	12,00	35,50	62,25	100,00	400,00	4.180,66

# Sedimentos de fundo - Cr (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Cr (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# ESTRÔNCIO - Sr

## a. Características geoquímicas

O estrôncio, a exemplo dos outros metais alcalinos-terrosos (berílio, magnésio, cálcio e bário), ocorre na natureza no estado de oxidação +2. Nas rochas ele substitui o cálcio, potássio e bário nos retículos cristalinos e se faz presente nos minerais formadores de rocha, principalmente plagioclásios e feldspatos potássicos. Durante a diferenciação magmática ele cristaliza a partir de fusões silicáticas, nos plagioclásios; os do estágio tardio contêm mais estrôncio do que os do estágio inicial. Ele é usualmente empobrecido nos diferenciados tardios como pegmatitos graníticos e aplitos. Nos estágios hidrotermais, o estrôncio ocorre na forma de carbonatos e sulfatos.

## b. Fontes naturais

A abundância média de estrôncio é de 260 ppm nas rochas da crosta, 400 ppm nos gabros e 220 ppm nos granitos. Caracteristicamente o estrôncio é enriquecido em rochas alcalinas e especialmente nos carbonatitos. As altas concentrações de estrôncio, aproximadamente 0,4%, são de fato bons indicadores de carbonatitos, pois as rochas carbonáticas sedimentares têm cerca de 0,05% de estrôncio (Koljonen *et al.*, 1992).

Silicatos contendo estrôncio são resistentes ao intemperismo. Todavia, os carbonatos desintegram-se facilmente, assim a maioria do estrôncio dissolvido na água se origina de sedimentos e rochas sedimentares. Na forma dissolvida o estrôncio migra mais lentamente do que o cálcio, e mais rápido do que o bário. Nos sedimentos ele precipita como carbonato ou sulfato e aparece em evaporitos.

## c. Fontes artificiais e uso

O estrôncio é usado na produção e uso de fogos de artifício dando a coloração vermelha. O isótopo  $^{90}\text{Sr}$  é radioativo e produzido pela poluição nuclear. O estrôncio é usado na fabricação do vidro para tubos de imagem de televisão a cores e em materiais óticos. É também empregado nos processos metalúrgicos de refino do zinco (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O estrôncio não é tóxico, exceto em suas formas radioativas produzidas artificialmente, e não tem papel biológico. Devido sua semelhança química com o cálcio ele pode substituir o cálcio nos processos biológicos.

O estrôncio assemelha-se ao cálcio e os processos fisiológicos do corpo humano não são capazes de distingui-los com exatidão. Assim, o Sr é absorvido pelo corpo e armazenado

nos ossos onde deveria estar o cálcio. Isso ocorre também com o isótopo radioativo  $^{90}\text{Sr}$  produzido pelas explosões nucleares subterrâneas realizadas na década de 1950. Infelizmente o  $^{90}\text{Sr}$  está muito disseminado no ambiente (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,031 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 36 a 140 ppm, no fígado 0,05 a 0,36 ppm, nos músculos 0,12 a 0,35 ppm. A quantidade média de Sr numa pessoa de 70 kg é de 320 mg e a ingestão média diária varia entre 0,8 a 5 mg. A dosagem de 2.250 mg/kg de cloreto de estrôncio ministrada por via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

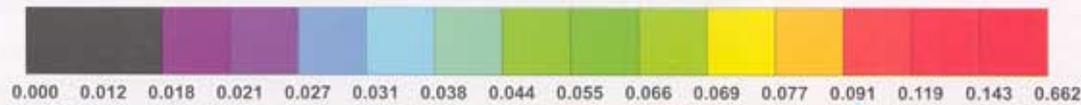
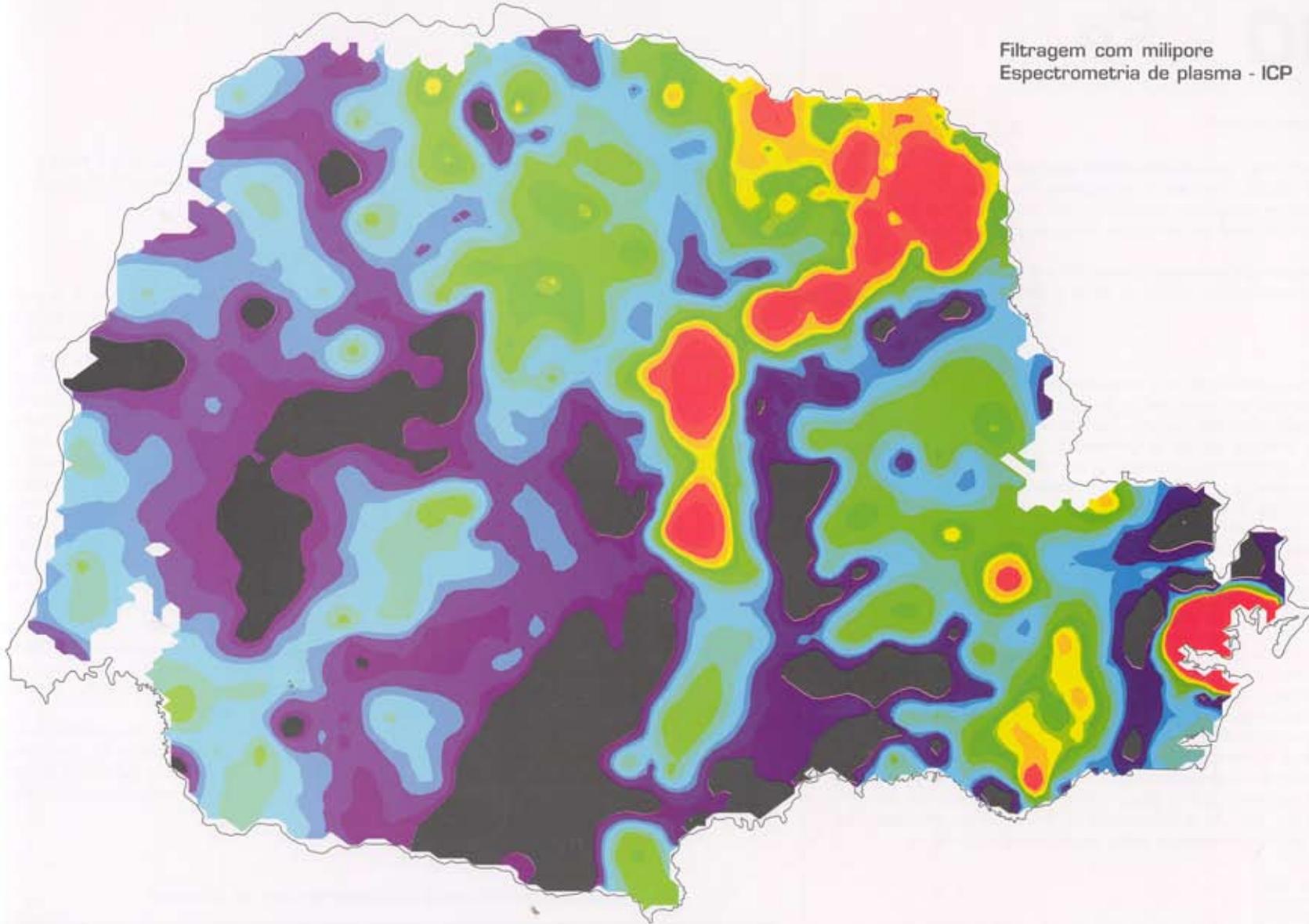
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Sr <sup>2+</sup> (mg/L) (água)	697	0,006	0,020	0,030	0,043	0,050	0,700	0,0025

# Águas superficiais - Sr<sup>2+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Sr<sup>2+</sup>(mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# FERRO - Fe

## a. Características geoquímicas

O ferro é o constituinte principal dos silicatos ferromagnesianos tais como olivinas, piroxênios, anfibólios e biotita. Também é abundante em uma ampla gama de sulfetos e óxidos. Durante os processos magmáticos ele concentra-se nos produtos intermediários do fracionamento e geralmente se enriquece mais nas rochas básicas que nas ácidas e ultrabásicas.

O ferro mostra um comportamento imóvel nos graus médios e elevados de metamorfismo nas rochas básicas (Nicollet e Andriambololona, 1980, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

A abundância do Fe nas rochas sedimentares é determinada por uma grande quantidade de fatores que incluem a proveniência, as condições de Eh-pH, a profundidade da alteração diagenética e a granulometria do sedimento. Na maioria das situações, os óxidos hidratados são as fases dominantes do Fe, embora óxidos primários (p. ex. magnetita), silicatos ferromagnesianos (p.ex. anfibólios e piroxênios) e sulfetos (p.ex. pirrotita) possam contribuir com algum Fe. Nas rochas sedimentares de grão fino, é relativamente comum a identificação da pirita autigênica (FeS<sub>2</sub>) e da siderita (FeCO<sub>3</sub>) (Berner, 1970, 1981, in BGS, 1991). A tendência das fases hidratadas do Fe em formar coberturas superficiais de óxidos, pode se refletir num relacionamento direto entre o teor total de Fe e de áreas de superfície específicas em partículas sedimentares (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). Desse modo, argilas, folhelhos e grauvacas (> 6% Fe) são geralmente mais enriquecidas que os arcósios (cerca de 3% Fe), que os arenitos quartzo-feldspáticos (cerca de 0,5% Fe) e que os carbonatos (cerca de 0,5% Fe).

O ferro pode estar presente nos sedimentos de drenagem, em uma grande quantidade de espécies minerais incluindo silicatos ferro-magnesianos, óxidos (p.ex. magnetita) e uma ampla variedade de fases de hidróxidos (p.ex. limonita e goethita), mas seu comportamento e dispersão subsequentes são controlados pela oxidação-redução do ambiente. O Fe dissolvido é em geral, facilmente precipitado com o aumento do pH ou do Eh, e esse fato torna-se o responsável pela presença de coberturas de óxidos hidratados (goethita, limonita, lepidocrocita e hematita) nos fragmentos de minerais e de rochas dos sedimentos das drenagens em ambientes aeróbicos. Além de influenciar a distribuição regional do Fe, essas coberturas exercem um controle substantivo sobre a distribuição do Ba, Mo, As e dos metais de transição da primeira linha, todos eles sujeitos à adsorção por (ou co-precipitação com) óxidos hidratados de Fe.

## c. Fontes artificiais e uso

O ferro é o principal metal industrial. A produção mineira mundial foi de 540 milhões de toneladas em 1988. Cerca de 99% da produção é destinada à manufatura de ferro e aço. O aço contém manganês e quantidades residuais de elementos como P, S e Si. A presença de P e Si aumenta a dureza do aço, mas também sua fragilidade; o Ti e Be aumentam a dureza sem perda de resistência à corrosão; o Cr, Ni, Mo, V, W e Cu aumentam a dureza e a resistência

mecânica e química; e o Al e o B fazem com que possa ser soldado (Koljonen *et al.*, 1992).

As previsões de consumo são de 700 milhões de toneladas no ano 2.000 (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O ferro é essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos. É o primeiro elemento cuja deficiência como nutriente nas plantas foi documentado na forma de sintomas específicos (Koljonen *et al.*, 1992). Os papéis desempenhados pelo ferro na fisiologia são numerosos. Nas plantas, um dos mais importantes é a participação na assimilação da clorofila. O sintoma mais facilmente detectável de deficiência de ferro é a clorose, que se manifesta pelo amarelecimento e despigmentação de partes normalmente verdes, tais como as extremidades das folhas. O ferro nos solos está presente principalmente sob a forma de hidróxido ferroso, como nas lateritas. Antes de sua utilização como nutriente ele deve ser colocado na forma solúvel. Os vegetais realizam essa tarefa pela redução do ferro (Fe<sup>3+</sup> > Fe<sup>2+</sup>) e aumentando a acidez do solo. O ferro é transportado como compostos complexos com ácidos orgânicos. A capacidade das plantas em utilizar o ferro presente no solo, depende muito da espécie vegetal. Precipitados ricos em ferro são geralmente ricos em manganês. Também tendem a ser enriquecidos em metais pesados tais como cobalto, cádmio e chumbo e, quando dissolvidos como resultado de acidificação do solo por exemplo, podem liberar estes metais e adicioná-los ao estoque de elementos tóxicos no ambiente (Koljonen *et al.*, 1992).

Nos animais, o ferro desempenha um papel vital no metabolismo como componente da hemoglobina e de certas enzimas; a deficiência conduz à anemia. O ferro se concentra nos animais e nos homens em teores elevados no fígado e no baço. Apenas uma pequena quantidade do ferro consumido pelos seres humanos é realmente utilizado, e para restaurar os estoques é necessária uma ingestão por período prolongado. A deficiência em ferro é comumente superada através de alimentação completa. As necessidades maiores em ferro das crianças e mulheres fazem-nas especialmente vulneráveis à deficiência em ferro (Koljonen *et al.*, 1992).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 447mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 3 a 380 ppm, no fígado 250 a 1400 ppm, nos músculos 180 ppm. A quantidade média de Fe numa pessoa de 70 kg é de 4,2 g e a ingestão média diária é de 6 a 40 mg. A dosagem de 200 mg é tóxica; os compostos de Fe<sup>2+</sup> são mais tóxicos que os de Fe<sup>3+</sup>; a de 7 - 35 g é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

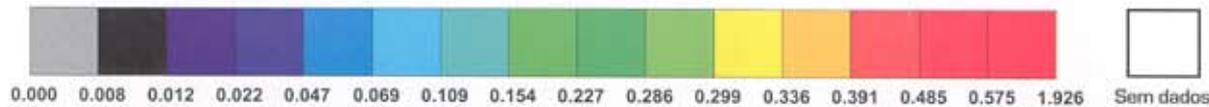
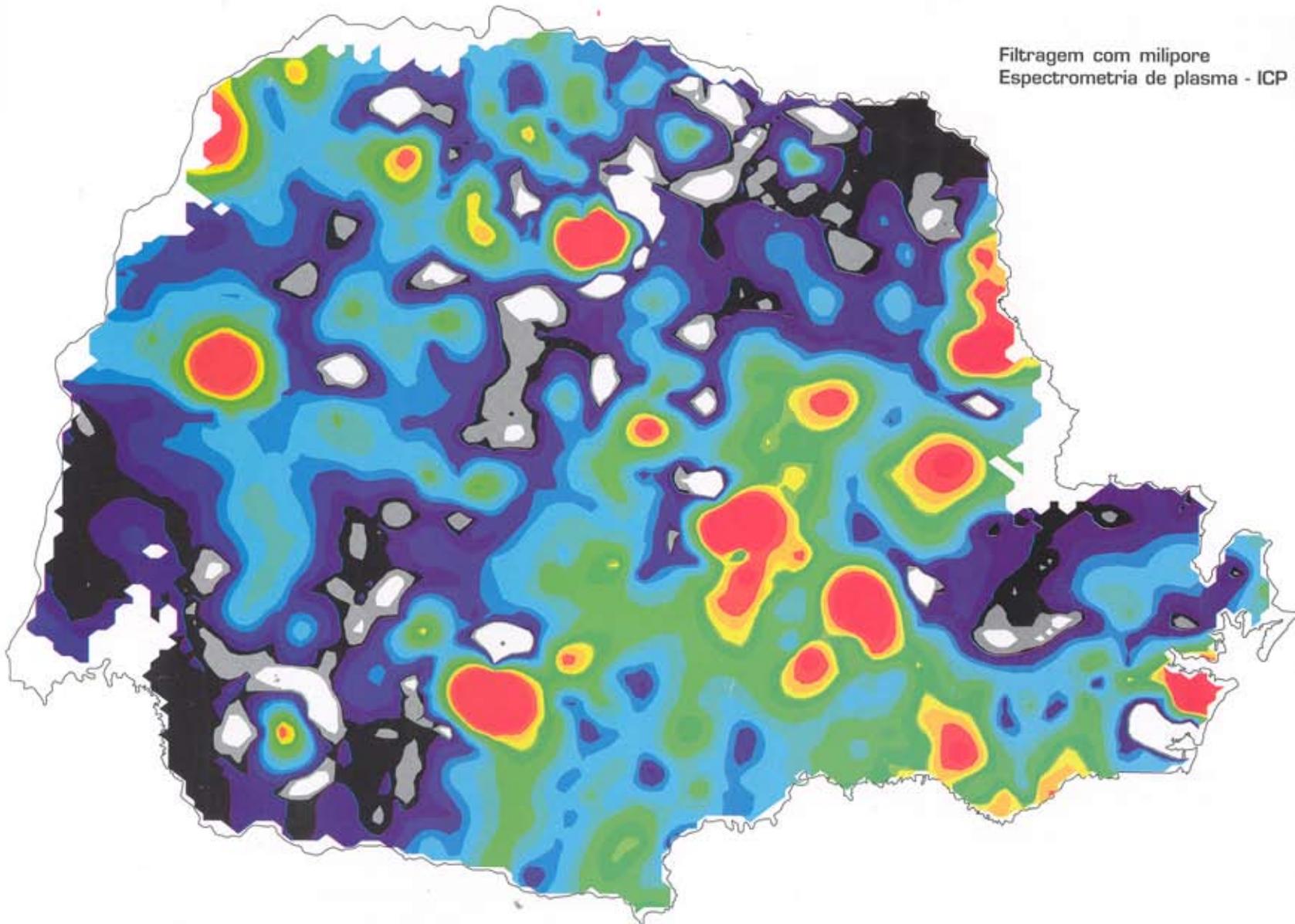
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Fe <sup>3+</sup> (mg/L) (água)	697	0,010	0,010	0,040	0,105	0,130	2,35	0,0349

# Águas superficiais - Fe<sup>3+</sup>(mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Fe<sup>3+</sup>(mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# FERRO - Fe

## a. Características geoquímicas

O ferro é o constituinte principal dos silicatos ferromagnesianos tais como olivinas, piroxênios, anfibólios e biotita. Também é abundante em uma ampla gama de sulfetos e óxidos. Durante os processos magmáticos ele concentra-se nos produtos intermediários do fracionamento e geralmente se enriquece mais nas rochas básicas que nas ácidas e ultrabásicas.

O ferro mostra um comportamento imóvel nos graus médios e elevados de metamorfismo nas rochas básicas (Nicollet e Andriambololona, 1980, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

A abundância do Fe nas rochas sedimentares é determinada por uma grande quantidade de fatores que incluem a proveniência, as condições de Eh-pH, a profundidade da alteração diagenética e a granulometria do sedimento. Na maioria das situações, os óxidos hidratados são as fases dominantes do Fe, embora óxidos primários (p. ex. magnetita), silicatos ferromagnesianos (p.ex. anfibólios e piroxênios) e sulfetos (p.ex. pirrotita) possam contribuir com algum Fe. Nas rochas sedimentares de grão fino, é relativamente comum a identificação da pirita autigênica (FeS<sub>2</sub>) e da siderita (FeCO<sub>3</sub>) (Berner, 1970, 1981, in BGS, 1991). A tendência das fases hidratadas do Fe em formar coberturas superficiais de óxidos, pode se refletir num relacionamento direto entre o teor total de Fe e de áreas de superfície específicas em partículas sedimentares (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). Desse modo, argilas, folhelhos e grauvacas (> 6% Fe) são geralmente mais enriquecidas que os arcósios (cerca de 3% Fe), que os arenitos quartzo-feldspáticos (cerca de 0,5% Fe) e que os carbonatos (cerca de 0,5% Fe).

O ferro pode estar presente nos sedimentos de drenagem, em uma grande quantidade de espécies minerais incluindo silicatos ferro-magnesianos, óxidos (p.ex. magnetita) e uma ampla variedade de fases de hidróxidos (p.ex. limonita e goethita), mas seu comportamento e dispersão subsequentes são controlados pela oxi-redução do ambiente. O Fe dissolvido é em geral, facilmente precipitado com o aumento do pH ou do Eh, e esse fato torna-se o responsável pela presença de coberturas de óxidos hidratados (goethita, limonita, lepidocrocita e hematita) nos fragmentos de minerais e de rochas dos sedimentos das drenagens em ambientes aeróbicos. Além de influenciar a distribuição regional do Fe, essas coberturas exercem um controle substantivo sobre a distribuição do Ba, Mo, As e dos metais de transição da primeira linha, todos eles sujeitos à adsorção por (ou co-precipitação com) óxidos hidratados de Fe.

## c. Fontes artificiais e uso

O ferro é o principal metal industrial. A produção mineira mundial foi de 540 milhões de toneladas em 1988. Cerca de 99% da produção é destinada à manufatura de ferro e aço. O aço contém manganês e quantidades residuais de elementos como P, S e Si. A presença de P e Si aumenta a dureza do aço, mas também sua fragilidade; o Ti e Be aumentam a dureza sem perda de resistência à corrosão; o Cr, Ni, Mo, V, W e Cu aumentam a dureza e a resistência

mecânica e química; e o Al e o B fazem com que possa ser soldado (Koljonen *et al.*, 1992).

As previsões de consumo são de 700 milhões de toneladas no ano 2.000 (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O ferro é essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos. É o primeiro elemento cuja deficiência como nutriente nas plantas foi documentado na forma de sintomas específicos (Koljonen *et al.*, 1992). Os papéis desempenhados pelo ferro na fisiologia são numerosos. Nas plantas, um dos mais importantes é a participação na assimilação da clorofila. O sintoma mais facilmente detectável de deficiência de ferro é a clorose, que se manifesta pelo amarelamento e despigmentação de partes normalmente verdes, tais como as extremidades das folhas. O ferro nos solos está presente principalmente sob a forma de hidróxido ferroso, como nas lateritas. Antes de sua utilização como nutriente ele deve ser colocado na forma solúvel. Os vegetais realizam essa tarefa pela redução do ferro (Fe<sup>3+</sup> > Fe<sup>2+</sup>) e aumentando a acidez do solo. O ferro é transportado como compostos complexos com ácidos orgânicos. A capacidade das plantas em utilizar o ferro presente no solo, depende muito da espécie vegetal. Precipitados ricos em ferro são geralmente ricos em manganês. Também tendem a ser enriquecidos em metais pesados tais como cobalto, cádmio e chumbo e, quando dissolvidos como resultado de acidificação do solo por exemplo, podem liberar estes metais e adicioná-los ao estoque de elementos tóxicos no ambiente (Koljonen *et al.*, 1992).

Nos animais, o ferro desempenha um papel vital no metabolismo como componente da hemoglobina e de certas enzimas; a deficiência conduz à anemia. O ferro se concentra nos animais e nos homens em teores elevados no fígado e no baço. Apenas uma pequena quantidade do ferro consumido pelos seres humanos é realmente utilizado, e para restaurar os estoques é necessária uma ingestão por período prolongado. A deficiência em ferro é comumente superada através de alimentação completa. As necessidades maiores em ferro das crianças e mulheres fazem-nas especialmente vulneráveis à deficiência em ferro (Koljonen *et al.*, 1992).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 447mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 3 a 380 ppm, no fígado 250 a 1400 ppm, nos músculos 180 ppm. A quantidade média de Fe numa pessoa de 70 kg é de 4,2 g e a ingestão média diária é de 6 a 40 mg. A dosagem de 200 mg é tóxica; os compostos de Fe<sup>2+</sup> são mais tóxicos que os de Fe<sup>3+</sup>; a de 7 - 35 g é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

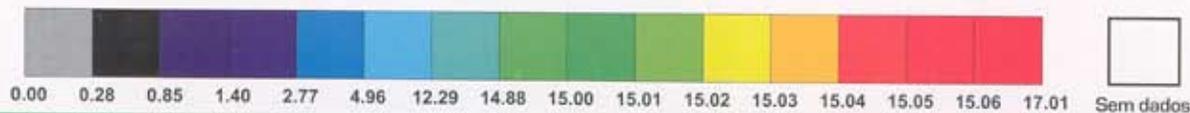
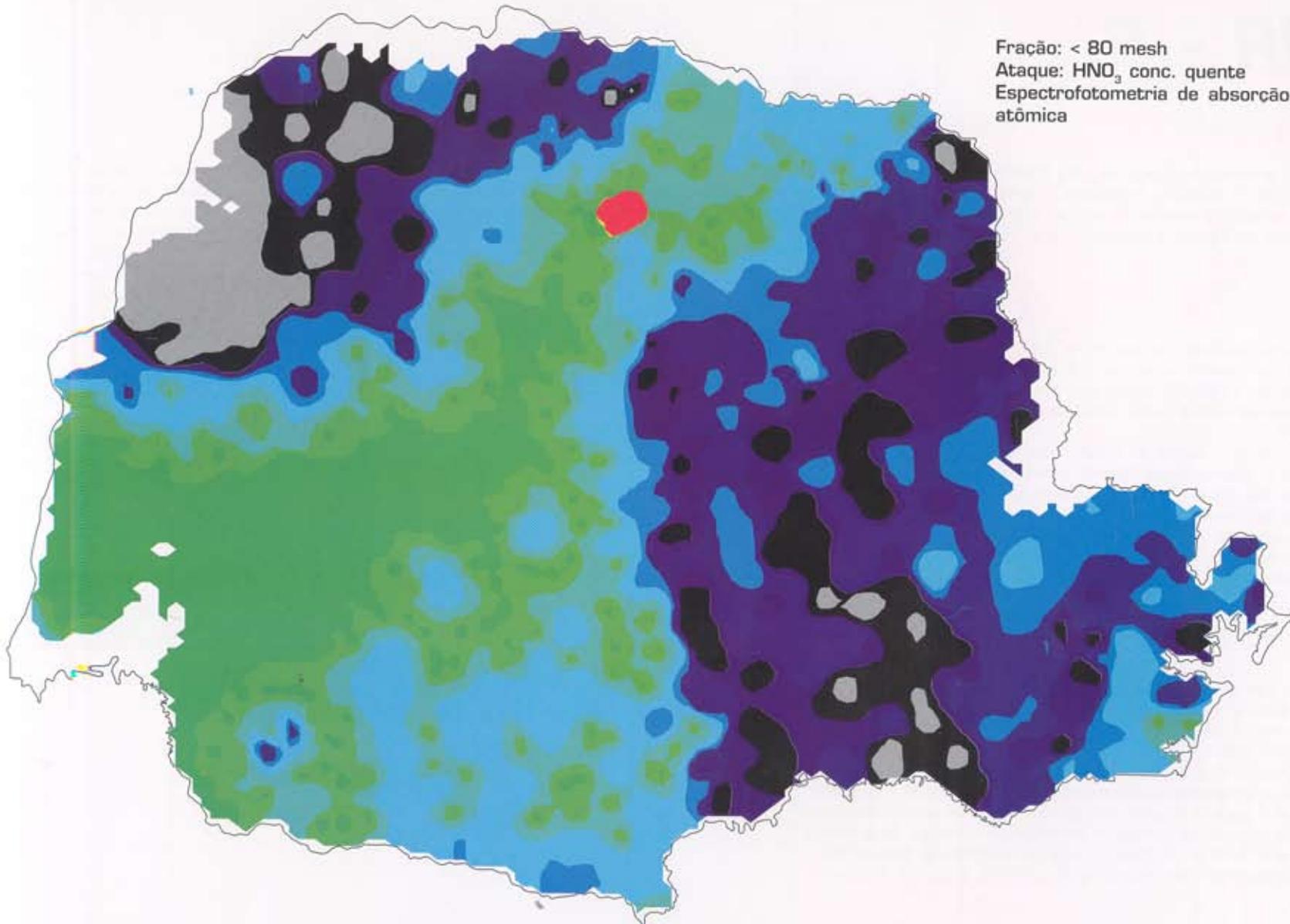
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Fe (%) (SAD)	690	0,02	1,36	5,10	7,35	15,00	17,00	38,59

# Sedimentos de fundo - Fe (%)

Fração: < 80 mesh  
Ataque:  $\text{HNO}_3$  conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Fe (%)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# FLÚOR - F

## a. Características geoquímicas

O flúor está presente em quantidades traço em uma grande variedade de materiais geológicos onde o ion  $F^-$  substitui livremente o grupo hidroxila ( $OH^-$ ) em minerais como micas, anfíbios, apatitas e argilas. Adicionalmente, concentra-se na fluorita ( $CaF_2$ ) em alguns tipos de depósitos minerais e mais raramente como cimento de arenitos.

## b. Fontes naturais

Segundo suas afinidades mineralógicas, os teores de flúor são mais elevados nos granitos (média de 870 ppm) que nos basaltos e gabros (360- 420 ppm); mais baixos em calcários e arenitos não-mineralizados (180-260 ppm) que nos folhelhos (média de 800 ppm). Rochas ultrabásicas possuem conteúdos muito baixos em flúor (média de 100 ppm) (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991).

O flúor é liberado durante os processos de intemperismo e ocorre em solução principalmente sob a forma do ion  $F^-$ . Diversamente de outros halogênios, ele pode formar complexos estáveis com elementos tais como Al, Fe, B e mesmo Ca (com este apenas em águas salinas). Os teores normais de  $F^-$  em águas naturais variam entre 0,1 a 2,0 ppm, sendo removido da solução provavelmente pela coprecipitação com óxidos secundários de Fe onde pode ser complexado tanto com Fe quanto com Al, e sorvido em fosfatos. Em condições alcalinas, salinas, a precipitação do  $CaF_2$  pode ser o processo principal de remoção.

## c. Fontes artificiais e uso

O flúor é principalmente extraído da fluorita ( $CaF_2$ ), mas também de rochas fosfáticas. A produção mundial de flúor em 1988 foi de 5,1 milhões de toneladas. A utilização principal do flúor é na manufatura do alumínio metálico (60% do total produzido), na produção do aço (30%), na indústria química (p.ex. teflon e pastas dentífricas), e na indústria cerâmica. Na forma de clorofluorcarbono (CFC), o flúor foi amplamente utilizado como propelente de aerossóis, mas esta aplicação está gradativamente desaparecendo pela agressão à camada de ozônio. Níveis muito elevados de  $F^-$  podem resultar da poluição industrial provocada pela mineração de fluorita, fundição de alumínio ou indústria cerâmica. Em virtude de problemas ambientais, o uso do flúor deve declinar no futuro, mas as quantidades consumidas dependerão amplamente do desenvolvimento das indústrias do alumínio e do aço (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O flúor é um elemento essencial aos mamíferos, onde promove o endurecimento da matriz mineral à base de apatita, dos dentes e esqueleto. O teor definido como ótimo na água potável é rigidamente estabelecido pela Organização Mundial da Saúde, em 1 ppm  $F^-$ . Teores abaixo de 0,5 ppm provocam baixa resistência às cáries dentárias, enquanto que teores acima de 2 ppm causam enfermidades dentárias e esqueléticas (fluorose e osteoporose). Quantidades traço de flúor são benéficas para os ossos e dentes, entretanto, excesso de flúor (teores > 2 ppm) causam a fluorose, que se manifesta na fragilidade e como malformações dos ossos e dentes.

O flúor como fluoreto ( $F^-$ ) é provavelmente um elemento essencial para os seres humanos e certamente para alguns moluscos (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,5 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 2.000 a 12.000 ppm, no fígado 0,22 a 7 ppm, nos músculos 0,05 ppm. A quantidade média de  $F^-$  numa pessoa de 70 kg é de 2,6 g e a ingestão média diária é de 0,3 a 0,5 mg. A dosagem de 250 mg NaF é tóxica, e as de 5 a 25 g NaF ministrada por via oral em ratos (52 mg/kg) e a inalação do gás flúor por ratos numa concentração de 185 ppm por 1 hora.mg/kg é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

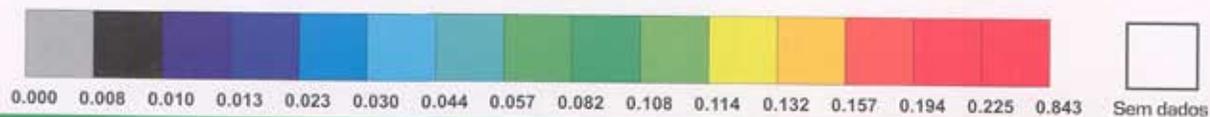
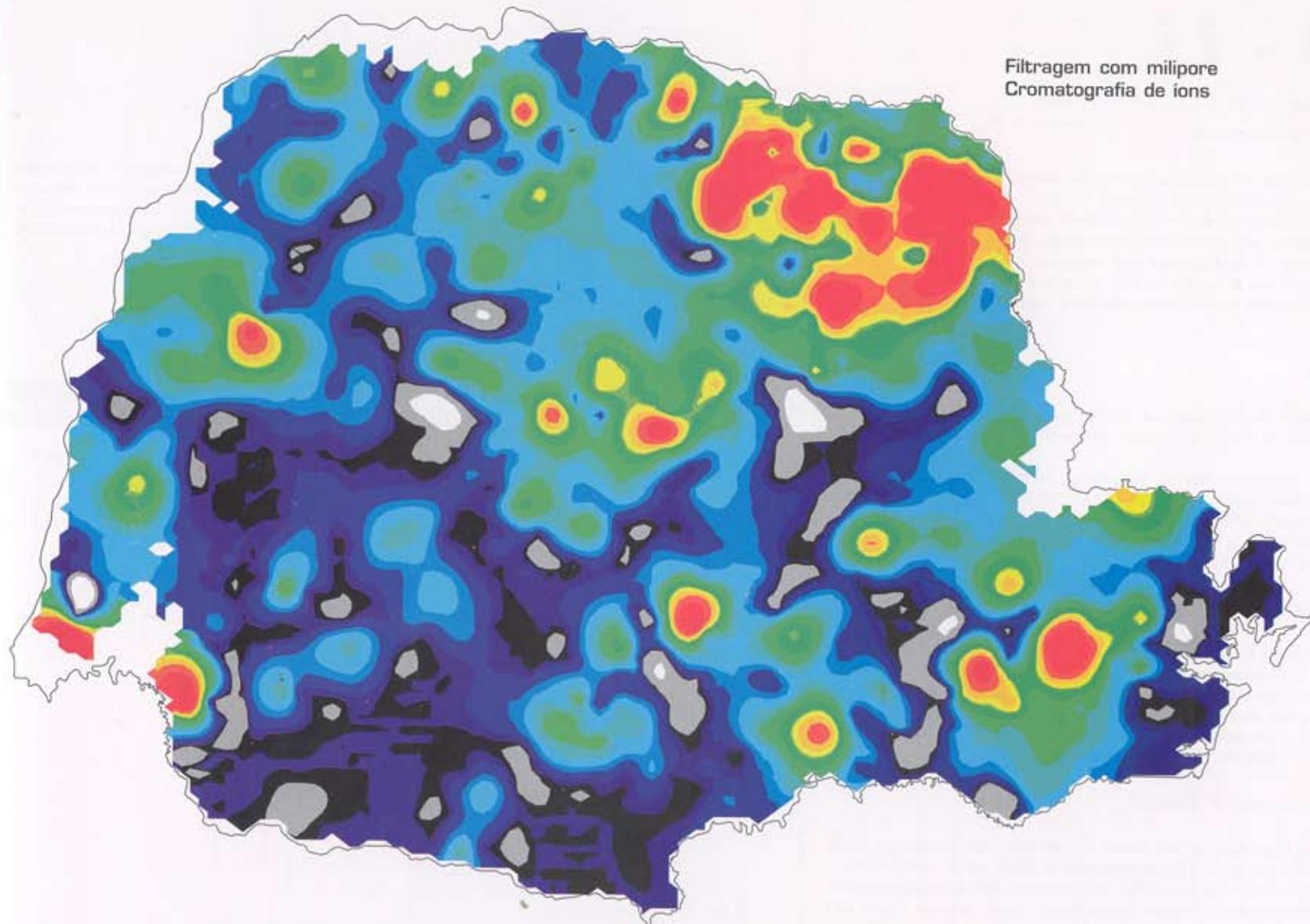
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
$F^-$ (mg/L) (água)	694	0,001	0,010	0,0275	0,0526	0,060	0,980	0,0064

# Águas superficiais - F<sup>-</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Cromatografia de íons

## F<sup>-</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# LÍTIO - Li

## a. Características geoquímicas

O lítio é um metal alcalino que na natureza ocorre no estado de oxidação +1. Nas rochas, ele ocorre principalmente nos silicatos. Devido ao raio iônico pequeno, ele difere cristaloquimicamente dos outros metais alcalinos (sódio, potássio, rubídio e céσιο) e não os acompanha nos processos geológicos. (Koljonen *et al.*, 1992). Durante a diferenciação magmática, é enriquecido nos estágios tardios, quando micas, piroxênios e turmalinas cristalizam-se. A razão Li/Mg cresce durante a diferenciação magmática e o lítio começa a substituir o magnésio somente nos estágios pegmatíticos tardios.

## b. Fontes naturais

A abundância média de lítio é de 20 ppm nas rochas da crosta terrestre, 10 ppm nos gabros, 25 ppm nos granitos e 50-80 ppm nos xistos-argilosos (Koljonen *et al.*, 1992).

Minerais que contêm lítio intemperizam-se facilmente, assim o Li é removido na forma de soluções. Entretanto ele é adsorvido facilmente por minerais argilosos e hidróxidos de ferro e manganês. (Koljonen *et al.*, 1992).

Os pegmatitos de elementos raros e saimouras são os principais recursos de lítio. O mais importante mineral-minério é o espodumênio.

## c. Fontes artificiais e uso

O lítio é usado em transmissão térmica já que tem o calor específico mais elevado entre todos os elementos sólidos. É utilizado na síntese de compostos orgânicos, na indústria nuclear, na produção de ânodos de baterias (em virtude de seu elevado potencial eletroquímico), na produção de vidros especiais e cerâmicas. O estearato de lítio é usado como lubrificante multipropósito e de altas temperaturas. Compostos de lítio como o carbonato ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) são usados na indústria farmacêutica (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

Aparentemente, o lítio não desempenha um papel importante nos processos biológicos, o que não significa que não os afete. Medicamentos à base de Li, tais como o carbonato de lítio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) são utilizados no tratamento de distúrbios maniaco-depressivos. Apesar dos compostos de lítio serem vistos como levemente tóxicos, alguns deles são carcinogênicos (causam câncer) e teratogênicos (causam malformações congênitas) (Winter, 1998).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,004 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 1,3 ppm, no fígado 0,025 ppm, nos músculos 0,023 ppm. A quantidade média de Li numa pessoa de 70 kg é de 7 mg e a ingestão média diária é de 0,1 a 2 mg. A dosagem de 20 a 200 g na forma de carbonato de Li é tóxica e a de 525 mg/kg de carbonato de Li, ministrada por via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

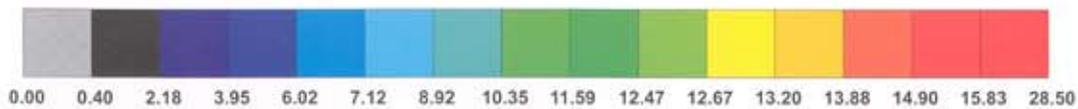
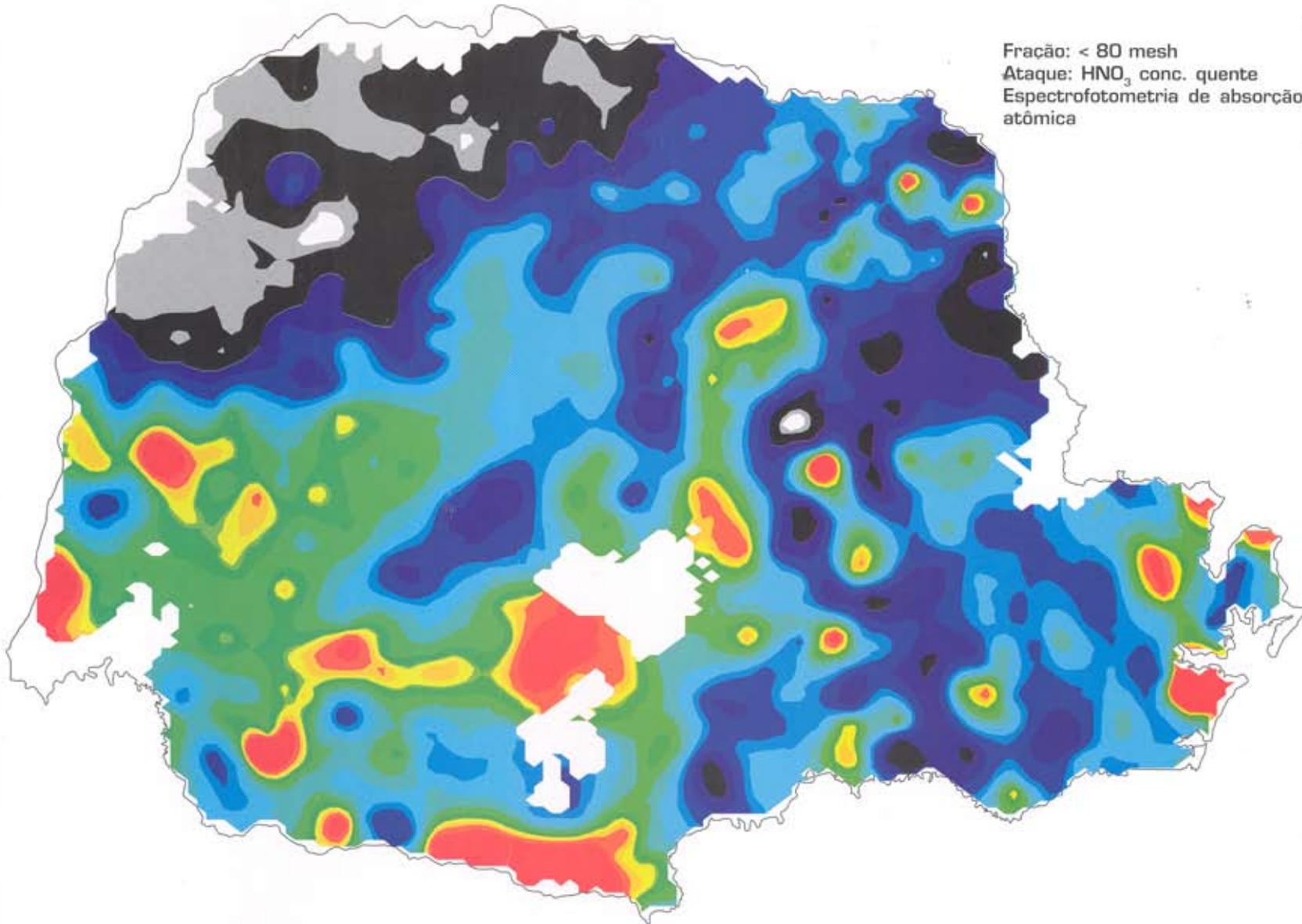
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Li (ppm) (SAD)	627	0,20	3,20	6,80	7,00	10,00	29,00	22,61

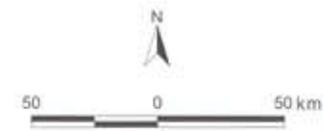
# Sedimentos de fundo - Li (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Li (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# MAGNÉSIO - Mg

## a. Características geoquímicas

O magnésio, como os outros metais alcalino-terrosos (berílio, cálcio, bário e estrôncio), ocorre na natureza no estado de oxidação +2. O magnésio é fortemente enriquecido na crosta inferior e no manto, sendo um elemento comum nas rochas ultramáficas e máficas. É o constituinte maior de muitos minerais, podendo estar presente nos silicatos, nos óxidos e nos carbonatos. É comum a substituição do magnésio pelo ferro, níquel, cobalto, escândio, zinco e lítio, o que significa que ele influencia fortemente o comportamento geoquímico desses elementos. Durante a diferenciação magmática, o magnésio é removido das fusões silicáticas dos estágios iniciais, quando a olivina, óxidos, piroxênios, anfibólios e micas cristalizam-se. Na crosta terrestre, ele é o oitavo elemento mais comum, depois do sódio.

## b. Fontes naturais

A abundância média do magnésio é de 1,3% na crosta terrestre, 20,8% nas rochas ultramáficas, 4,6% nas rochas máficas e somente 0,5% nos granitos (Koljonen *et al.*, 1992).

Minerais de magnésio intemperizam-se facilmente; com a dissolução o magnésio começa a ser removido principalmente dos minerais argilosos e carbonatos (Koljonen *et al.*, 1992).

Os sais de magnésio (cloretos e sulfatos) são cristalizados em evaporitos, no estágio final, após o sal comum (cloreto de sódio) (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

O magnésio é um elemento comum e largamente disponível para o uso industrial. Desta maneira, minerais ricos em magnésio como os minerais argilosos, micas e os carbonatos, dolomitas e magnesitas são usadas como minerais industriais, enquanto que o metal é produzido eletroliticamente do sal de magnésio.

O magnésio é usado nas lâmpadas (flash) fotográficas, pirotecnia e bombas incendiárias. Como é três vezes mais leve que o alumínio, é essencial nas ligas usadas nas indústrias aeronáutica e de mísseis. É um agente redutor usado na produção de urânio e outros metais a partir de seus sais. O hidróxido (leite de magnésia), o cloreto, o sulfato e o citrato de magnésio são amplamente usados na medicina e na indústria farmacêutica. A magnesita calcinada é usada na produção de elementos refratários para o revestimento de fornalhas (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O magnésio é um elemento importante tanto para a vida animal quanto para a vegetal, já que as clorofilas são porfirinas baseadas em magnésio. O magnésio é também um elemento necessário para a ativação de algumas enzimas. Os compostos de magnésio não são normalmente tóxicos. Os asbestos, minerais magnesianos, são cancerígenos não pela sua composição química, mas por sua forma fibrosa.

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 37,8 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 700 a 1.800 ppm, no fígado 590 ppm, nos músculos 900 ppm. A quantidade média de magnésio numa pessoa de 70 kg é de 19 g e a ingestão média diária é de 250 a 380 mg. A dosagem de 8.100 mg/kg de cloreto de magnésio ministrada por via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

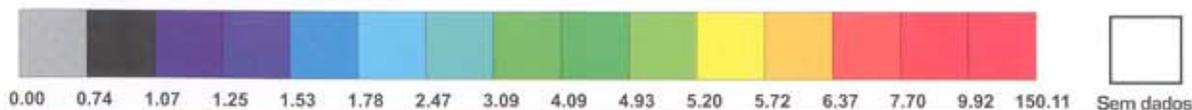
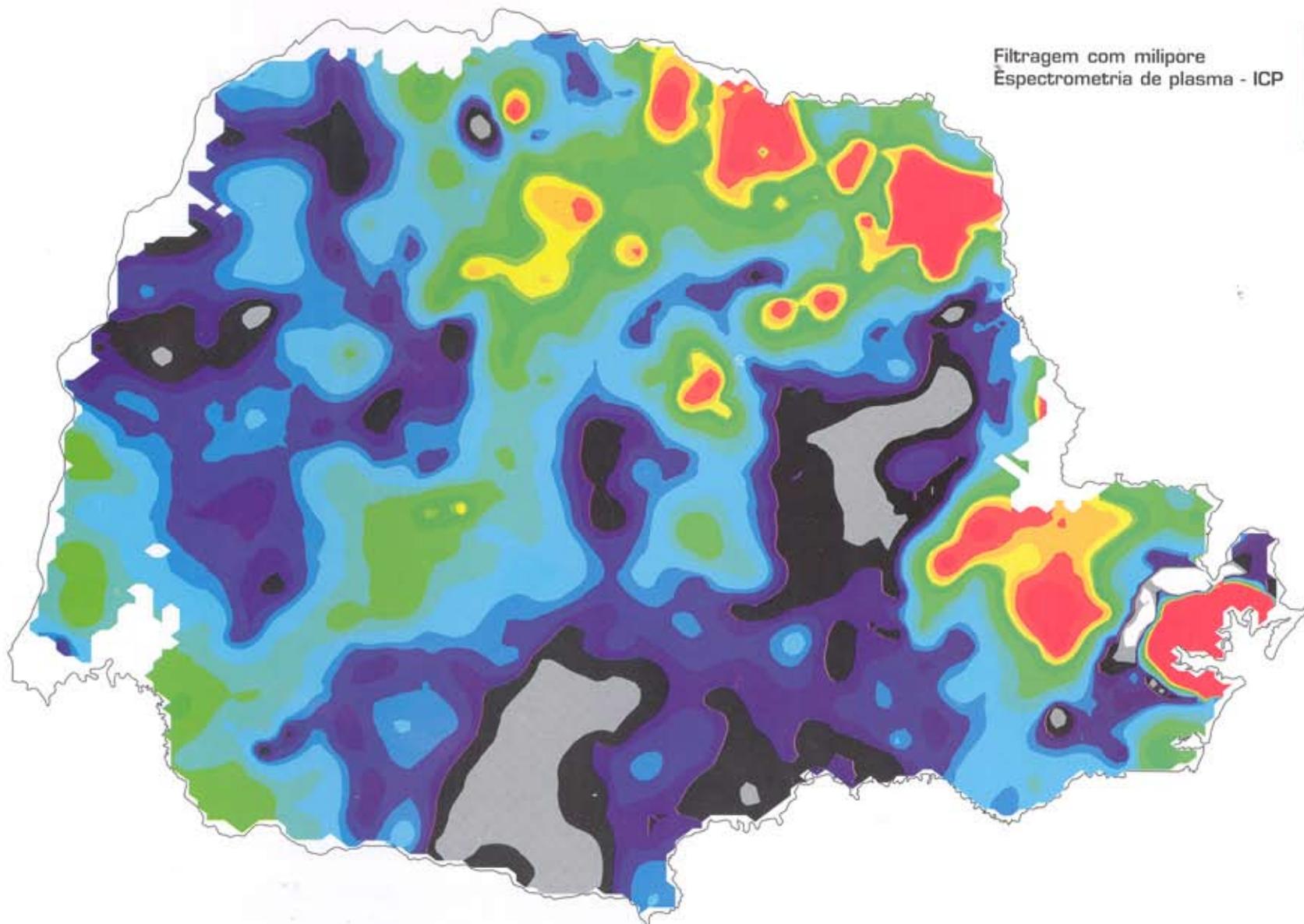
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Mg <sup>2+</sup> (mg/L) (água)	697	0,025	1,21	1,81	3,02	3,28	159,30	56,679

# Águas superficiais - Mg<sup>2+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

## Mg<sup>2+</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# MANGANÊS - Mn

## a. Características geoquímicas

O manganês é um metal cinzento, semelhante ao ferro, e muito mais duro e quebradiço. Durante os processos magmáticos, o Mn ocorre no estado iônico divalente, substituindo facilmente o  $Fe^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). O manganês é particionado entre os silicatos ferromagnesianos e óxidos de Fe-Ti, tornando-se enriquecido nas rochas básicas (cerca de 1.300 ppm) e ultrabásicas (1.000 ppm) relativamente às ácidas (cerca de 350 ppm). Existe uma correlação forte entre o Mn e o Fe (ferroso) na maioria das rochas ígneas, com razões Fe/Mn geralmente situando-se na faixa 0,015 - 0,02.

O manganês é imóvel durante o metamorfismo regional e de contato (Wedepohl, 1978; Nicollet e Andriambololona, 1980, in BGS, 1991), mas pode ser completamente redistribuído durante os fácies de retrometamorfismo granulito-anfibolito (Tobschall, 1971; Beach e Tarney, 1978, in BGS, 1991). A remobilização do Mn pode também ocorrer como resultado de atividade hidrotermal ou metassomatismo regional (Senior e Leake, 1978, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

Os teores de Mn nas rochas sedimentares são controlados tanto pela geoquímica da rocha fonte quanto pelas condições de oxidação-redução do ambiente deposicional (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991). O Mn pode ocorrer como minerais detriticos tais como a magnetita e ilmenita, mas a maior quantidade é tipicamente contida em óxidos secundários de  $Mn^{4+}$ , que formam concreções isoladas ou coberturas de superfície em minerais primários ou fragmentos líticos. Os folhelhos e grauvacas são geralmente enriquecidos em Mn (cerca de 700 ppm) em relação aos ortoarenitos de grão grosso (cerca de 170 ppm). Alguns sedimentos de grão fino, podem enriquecer-se posteriormente pela presença de nódulos ou concreções pisolíticas de ferro-manganês (Jenkins, 1977, in BGS, 1991). Rochas carbonáticas (particularmente os dolomitos) podem também conter elevadas concentrações de Mn (média de cerca 550 ppm) (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991).

O manganês pode ocorrer nos canais de drenagem sob grande variedade de fases, incluindo silicatos ferromagnesianos detriticos, óxidos Fe-Mn e coberturas em argilo minerais. A dissolução dessas fases é relativamente lenta em ambientes oxidantes ou alcalinos, mas rápida sob condições ácidas ou redutoras, sendo o comportamento e a dispersão subsequentes do Mn, governados principalmente pelo Eh do ambiente.

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial de manganês aproximou-se de 8 milhões de toneladas em 1988, a maior parte das quais utilizadas na manufatura do aço como ferromanganês, que contém cerca de 75% ou mais de manganês. É também um constituinte importante de aproximadamente todos os aços e é utilizado nas ligas de alumínio e outras, é utilizado em

pequenas quantidades em células elétricas secas e como agente descolorante na fabricação do vidro. O uso futuro do manganês vai depender em muito da indústria do aço. O manganês não é facilmente substituível por outros materiais e as novas técnicas de fabricação de aço geralmente estão voltadas à redução de sua utilização (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O manganês é um micronutriente essencial para todos os organismos. É essencial na produção da clorofila, tem papel como ativador enzimático e pode substituir o magnésio. A deficiência em manganês pode conduzir a distúrbios de crescimento e desordens tais como descoloração (amarelecimento) das folhas das plantas e das agulhas das coníferas. As concentrações de manganês nas plantas dependem mais da espécie vegetal que da disponibilidade do elemento no solo (Koljonen *et al.*, 1992).

As deficiências em manganês são comumente associadas com solos alcalinos onde ele ocorre sob a forma de complexos fracamente solúveis. Em solos ácidos, o manganês está disponível para o consumo, podendo atingir até concentrações perigosas. Os animais necessitam dele para o desenvolvimento ósseo normal, para a reprodução e para o funcionamento do sistema nervoso central. Dentre os sintomas de deficiência em manganês, estão as anormalidades esqueléticas, o crescimento mal proporcionado e dificuldades reprodutivas (Koljonen *et al.*, 1992).

Os compostos de manganês são essenciais à vida, já que são essenciais à atuação de diversas enzimas. Deficiências no solo conduzem à infertilidade nos mamíferos e à deformação óssea na fase de crescimento de aves. Assim, os compostos de Mn devem ser considerados com cuidado, sendo possivelmente carcinogênicos (causam câncer) e teratogênicos (causam malformações congênitas).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,0016 a 0,075 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 0,2 a 100 ppm, no fígado 3,6 a 9,6 ppm, nos músculos 0,2 a 2,3 ppm. A quantidade média de Mn numa pessoa de 70 kg é de 12 mg e a ingestão média diária é de 0,4 a 10 mg. A ingestão de 1.715 mg/kg de cloreto de manganês por via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

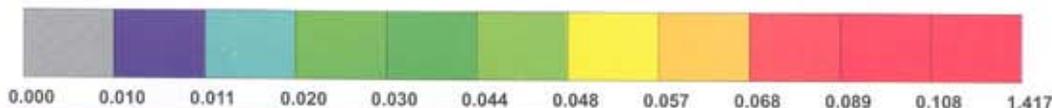
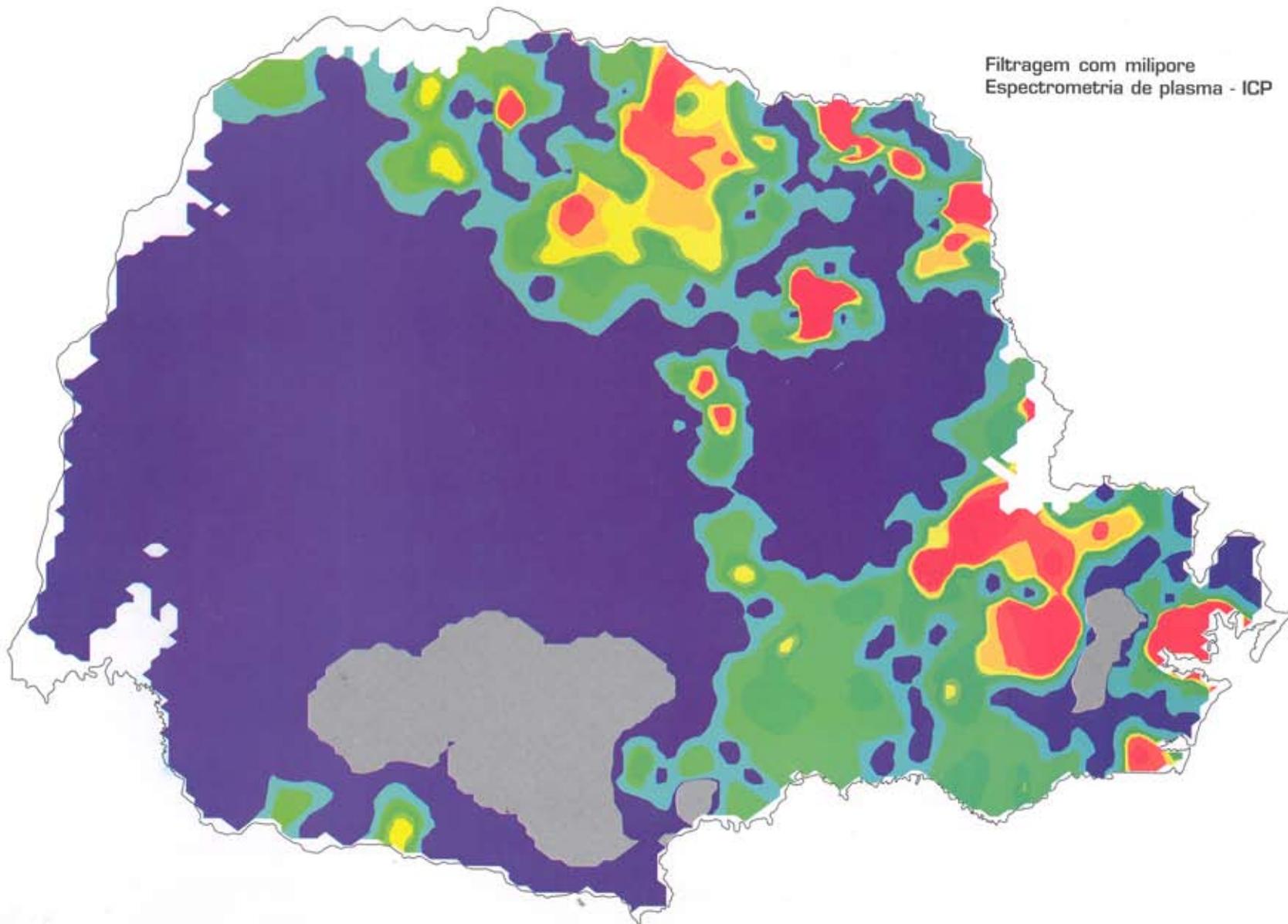
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
<sup>2+</sup> Mn (mg/L) (água)	697	0,001	0,01	0,01	0,026	0,01	1,44	0,0086

# Águas superficiais - $Mn^{2+}$ (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

## $Mn^{2+}$ (mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# MANGANÊS - Mn

## a. Características geoquímicas

O manganês é um metal cinzento, semelhante ao ferro, e muito mais duro e quebradiço. Durante os processos magmáticos, o Mn ocorre no estado iônico divalente, substituindo facilmente o  $Fe^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). O manganês é particionado entre os silicatos ferromagnesianos e óxidos de Fe-Ti, tornando-se enriquecido nas rochas básicas (cerca de 1.300 ppm) e ultrabásicas (1.000 ppm) relativamente às ácidas (cerca de 350 ppm). Existe uma correlação forte entre o Mn e o Fe (ferroso) na maioria das rochas ígneas, com razões Fe/Mn geralmente situando-se na faixa 0,015 - 0,02.

O manganês é imóvel durante o metamorfismo regional e de contato (Wedepohl, 1978; Nicollet e Andriambololona, 1980, in BGS, 1991), mas pode ser completamente redistribuído durante os fácies de retrorretromorfismo granulito-anfibolito (Tobschall, 1971; Beach e Tarney, 1978, in BGS, 1991). A remobilização do Mn pode também ocorrer como resultado de atividade hidrotermal ou metassomatismo regional (Senior e Leake, 1978, in BGS, 1991).

## b. Fontes naturais

Os teores de Mn nas rochas sedimentares são controlados tanto pela geoquímica da rocha fonte quanto pelas condições de oxidação-redução do ambiente deposicional (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991). O Mn pode ocorrer como minerais detriticos tais como a magnetita e ilmenita, mas a maior quantidade é tipicamente contida em óxidos secundários de  $Mn^{4+}$ , que formam concreções isoladas ou coberturas de superfície em minerais primários ou fragmentos líticos. Os folhelhos e gravacas são geralmente enriquecidos em Mn (cerca de 700 ppm) em relação aos ortoarenitos de grão grosso (cerca de 170 ppm). Alguns sedimentos de grão fino, podem enriquecer-se posteriormente pela presença de nódulos ou concreções pisolíticas de ferro-manganês (Jenkins, 1977, in BGS, 1991). Rochas carbonáticas (particularmente os dolomitos) podem também conter elevadas concentrações de Mn (média de cerca 550 ppm) (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991).

O manganês pode ocorrer nos canais de drenagem sob grande variedade de fases, incluindo silicatos ferromagnesianos detriticos, óxidos Fe-Mn e coberturas em argilo mine-rais. A dissolução dessas fases é relativamente lenta em ambientes oxidantes ou alcalinos, mas rápida sob condições ácidas ou redutoras, sendo o comportamento e a dispersão subseqüentes do Mn, governados principalmente pelo Eh do ambiente.

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial de manganês aproximou-se de 8 milhões de toneladas em 1988, a maior parte das quais utilizadas na manufatura do aço como ferromanganês, que contém cerca de 75% ou mais de manganês. É também um constituinte importante de aproximadamente todos os aços e é utilizado nas ligas de alumínio e outras, é utilizado em

pequenas quantidades em células elétricas secas e como agente descolorante na fabricação do vidro. O uso futuro do manganês vai depender em muito da indústria do aço. O manganês não é facilmente substituível por outros materiais e as novas técnicas de fabricação de aço geralmente estão voltadas à redução de sua utilização (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O manganês é um micronutriente essencial para todos os organismos. É essencial na produção da clorofila, tem papel como ativador enzimático e pode substituir o magnésio. A deficiência em manganês pode conduzir a distúrbios de crescimento e desordens tais como descoloração (amarelecimento) das folhas das plantas e das agulhas das coníferas. As concentrações de manganês nas plantas dependem mais da espécie vegetal que da disponibilidade do elemento no solo (Koljonen *et al.*, 1992).

As deficiências em manganês são comumente associadas com solos alcalinos onde ele ocorre sob a forma de complexos fracamente solúveis. Em solos ácidos, o manganês está disponível para o consumo, podendo atingir até concentrações perigosas. Os animais necessitam dele para o desenvolvimento ósseo normal, para a reprodução e para o funcionamento do sistema nervoso central. Dentre os sintomas de deficiência em manganês, estão as anormalidades esqueléticas, o crescimento mal proporcionado e dificuldades reprodutivas (Koljonen *et al.*, 1992).

Os compostos de manganês são essenciais à vida, já que são essenciais à atuação de diversas enzimas. Deficiências no solo conduzem à infertilidade nos mamíferos e à deformação óssea na fase de crescimento de aves. Assim, os compostos de Mn devem ser considerados com cuidado, sendo possivelmente carcinogênicos (causam câncer) e teratogênicos (causam malformações congênitas).

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,0016 a 0,075 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 0,2 a 100 ppm, no fígado 3,6 a 9,6 ppm, nos músculos 0,2 a 2,3 ppm. A quantidade média de Mn numa pessoa de 70 kg é de 12 mg e a ingestão média diária é de 0,4 a 10 mg. A ingestão de 1.715 mg/kg de cloreto de manganês por via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

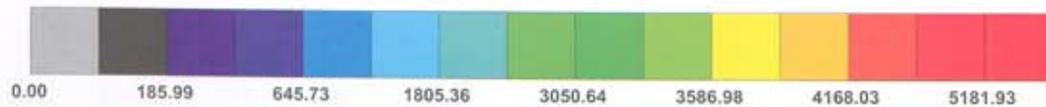
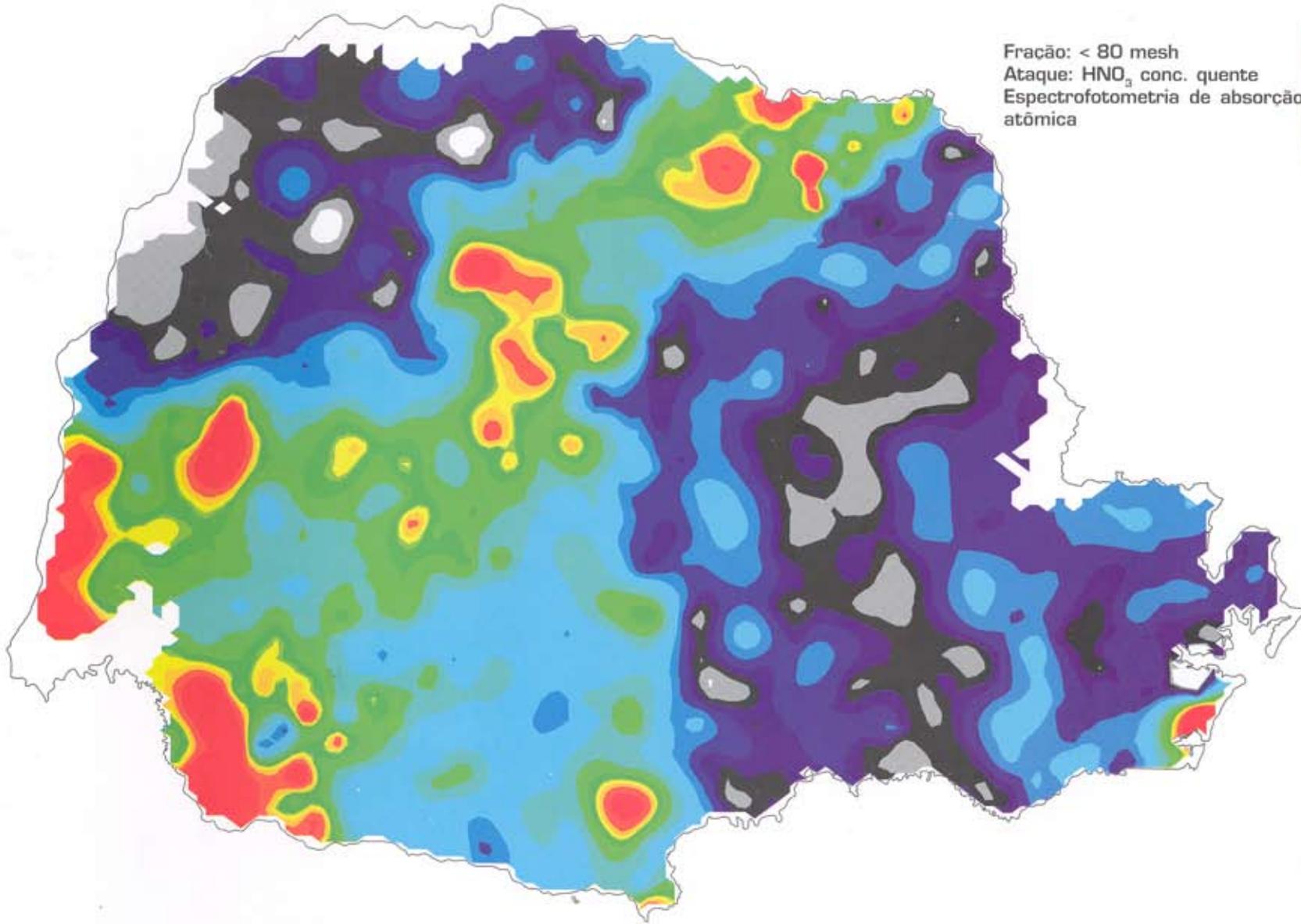
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Mn (ppm) (SAD)	696	2,80	265,00	954,50	1.504,94	2.350,00	9.000,00	2,39 x10 <sup>6</sup>

# Sedimentos de fundo - Mn (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Mn (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# MOLIBDÊNIO - Mo

## a. Características geoquímicas

O molibdênio é um elemento metálico que ocorre na natureza nos estados de oxidação +2, +3, +4, +5 e +6. É um metal prateado e muito duro. É muito comumente confundido com grafite ou minerais de chumbo. Nas rochas, mesmo quando em concentrações muito baixas, ele ocorre como molibdenita e também em proporções menores em outros sulfetos. Em concentrações de algumas dezenas de ppm, o molibdênio pode ser encontrado em minerais de ferro e titânio, mas somente traços são encontrados nos silicatos. Nos processos geológicos, ele comporta-se como o tungstênio com o qual é geoquimicamente semelhante e assim minerais de tungstênio normalmente contêm algum molibdênio. Na diferenciação magmática, o molibdênio é enriquecido nos estágios tardios, nos granitos, pegmatitos e soluções hidrotermais.

## b. Fontes naturais

A abundância média de molibdênio na crosta, assim como nos granitos não mineralizados e nos gabros é de 1,2 ppm. A variação entre os diferentes tipos de rocha é pequena (Koljonen *et al.*, 1992).

A molibdenita é altamente resistente ao intemperismo e em meio ácido é pouco solúvel. Na forma dissolvida, o Mo é rapidamente removido das soluções e adsorvido nas argilas, e principalmente nos sedimentos contendo matéria orgânica. Nos processos intempéricos ele também pode formar molibdatos. Sob o ponto de vista econômico, os mais importantes minérios de molibdênio são associados a rochas graníticas, com depósitos de cobre pórfiro e com metais preciosos.

## c. Fontes artificiais e uso

O molibdênio é um importante agente nas ligas metálicas contribuindo para a resistência e endurecimento de aços temperados. A maioria dos aços ultra-resistentes contém molibdênio em quantidades variáveis entre 0,25 e 8%. É utilizado nos eletrodos de fornos de indução elétrica, na indústria nuclear, em peças de mísseis e aeronaves, é um catalisador importante na indústria petroquímica. É material usado em filamentos para a indústria elétrica. O sulfeto de molibdênio é um ótimo lubrificante especialmente em temperaturas elevadas quando ocorre a decomposição dos óleos normais (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O molibdênio é um micronutriente essencial, moderadamente tóxico, que participa da fixação e redução das enzimas e de reações redutoras aparentemente em todas as espécies. Alguns solos são estéreis pela ausência de molibdênio.

Em seres humanos, os teores médios de molibdênio no sangue são de aproximadamente 0,001 mg/dm<sup>3</sup>, no fígado 1,3 a 5,8 ppm e nos músculos 0,018 ppm. A quantidade média de Mo numa pessoa de 70 kg é de 5 mg e a ingestão média diária é de 0,05 a 0,35 mg. A dosagem de 318 mg/kg MoO<sub>2</sub>, via subcutânea em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

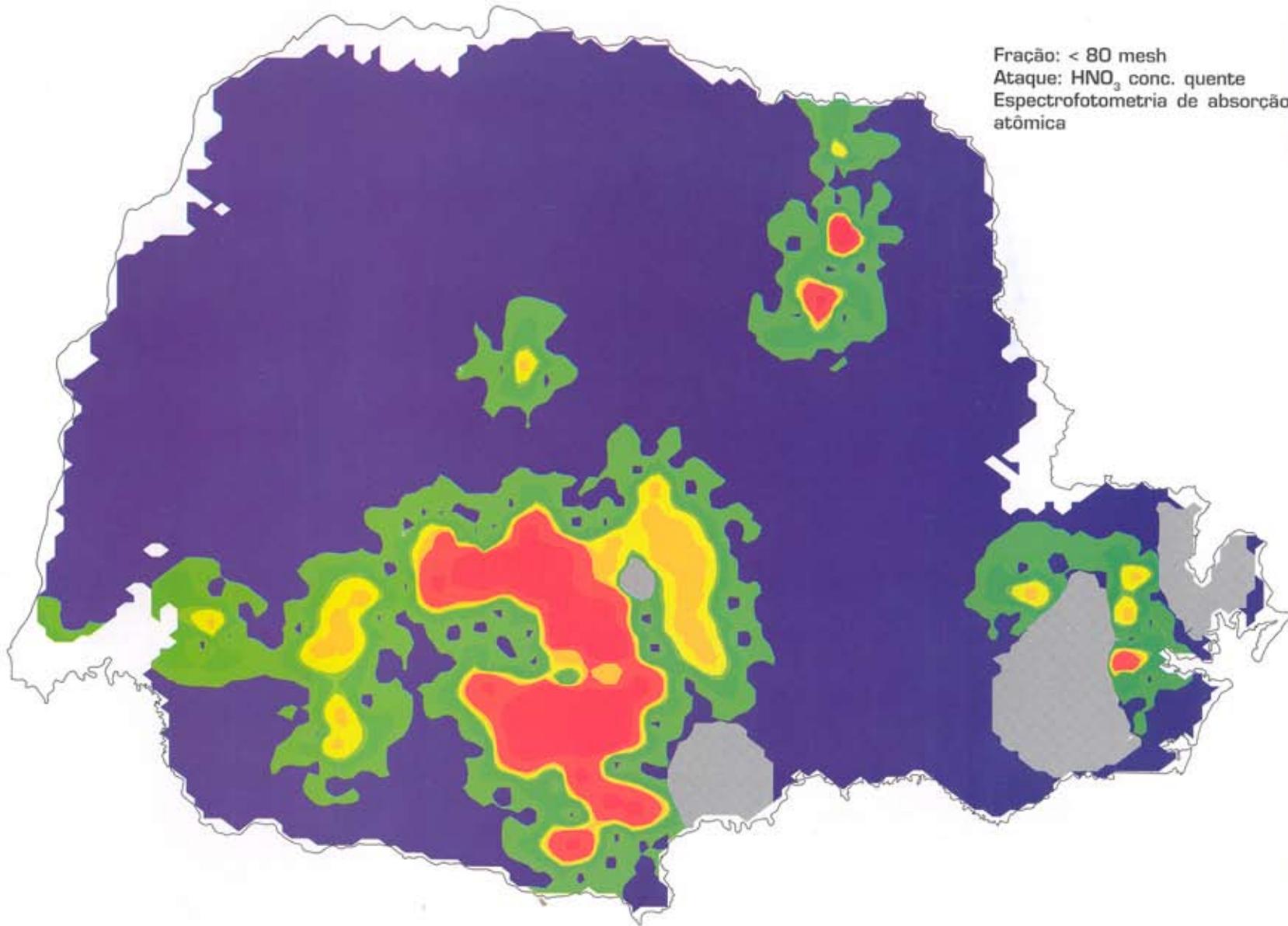
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Mo (ppm) (SAD)	690	0,10	0,50	0,50	0,613	0,50	5,00	0,214

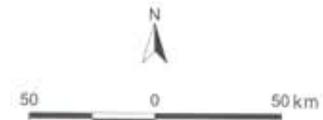
# Sedimentos de fundo - Mo (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Mo (ppm)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# NÍQUEL - Ni

## a. Características geoquímicas

O níquel é um metal prateado, duro, maleável, dúctil, levemente ferromagnético e um mau condutor de calor e de eletricidade.

O Ni<sup>2+</sup> tem tamanho intermediário entre o Mg<sup>2+</sup> e o Fe<sup>2+</sup>, e por esse motivo ele os substituiu durante o fracionamento magmático, sendo particionado entre minerais ferromagnesianos tais como a olivina (3.000 ppm Ni), ortopiroxênio e espinélio. Por esse motivo, é fortemente enriquecido nas rochas ultrabásicas e básicas (>150 ppm) relativamente às ácidas (<1 ppm). A abundância do Ni nas rochas está geralmente relacionado com o Mg, Cr e Co mas, em minerais sulfetados, correlaciona-se com o Cu (Wedepohl, 1978).

O Ni mostra mobilidade muito limitada durante a atividade hidrotermal de baixa temperatura, metamorfismo de baixo ou alto grau (Eade e Fahring, 1973) ou retrometamorfismo (Beach e Tarney, 1978).

## b. Fontes naturais

Em rochas sedimentares, o Ni está principalmente contido em silicatos ferromagnesianos detriticos, óxidos de Fe detriticos, óxidos hidratados de Fe e Mn e argilo-minerais. Concentra-se mais nos folhelhos (até 90 ppm) que nas grauvascas (cerca de 40 ppm), ortoarenitos (cerca de 20 ppm) e calcários (<5 ppm) e se enriquece nas lateritas dos ambientes tropicais (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991).

Uma grande quantidade do Ni<sup>2+</sup> nos sedimentos de drenagens está contido em silicatos e óxidos detriticos. A solubilidade limitada do Ni<sup>2+</sup> pode ocorrer sob condições de pH baixo, mas a mobilidade é geralmente reduzida, pela tendência do elemento ser sorvido por argilo minerais (Short, 1961, in BGS, 1991) ou por óxidos hidratados de Fe e Mn (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). O sulfeto millerita (NiS) precipita-se facilmente em ambientes redutores que disponham de HS<sup>-</sup> em quantidade suficiente na solução (Carignan e Nriagu, 1985, in BGS, 1991).

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial de níquel em 1988 foi de 850.000 toneladas. O uso principal é em ligas e aços inoxidáveis (50% da produção total), ligas não-ferrosas (20%) e na eletrodeposição (15%). O níquel é utilizado em aços especiais para ferramentas, materiais para a indústria automotiva, aeroespacial, construção civil, petrolífera e elétrica. O níquel é importante por causa de sua resistência à corrosão e por sua qualidade de aumentar a resistência à corrosão, dureza e propriedades específicas das ligas em que participa. O níquel é dos mais importantes metais e tem sido considerado como uma das bases da indústria de uma nação. A demanda deve crescer até o ano 2.000 em taxas de 2,6% ao ano (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O níquel é um elemento-traço essencial para a vida de muitas espécies. Frangos e ratos desenvolvidos sob dietas pobres em níquel apresentam danos hepáticos. O níquel é um elemento-chave para diversas hidrogenases e ureases de plantas.

Os compostos de níquel são considerados como extremamente tóxicos para os vegetais. Alguns são carcinogênicos (causam câncer) e teratogênicos (causam malformações congênitas). O composto níquel carbonil [Ni(CO)<sub>4</sub>], muito volátil, é extremamente tóxico e deve ser manipulado apenas sob condições especiais, em áreas muito ventiladas.

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 0,01 a 0,05 mg/dm<sup>3</sup>, no fígado 0,02 a 1,8 ppm e nos músculos 1 a 2 ppm (Winter, 1998). A quantidade média de Ni numa pessoa de 70 kg é de 15 mg e a ingestão diária média é de 0,3 a 0,5 mg. A dosagem de 1 a 3 mg/kg é tóxica e a de 350 mg/kg de acetato de Ni ministrada via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

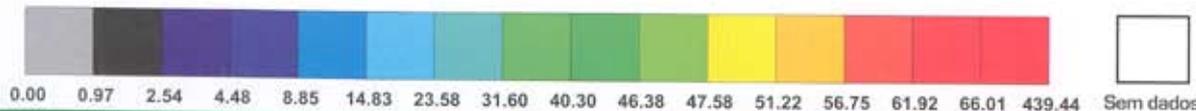
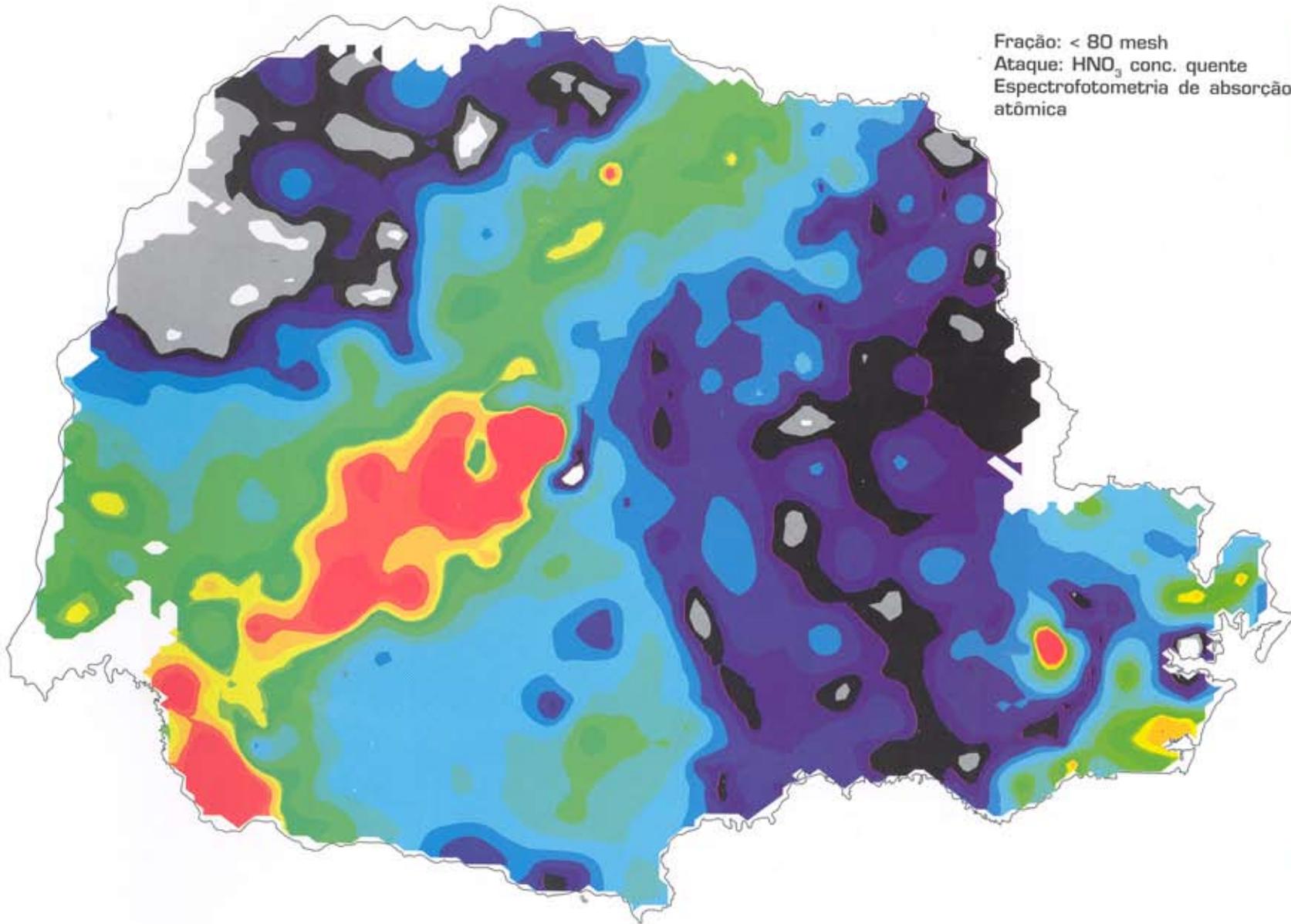
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Ni (ppm) [SAD]	690	0,25	4,00	15,00	21,01	32,00	470,00	675,73

# Sedimentos de fundo - Ni (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque:  $\text{HNO}_3$  conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## Ni (ppm)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# NITRATO - NO<sub>3</sub>

## a. Características geoquímicas

O nitrogênio é um dos elementos químicos mais abundantes na natureza, compondo cerca de 78% em volume da atmosfera terrestre. Como gás é incolor, inodoro e geralmente inerte. O elemento parecia tão inerte que Lavoisier denominou-o de azoto que significa "sem vida". Como líquido é também inodoro e incolor, com uma aparência semelhante à da água (Winter, 1998).

## b. Fontes naturais

O nitrogênio é produzido e consumido em praticamente todos os processos bioquímicos compondo até 60% em peso de alguns organismos. As emanações vulcânicas podem produzir sais amoniacais como o salmiac (NH<sub>4</sub>Cl).

Em ambientes desérticos são comuns as concentrações de sais, nitratos, cloretos, sulfatos, boratos, percloratos e iodatos, constituindo-se em fontes importantes para a produção de fertilizantes.

Durante o ciclo biológico, o nitrogênio é transformado em compostos orgânicos nitrogenados complexos. Essa decomposição bacteriana, produz em primeiro lugar aminoácidos, depois amônia, nitritos e por último nitratos. Entretanto, a complexidade dos processos orgânicos que ocorrem, podem até mesmo inverter este ciclo.

O nitrito indica uma baixa disponibilidade de oxigênio para os processos biológicos como nas regiões de manguezais, lagos naturais ou nas barragens.

O nitrato evidencia a presença do homem e principalmente as concentrações urbanas e todos os processos biológicos que ocorrem nesses locais. Pode também ser produzido nas regiões agrícolas onde são aplicadas grandes quantidades de produtos químicos e orgânicos nitrogenados para a fertilização do solo.

## c. Fontes artificiais e uso

O nitrogênio é utilizado principalmente na produção da amônia NH<sub>3</sub>. Esta é usada como insumo de fertilizantes agrícolas e na produção do ácido nítrico. O nitrogênio é empregado nos processos de manipulação do aço inoxidável e, na forma líquida, como elemento refrigerante para o congelamento rápido de produtos perecíveis ou transporte de alimentos. O nitrogênio líquido é usado pela indústria do petróleo para aumentar a pressão forçando o óleo a subir pelo poço.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O nitrogênio é um dos componentes fundamentais das cadeias vitais, entrando na composição das proteínas e aminoácidos. É um gás atóxico e compõe a maior parte (78%) do ar inspirado pelos seres vivos. O conteúdo médio de N num ser humano adulto com cerca de 70 kg é de 2.100 g, o que equivale a um teor de 30.000 ppm.

Compostos de nitrogênio como a amônia (NH<sub>3</sub>) são tóxicos em concentrações elevadas. Outros compostos de nitrogênio, como os cianetos, são letais mesmo em baixíssimas concentrações. A lixiviação do nitrogênio presente nos fertilizantes é uma das maiores causas da poluição dos rios. Óxido de nitrogênio (proveniente dos processos de combustão) é uma das principais causas das chuvas ácidas (Winter, 1998).

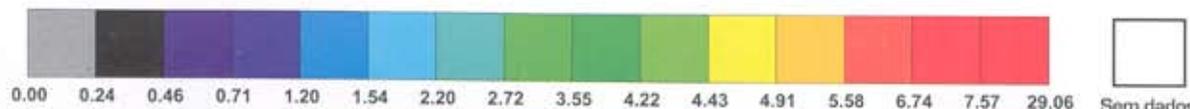
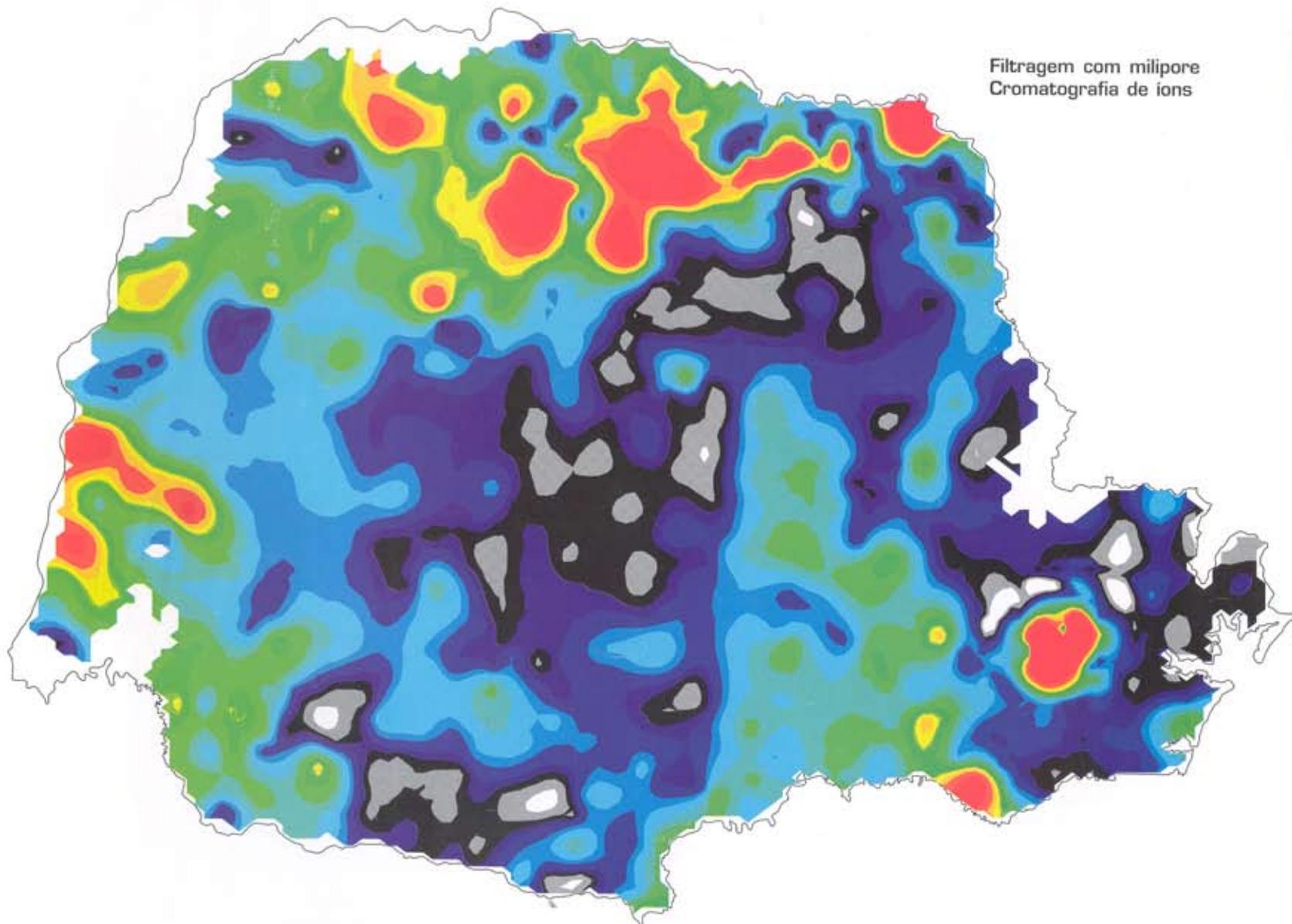
## e. Tabela-resumo das estatísticas

### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) (água)	694	0,010	0,580	1,30	2,032	2,50	32,40	6,020

Filtragem com milipore  
Cromatografia de ions

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# NITRITO - $\text{NO}_2$

## a. Características geoquímicas

O nitrogênio é um dos elementos químicos mais abundantes na natureza, compondo cerca de 78% em volume da atmosfera terrestre. Como gás é incolor, inodoro e geralmente inerte. O elemento parecia tão inerte que Lavoisier denominou-o de azoto que significa "sem vida". Como líquido é também inodoro e incolor, com uma aparência semelhante à da água (Winter, 1998).

## b. Fontes naturais

O nitrogênio é produzido e consumido em praticamente todos os processos bioquímicos compondo até 60% em peso de alguns organismos. As emanações vulcânicas podem produzir sais amoniacais como o salmiac ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Em ambientes desérticos são comuns as concentrações de sais, nitratos, cloretos, sulfatos, boratos, percloratos e iodatos, constituindo-se em fontes importantes para a produção de fertilizantes.

Durante o ciclo biológico, o nitrogênio é transformado em compostos orgânicos nitrogenados complexos. Essa decomposição bacteriana, produz em primeiro lugar aminoácidos, depois amônia, nitritos e por último nitratos. Entretanto, a complexidade dos processos orgânicos que ocorrem, podem até mesmo inverter este ciclo.

O nitrito indica uma baixa disponibilidade de oxigênio para os processos biológicos como nas regiões de manguezais, lagos naturais ou nas barragens.

O nitrato evidencia a presença do homem e principalmente as concentrações urbanas e todos os processos biológicos que ocorrem nesses locais. Pode também ser produzido nas regiões agrícolas onde são aplicadas grandes quantidades de produtos químicos e orgânicos nitrogenados para a fertilização do solo.

## c. Fontes artificiais e uso

O nitrogênio é utilizado principalmente na produção da amônia  $\text{NH}_3$ . Esta é usada como insumo de fertilizantes agrícolas e na produção do ácido nítrico. O nitrogênio é empregado nos processos de manipulação do aço inoxidável e, na forma líquida, como elemento refrigerante para o congelamento rápido de produtos perecíveis ou transporte de alimentos. O nitrogênio líquido é também usado pela indústria do petróleo para aumentar a pressão no reservatório forçando o óleo a subir pelo poço.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O nitrogênio é um dos componentes fundamentais das cadeias vitais, entrando na composição das proteínas e aminoácidos. É um gás atóxico e compõe a maior parte (78%) do ar inspirado pelos seres vivos. O conteúdo médio de N num ser humano adulto com cerca de 70 kg é de 2.100 g, o que equivale a um teor de 30.000 ppm.

Compostos de nitrogênio como a amônia ( $\text{NH}_3$ ) são tóxicos em concentrações elevadas. Outros compostos de nitrogênio, como os cianetos, são letais mesmo em baixíssimas concentrações. A lixiviação do nitrogênio presente nos fertilizantes é uma das maiores causas de poluição dos rios. Óxido de nitrogênio (proveniente dos processos de combustão) é uma das principais causas das chuvas ácidas (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

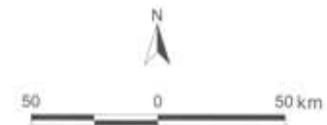
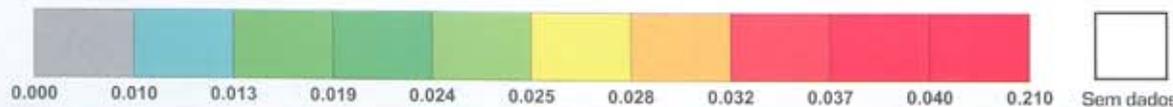
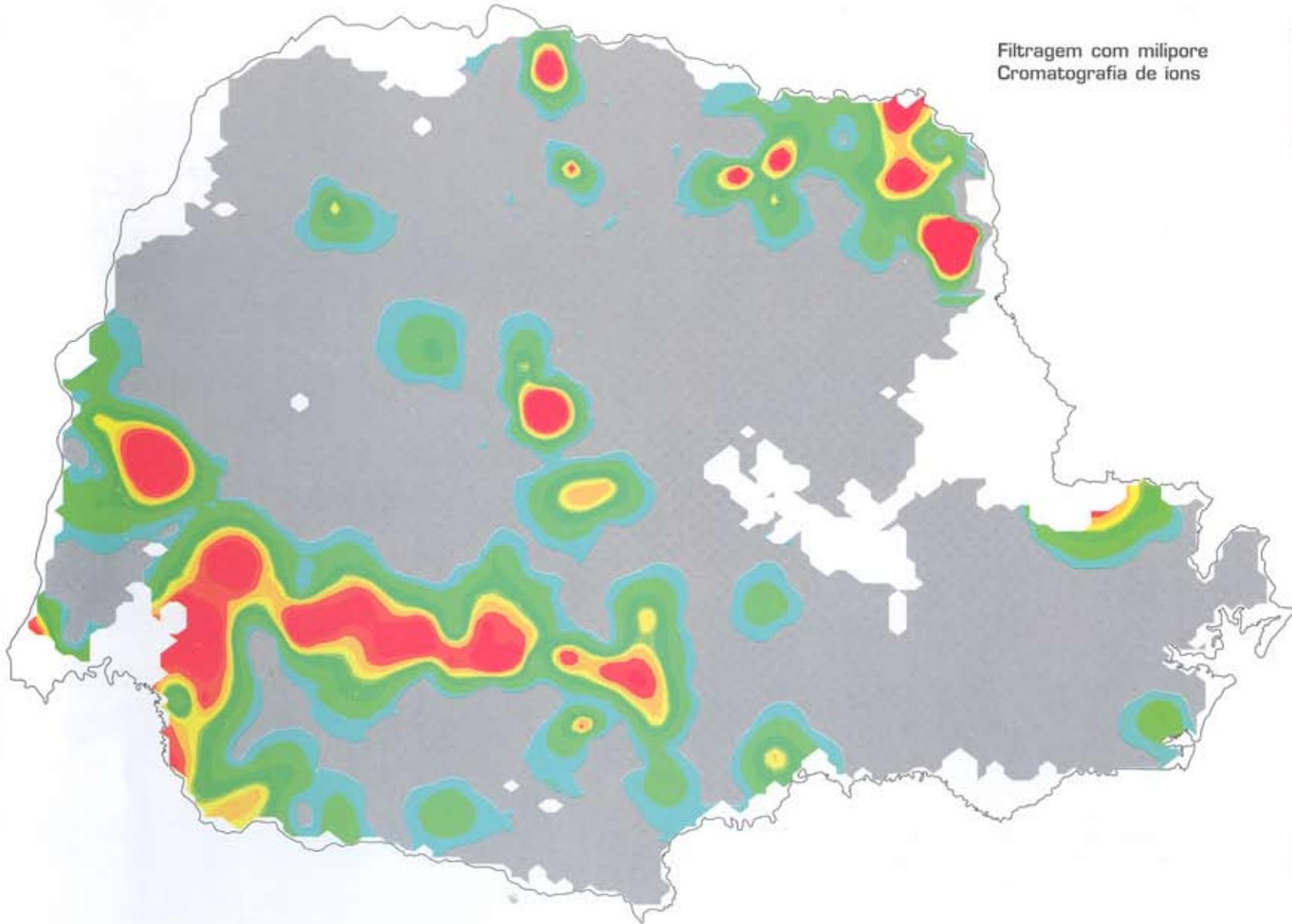
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
$\text{NO}_2^-$ (mg/L) (água)	541	0,010	0,010	0,010	0,014	0,010	0,23	0,00019

# Águas superficiais - NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Cromatografia de íons

## NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# POTÁSSIO - K

## a. Características geoquímicas

O potássio nunca é encontrado livre na natureza. É um dos metais mais reativos e eletropositivos e, depois do lítio, é o metal mais leve que se conhece. É mole, facilmente cortado com uma faca, e prateado em superfície fresca, oxidando-se rapidamente ao ar (Winter, 1998). O potássio, como os outros metais alcalinos (lítio, sódio, rubídio, e céσιο), ocorre na natureza no estado de oxidação +1. Nas rochas, ele está nos minerais silicatados e é principalmente incorporado no retículo dos feldspatos e micas. O potássio nos minerais pode ser substituído por rubídio, céσιο, bário, chumbo e tálio e assim afeta o comportamento geoquímico geral desses elementos traços. Durante a diferenciação magmática, o potássio é ligado ao feldspato potássico e é enriquecido nas rochas graníticas que se cristalizam num estágio tardio.

## b. Fontes naturais

Na crosta terrestre, o potássio é o sexto elemento mais abundante, logo após o cálcio, com teor médio de 2,5%; nos gabros a abundância é de 0,8% e nos granitos de 3,3%.

O feldspato potássico é resistente ao intemperismo e mesmo as areias contêm algum potássio. O potássio é adsorvido das soluções pelos colóides e é enriquecido nas argilas. No solo, o rubídio e o céσιο seguem o potássio, mas este separa-se do sódio que permanece em solução (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

O potássio tem amplo uso na produção de fertilizantes agrícolas (NPK). A liga de potássio com sódio (NaK), é usada como meio de transferência de calor. É líquido à temperatura ambiente e um bom agente redutor. É usado na produção de sal sem sódio para aplicações terapêuticas (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O potássio e seus sais, são essenciais para os processos vitais. O potássio é o cátion mais importante nos fluidos intracelulares. É um macronutriente não tóxico que ativa as reações enzimáticas, participa nas funções musculares, é essencial para o sistema nervoso e funções cardíacas. Por outro lado, os sais de potássio são extremamente tóxicos quando injetados.

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 1.620 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 2.100 ppm, no fígado 16.000 ppm, nos músculos 16.000 ppm. A quantidade média de K numa pessoa de 70 kg é de 140 g e a ingestão média diária é de 1.400 - 7.400 mg. A dosagem de aproximadamente 4 g na forma de cloreto de potássio é tóxica e a de 2.600 mg/kg de cloreto de potássio, ministrada via oral em ratos, é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

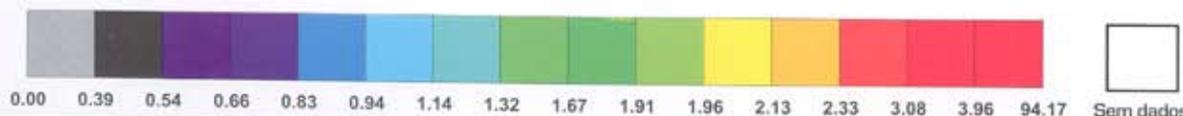
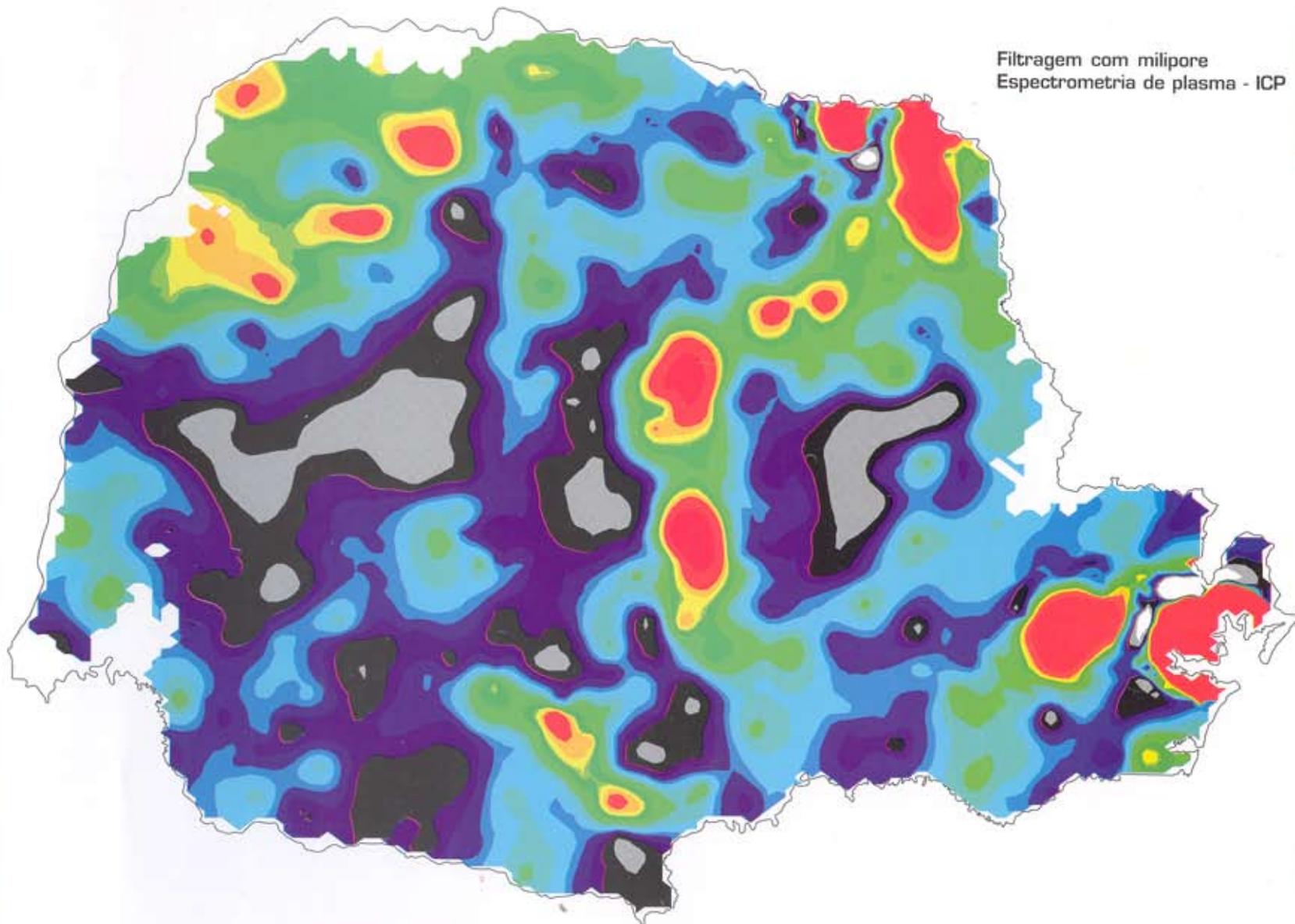
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
K <sup>+</sup> (mg/L) (água)	697	0,050	0,60	0,890	1,331	0,60	102,60	18,657

# Águas superficiais - K<sup>+</sup> (mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

K<sup>+</sup> (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# SÓDIO - Na

## a. Características geoquímicas

O sódio, a exemplo dos outros metais alcalinos, ocorre na natureza no estado de oxidação +1. Como o alumínio, ele forma silicatos e nas rochas é principalmente incorporado nos feldspatos. Durante a diferenciação magmática, a composição dos plagioclásios muda de cálcica para sódica. Como resultado, rochas pobres em sílica contêm principalmente cálcio e as félsicas, ricas em sílica, contêm sódio. Nas rochas alcalinas e carbonatitos, o sódio também ocorre em anfibólios, piroxênios e outros minerais.

## b. Fontes naturais

Na crosta continental, o sódio é o sétimo elemento mais importante depois do potássio. A abundância média do sódio é de 2,4% na crosta terrestre, 2,0% nos gabros e 2,5% nos granitos (Koljonen *et al.*, 1992).

Os plagioclásios ricos em sódio são resistentes ao intemperismo e mesmo as areias contêm algum sódio. O sódio dissolvido permanece na forma iônica e é removido para o mar, onde contribui para o aumento da salinidade. Quando a água evapora, as soluções se enriquecem em sais e se formam depósitos evaporíticos compostos principalmente de sal comum (NaCl). Sob o aspecto econômico, importantes depósitos de soda são formados pela evaporação em áreas continentais quentes. A água do mar e depósitos evaporíticos são as mais importantes fontes de sódio e de seus compostos salinos (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

O sódio é empregado como condimento alimentar através do sal de cozinha comum (NaCl). O metal sódio é usado na obtenção do chumbo tetraetila (PbEt<sub>4</sub>), um importante anti-detonante para a gasolina. Entra na composição de diversos produtos comuns como a soda cáustica (hidróxido de sódio, NaOH) e a "soda de padaria" (bicarbonato de sódio, NaHCO<sub>3</sub>). É empregado na produção do sabão e do vidro, nas indústrias têxtil, do petróleo, química e metalúrgica.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O sódio é um elemento vital essencial, não tóxico, que tem parte importante na regularização do equilíbrio das soluções celulares. A dieta humana deve conter uma quan-

tidade considerável de sódio, o principal cátion extracelular dos animais e importante para as funções nervosas.

Os sais de sódio, incluindo o sal de cozinha (NaCl), são relativamente inofensivos quando não ingeridos em excesso. Por esse motivo a dieta das pessoas hipertensas deve ser balanceada de modo a não conter sódio em demasia.

Em seres humanos, os teores médios no sangue são de 1.970 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 10.000 ppm, no fígado 2.000 a 4.000 ppm, nos músculos 2.600 a 7.800 ppm. A quantidade média de Na numa pessoa de 70 kg é de 100 g e a ingestão média diária é de 2 a 15 g. A ingestão por seres humanos via oral de 12 g/kg de NaCl é tóxica e a de 3.000 mg/kg NaCl ministrado via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela resumo das estatísticas

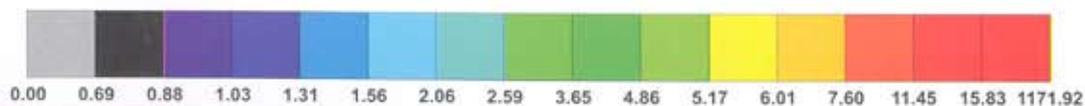
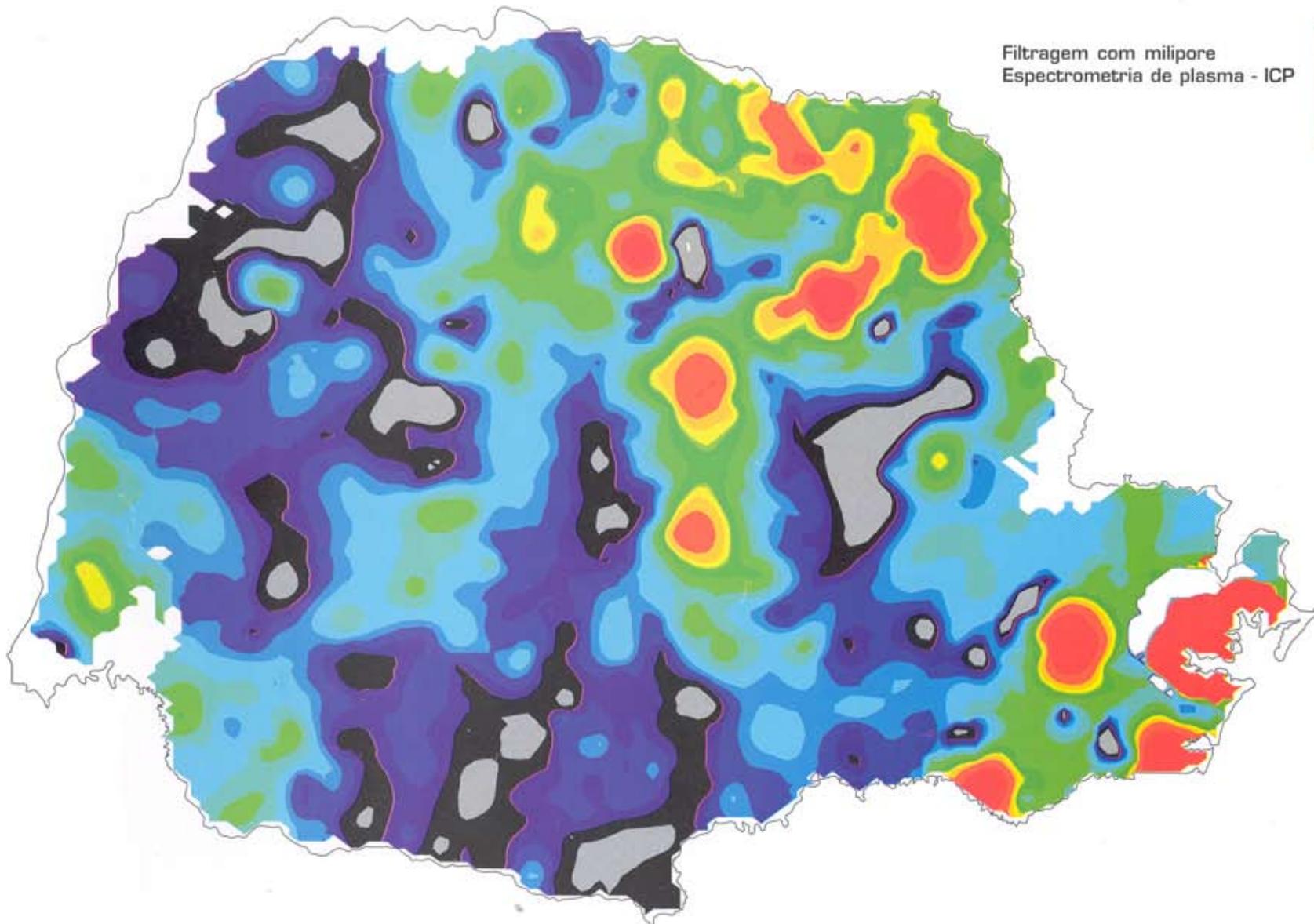
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Na <sup>+</sup> (mg/L) (água)	697	0,125	1,010	1,680	5,672	2,830	1.244,0	3.381,76

# Águas superficiais - Na<sup>+</sup>(mg/L)

Filtragem com milipore  
Espectrometria de plasma - ICP

Na<sup>+</sup> (mg/L)



Sem dados



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# SULFATO - $SO_4$

## a. Características geoquímicas

O enxofre é um elemento de cor amarela, inodoro, quebradiço e insolúvel em água. O enxofre é um dos oligoelementos mais importantes da natureza. Muitos elementos metálicos mostram uma grande afinidade de combinação com o enxofre, produzindo os minerais sulfetados. O íon sulfato é produzido nas reações químicas de decomposição dos minerais sulfetados pela ação do intemperismo, assim como pelas reações de decomposição da matéria orgânica em ambiente anaeróbico e pelo metabolismo bacteriano. A oxidação do enxofre ( $SO_2$ ) e a decomposição de matéria orgânica (com produção de  $H_2S$ ) produzem mau-cheiro característico de ovo podre.

## b. Fontes naturais

As fontes naturais do enxofre são principalmente os minérios sulfetados, resíduos piritosos das minas de carvão e subproduto do processamento do petróleo. As rochas sedimentares mostram teores que variam entre 300 ppm nos arenitos até 2600 ppm nas margas. As rochas ígneas mostram variações desde 500 ppm nos granitos até 2500 ppm nas ultrabásicas (peridotitos e piroxenitos) (Rankama e Sahama, 1954).

O sulfato é um íon com carga negativa, produzido em condições naturais, principalmente pela decomposição de minerais sulfetados (pirita, calcopirita, galena, blenda, etc). Uma parcela do sulfato produzido se deposita na forma de novos minerais como a gipsita (sulfato de cálcio), barita (sulfato de bário) e anglesita (sulfato de chumbo). Outra parcela permanece em solução e é transportada pelas águas para os lagos, mares fechados e oceanos.

## c. Fontes artificiais e uso

O enxofre é um componente importante da pólvora negra; é usado na vulcanização da borracha; na produção de fertilizantes e de fungicidas. É usado na produção do ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), considerado como um dos mais importantes produtos químicos; usado nas baterias e na indústria do papel.

## d. Importância na nutrição e toxidez

O enxofre é um elemento essencial à vida, já que é um constituinte das gorduras, fluidos corpóreos e esqueleto. É o elemento-chave de muitas proteínas, já que está contido nos aminoácidos, metionina e cisteína. As interações enxofre - enxofre são importantes na determinação das estruturas das proteínas. Em algumas bactérias o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) substitui a água ( $H_2O$ ) durante a fotossíntese. O ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) está presente nos fluidos digestivos de algumas espécies de animais marinhos como os ascídios (Winter, 1998)

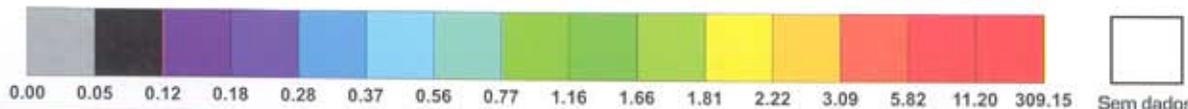
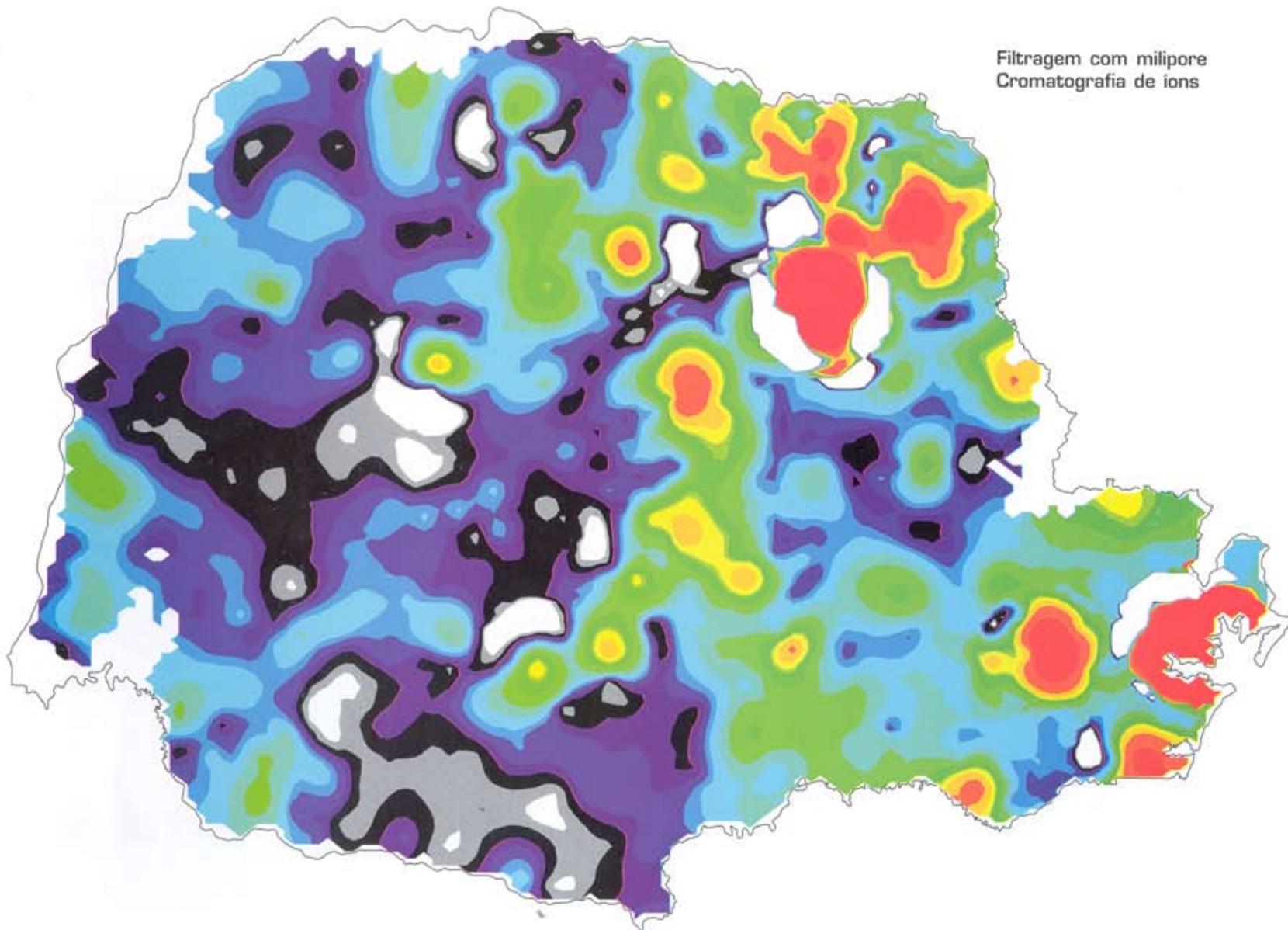
## e. Tabela-resumo das estatísticas

### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
$SO_4^{2-}$ (mg/L) (água)	694	0,01	0,14	0,35	1,945	0,71	330,00	304,89

Filtragem com milipore  
Cromatografia de íons

$\text{SO}_4^{2-}$  (mg/L)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# VANÁDIO - V

## a. Características geoquímicas

O vanádio é um elemento metálico que quando puro, é cinza-claro, mole e dúctil. Tem uma boa resistência à corrosão aos álcalis, ácidos sulfúrico e clorídrico e águas marinhas. Ocorre na natureza no estado de oxidação +2, +3, +4, e +5. Nas rochas ele substitui o ferro e está presente em óxidos, piroxênios, anfibólios e micas. Ele é separado da fusão silicática no estágio inicial de cristalização quando se diferenciam as rochas máficas.

## b. Fontes naturais

A abundância média do vanádio é de 10 ppm na crosta terrestre, 260 ppm nos gabros e 70 ppm nos granitos. Nos xistos grafitosos e nos xistos betuminosos, as concentrações chegam a valores tão altos quanto 100 a 500 ppm. Minerais máficos contendo vanádio intemperizam-se facilmente e o elemento dissolvido é removido de soluções principalmente em sedimentos ricos em matéria orgânica. O urânio se comporta de maneira semelhante em meio redutor, assim esses dois elementos ocorrem juntos, enriquecidos nos sedimentos ricos em matéria orgânica, em xistos grafitosos e gnaisses derivados desses elementos (Koljonen *et al.*, 1992).

## c. Fontes artificiais e uso

Para a indústria, o vanádio é obtido como um subproduto de outros minérios, especialmente minérios de ferro e de titânio associados com o magmatismo inicial, de rochas máficas e mineralizações sedimentogênicas do tipo cobre-vanádio-urânio. Uma curiosidade interessante é a obtenção de vanádio a partir do petróleo venezuelano, o que ilustra o enriquecimento na matéria orgânica.

Cerca de 80% do vanádio produzido é usado como ferrovanádio ou como aditivo de aços. O vanádio é um estabilizador importante dos carbeto para a manufatura de ferramentas. O pentóxido de vanádio é usado na indústria cerâmica, também como mordente na indústria gráfica e na manufatura da anilina negra. O composto vanádio-gálio é usado na produção de magnetos supercondutores (Winter, 1998).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O vanádio é um micronutriente essencial para alguns animais inferiores. Os teores de V nos ascídios é um milhão de vezes mais elevado que os teores da água do mar, devido à capacidade desses organismos de concentrar vanádio. O vanádio também é conhecido

como necessário aos ratos; a deficiência pode reduzir a taxa de crescimento e de reprodução. Os compostos de vanádio nas emissões gasosas industriais podem causar câncer de pulmão.

Em seres humanos, os teores médios nos ossos é de 0,0035 ppm, no fígado 0,006 ppm, nos músculos 0,02 ppm. A quantidade média de V numa pessoa de 70 kg é de 0,11 mg e a ingestão média diária é de 0,04 mg. A dosagem de 10 mg/kg (na forma de  $V_2O_5$ ) ministrada via oral em ratos é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

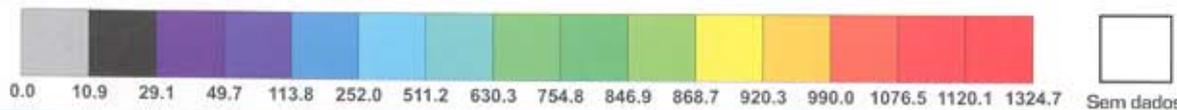
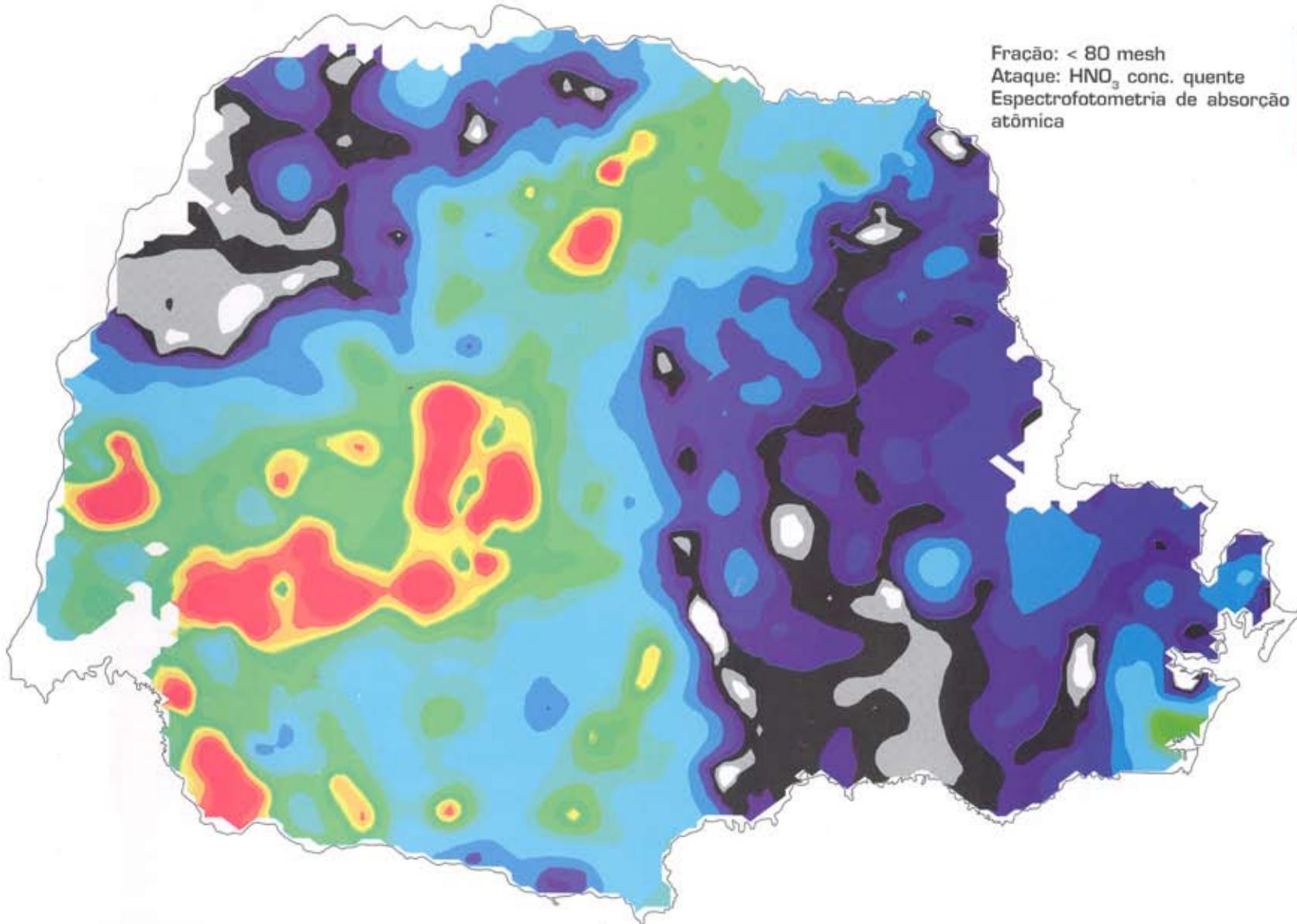
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
V (ppm) [SAD]	690	2,0	38,0	220,00	361,96	620,00	1.460,00	127.605,3

# Sedimentos de fundo - V (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica

## V (ppm)



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



# ZINCO - Zn

## a. Características geoquímicas

O zinco é um metal branco azulado, brilhante, quebradicho a temperaturas normais, mas maleável entre 100 e 150°C. É um razoável condutor de eletricidade.

Durante os processos magmáticos, o Zn comporta-se como a maioria dos outros metais de transição, mostrando compatibilidade com as primeiras etapas do fracionamento. Com isso, torna-se enriquecido nas rochas básicas (média de 100 ppm) com relação às ácidas (média de 50 ppm) (Wedepohl, 1978). Ele é claramente fracionado entre óxidos e silicatos por substituição por  $Fe^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , já que ambos têm raios iônicos similares ao do  $Zn^{2+}$  (0.83 Å).

## b. Fontes naturais

Nas rochas básicas, o principal portador de Zn é a magnetita, enquanto que a biotita é o mais importante nos granitos (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). Quando os dois minerais co-existem, a biotita geralmente contém mais Zn que o normal. A blenda (ZnS) é um mineral acessório comum das rochas ígneas e um constituinte usual de mineralizações hidrotermais o que reflete a natureza calcófila do Zn.

A mobilização do Zn é limitada durante os processos de alteração de baixo grau das rochas vulcânicas (Condie, 1976, in BGS, 1991). Apenas pequenas perdas ocorrem no metamorfismo de baixo e médio grau (van de Kamp, 1970; Nicollet e Andrianbololona, 1980, in BGS, 1991) mas os fácies granulíticos podem se empobrecer em Zn (Sighinolfi e Gorgoni, 1978; Engel e Engel, 1960, in BGS, 1991).

A distribuição do Zn nas rochas sedimentares é, em princípio, controlada pela abundância de silicatos ferro-magnesianos, magnetita e argilo-minerais (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991). Ele também é facilmente adsorvido em óxidos de Fe hidratados. As rochas carbonatadas (cerca de 50 ppm) e as areias quartzo-feldspáticas (30-50 ppm) são geralmente pobres em Zn em comparação com as grauvacas (70-100 ppm) e com os folhelhos (50-190 ppm). O Zn tem afinidade pela matéria orgânica, e por este motivo, ocorrem teores elevados nos folhelhos oleígenos (Wedepohl, 1978, in BGS, 1991). Valores elevados de Zn (atingindo cerca de 1%) têm sido registrados em concreções oolíticas ferruginosas e em nódulos de ferro e manganês de formação recente (Jenkyns, 1977, in BGS, 1991).

O Zn em sedimentos de drenagens, está contido principalmente nos silicatos ferromagnesianos e óxidos detriticos, que se intemperizam muito vagarosamente na maioria dos ambientes. Ele pode ser mobilizado mais rapidamente pela dissolução dos sulfetos ou contaminantes metálicos em águas de drenagens ácidas (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991). O Zn é rapidamente sorvido em óxidos secundários (Jenne, 1968; Robinson, 1981, in BGS, 1991), argilo-minerais (Kurki, 1974, in BGS, 1991) e matéria orgânica (Ure e Berrow, 1982, in BGS, 1991) sob todas as condições ambientais, mas principalmente nas mais ácidas (pH < 4.5).

## c. Fontes artificiais e uso

A produção mundial de zinco em fundições foi de 7,2 milhões de toneladas em 1988, ocupando o quinto lugar na escala de uso mundial do metal. Tem uma ampla variedade de

usos, sendo o mais importante deles a galvanização (50% do consumo total) que vem a ser a cobertura do aço ou do ferro com uma película de Zn ou Zn-Al, a produção do latão (15-20% Zn-Cu), e o óxido para pigmentos brancos. A pasta de zinco tem sido muito usada em produtos médicos como desinfetante e como forma de aumentar a produção de células em ferimentos. Em algumas ligas, o zinco pode ser substituído por outros metais com alumínio e magnésio, mas normalmente sem vantagens pois os custos são mais elevados. O uso do zinco está crescendo principalmente nos países em desenvolvimento e é diretamente dependente da população. É prevista uma demanda de 11 milhões de toneladas no ano 2.000 (Koljonen *et al.*, 1992).

## d. Importância na nutrição e toxidez

O zinco é um elemento traço essencial em todos os sistemas vivos, desempenhando um papel importante nas atividades enzimáticas, metabolismo do ácido nucléico, síntese de proteínas, manutenção da estrutura e função das membranas, atividade hormonal, reprodução e maturidade sexual. Animais com deficiência de zinco necessitam de 50% mais de alimentos para adquirir o mesmo peso que os animais com suplemento adequado do metal. Nas plantas, os teores de zinco variam com o estado do crescimento e são geralmente maiores nas plantas mais jovens e brotos. As demandas de zinco e taxas de absorção por plantas podem ser consideradas como baixas. O risco de toxidez às plantas é em geral reduzido e apenas observado em solos com estoque de zinco elevado, como por exemplo em pilhas de rejeito geradas pelas atividades de mineração (Koljonen *et al.*, 1992).

O zinco metálico é um irritante da pele humana, no entanto não é considerado como tóxico. Os compostos de zinco mais comuns não são tóxicos, mas certos sais de zinco podem ser carcinogênicos. A poluição por emissões aéreas industriais podem causar câncer de pulmão.

O zinco é encontrado em todos os tecidos e fluidos do corpo humano e é essencial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução. As desordens metabólicas provocadas pelo zinco são geralmente devidas mais às suas carências que aos seus excessos (Koljonen *et al.*, 1992).

Em seres humanos, os teores médios de zinco no sangue são de 7,0 mg/dm<sup>3</sup>, nos ossos 75 a 170 ppm, no fígado 240 ppm, nos músculos 240 ppm. A quantidade média de Zn numa pessoa de 70 kg é de 2,3 g e a ingestão média diária é de 5 a 40 mg. A dosagem de 350 mg/kg de ZnCl ministrada por via oral em ratos, é considerada como letal (Winter, 1998).

## e. Tabela-resumo das estatísticas

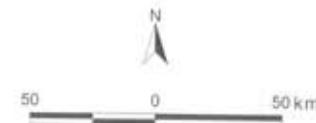
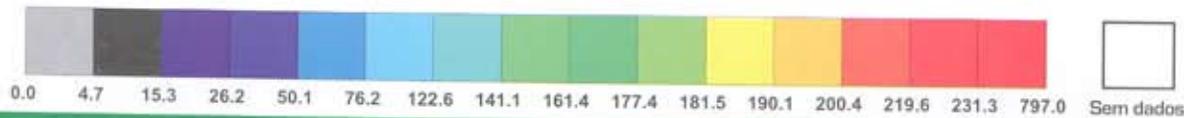
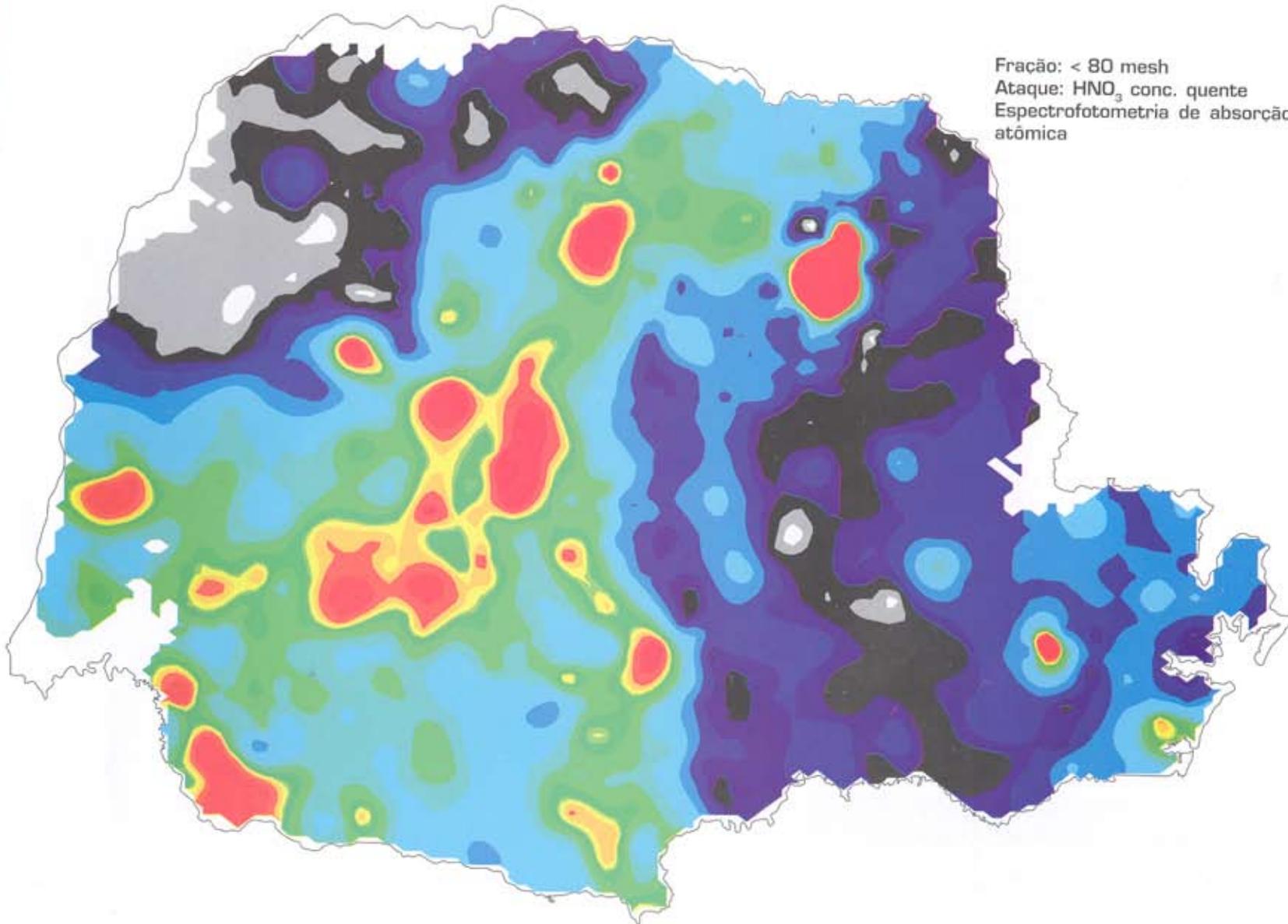
### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Zn (ppm) (SAD)	690	1,00	24,00	76,00	89,55	142,00	840,00	6.026,31

# Sedimentos de fundo - Zn (ppm)

## Zn (ppm)

Fração: < 80 mesh  
Ataque: HNO<sub>3</sub> conc. quente  
Espectrofotometria de absorção atômica



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



## pH - ACIDEZ DA ÁGUA

### a. Características geoquímicas

A acidez nas águas de drenagem é função principalmente da concentração, ou mais corretamente, da atividade dos íons hidrogênio livre  $[H^+]$ . Como a concentração molar destes íons é normalmente muito baixa, a unidade comumente usada é o pH, definido como o logaritmo negativo na base dez da concentração de íons hidrogênio ( $pH = -\log_{10}[H^+]$ ). Isto estabelece uma faixa de valores que varia desde 1 (muito ácido) até 14 (muito alcalino), com o valor 7 identificando a situação de neutralidade. A maioria das águas naturais caem dentro do intervalo de pH entre 5 e 9, embora as águas de minas e turfeiras sejam consideravelmente mais ácidas, podendo atingir  $pH < 2,0$ . Já os efluentes de depósitos de resíduos sólidos urbanos (lixões) ficam entre 7,8 e 8,2. A medida do pH é feita normalmente pela combinação, compensada termicamente, de eletrodos de vidro e dosímetros de alta impedância, que permite leituras rápidas desde a amostragem até a medição. O nível absoluto de pH, assim como muitos outros parâmetros hidroquímicos, é parte de um sistema em equilíbrio dinâmico, e pode mostrar variações consideráveis dentro de períodos curtos, em função de temperatura, clima, condições de fluxo das correntes e estação do ano. Estudos recentes revelaram alguns dos problemas envolvidos nas medições precisas do pH em águas pobremente tamponadas com baixo potencial eletrolítico (Davison e Woof, 1985; Marinenko e Koch, 1984 in BGS, 1991).

O uso do solo pode ter um efeito importante sobre o pH das águas superficiais: em áreas cultivadas o uso de calcário e fertilizantes básicos pode contribuir para aumentá-lo (tornando-o alcalino), enquanto áreas de plantio de coníferas podem mostrar águas ácidas, pela redução da capacidade de tamponamento dos solos (Reynolds *et al.*, 1988 in BGS, 1991).

### b. Tabela-resumo das estatísticas

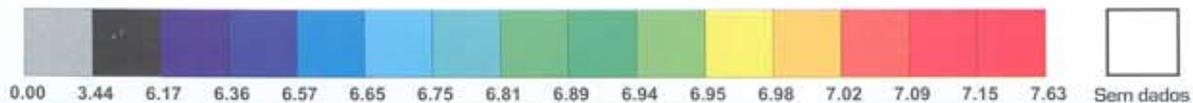
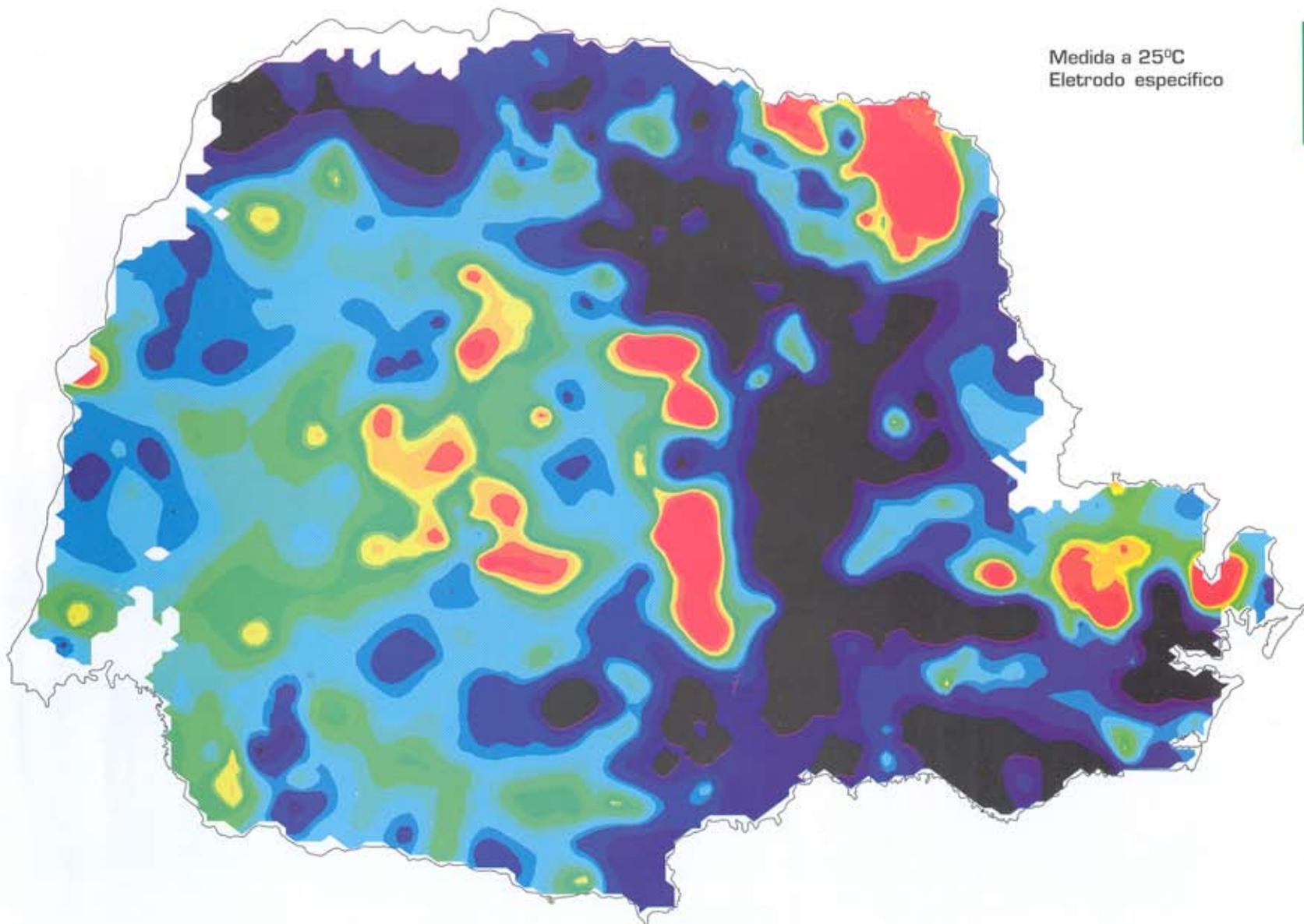
#### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Minímo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
pH (água)	697	3,30	6,30	6,70	6,59	6,90	7,70	0,168

# Águas superficiais - pH

Medida a 25°C  
Eletrodo específico

pH



**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



## CONDUTIVIDADE DA ÁGUA

### a. Características geoquímicas

A condutividade eletrolítica da água de uma drenagem é a medida da concentração de todos os solutos ionizados, ou seja o total de cátions e ânions. Ela pode ser vista, portanto, como um indicador da pureza, ou da carga solúvel das águas. A unidade de medida é microsiemens ( $\mu\text{S}$ ), sendo determinada por meio de uma ponte de condutividade e uma célula de largura fixa. A condutividade é recíproca da resistência elétrica. Entretanto, a relação entre condutividade e potencial eletrolítico não é linear, pois a mobilidade condutiva dos íons é variável: o  $\text{H}^+$  é muito móvel, o  $\text{OH}^-$  é muito menos móvel. Cátions univalentes, tais como o  $\text{Na}^+$  são bem mais móveis do que os polivalentes, tais como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , e da mesma forma, ânions univalentes tais como  $\text{Cl}^-$  são mais móveis do que os polivalentes, tais como  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ . Assim, um rio com  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  entre os seus solutos dominantes terá uma condutividade maior do que outro dominado por  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , se o pH e o potencial eletrolítico forem semelhantes. Assim, como acontece com o pH, a condutividade depende, em certa medida, da temperatura, do clima e das condições de fluxo da corrente (BGS, 1991).

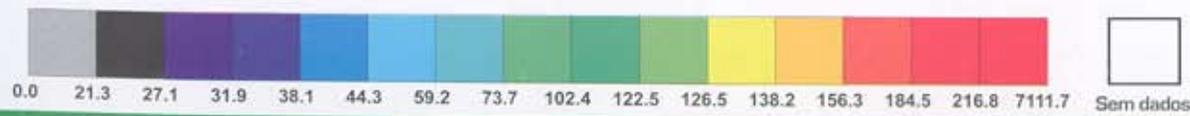
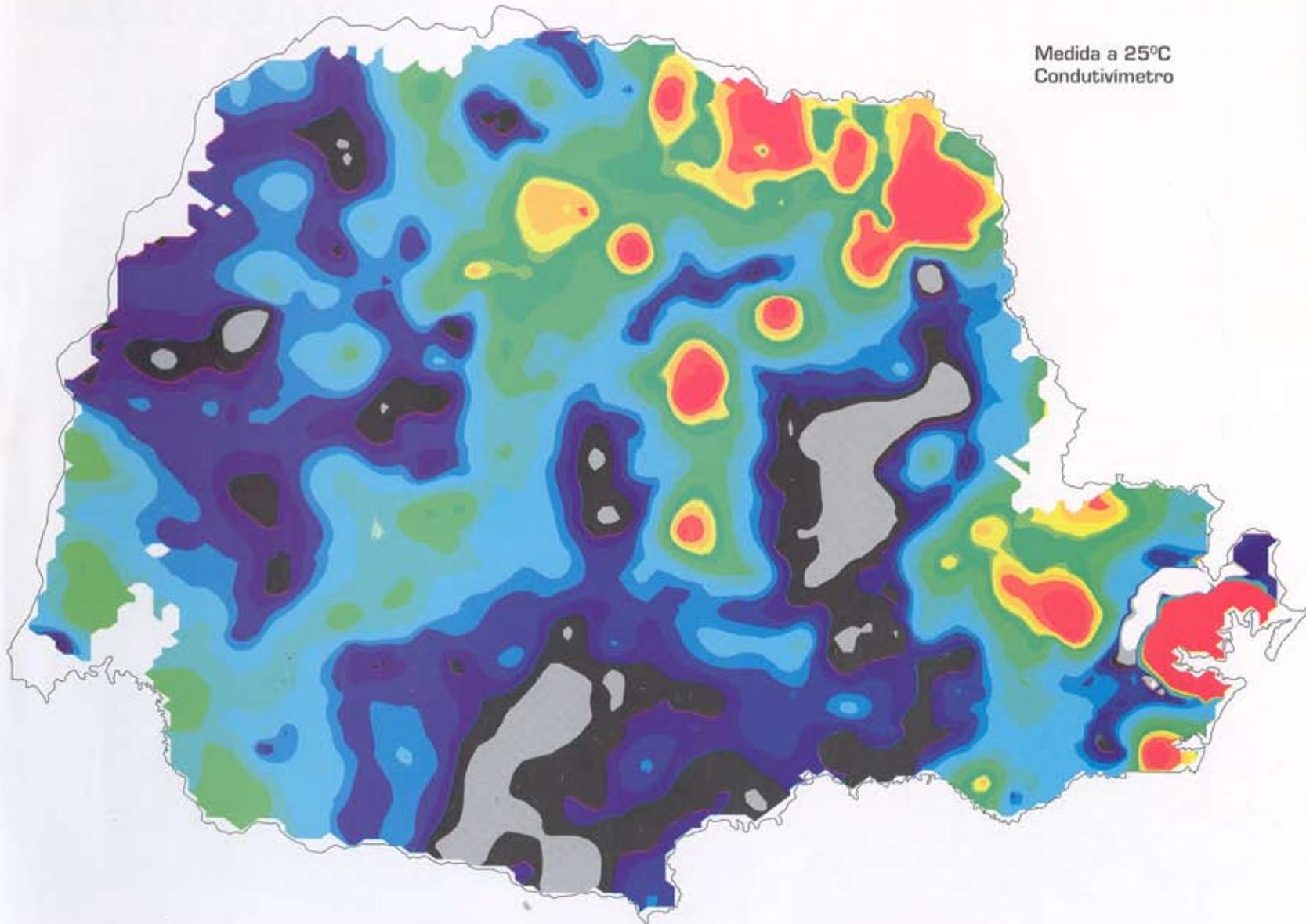
### b. Tabela-resumo das estatísticas

#### Levantamento geoquímico multielementar do Paraná

	N	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância
Condutivid. ( $\mu\text{S}$ ) (água)	697	7,4	30,80	45,10	83,27	79,50	7.540,00	126.527,0

Medida a 25°C  
Condutivimetro

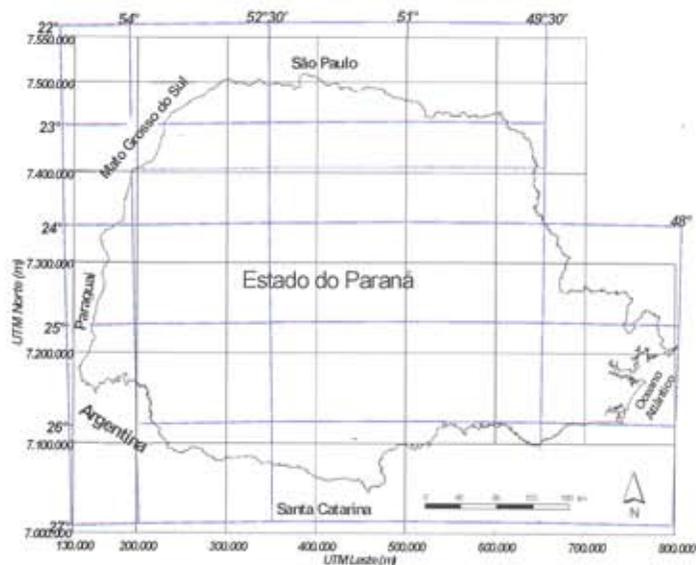
Condutividade



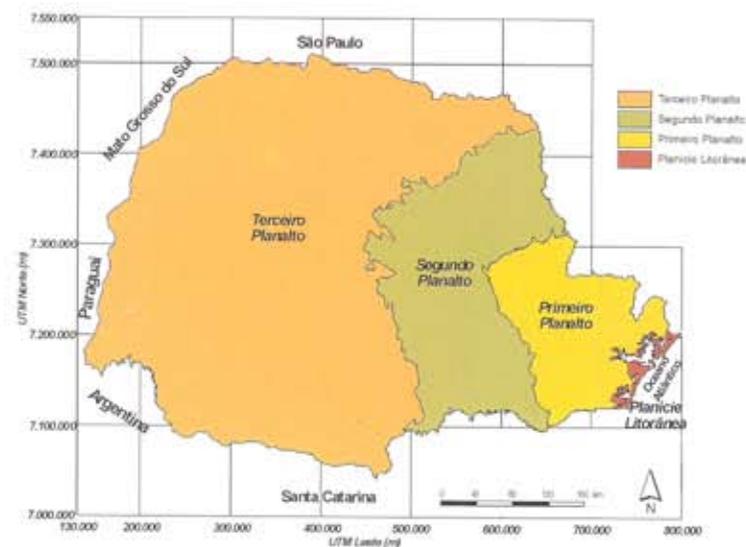
**MINEROPAR**  
MINERAIS DO PARANÁ SA



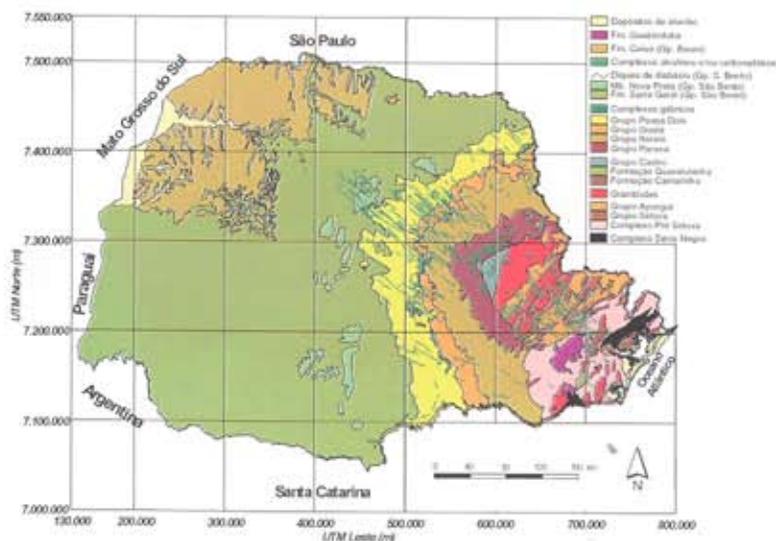
## 4 - MAPAS AUXILIARES



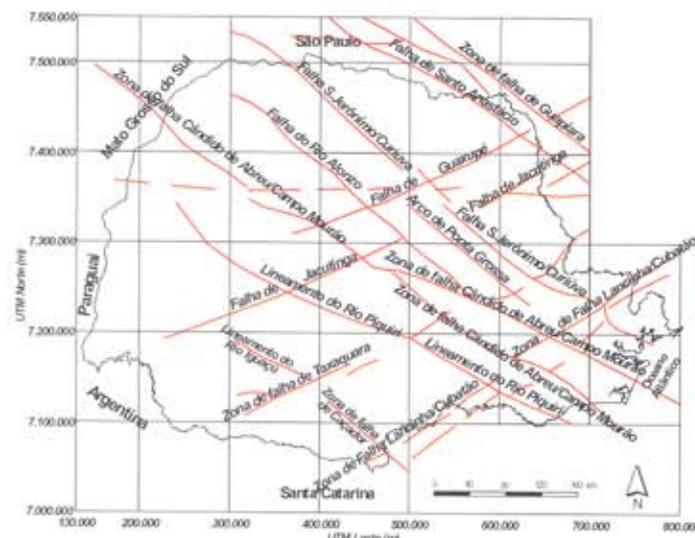
Malhas de coordenadas geográficas e UTM e os limites políticos do Estado do Paraná (Licht, 2001).



Províncias geológico-geomorfológicas do Estado do Paraná. (Maack, 1968, in Licht, 2001).

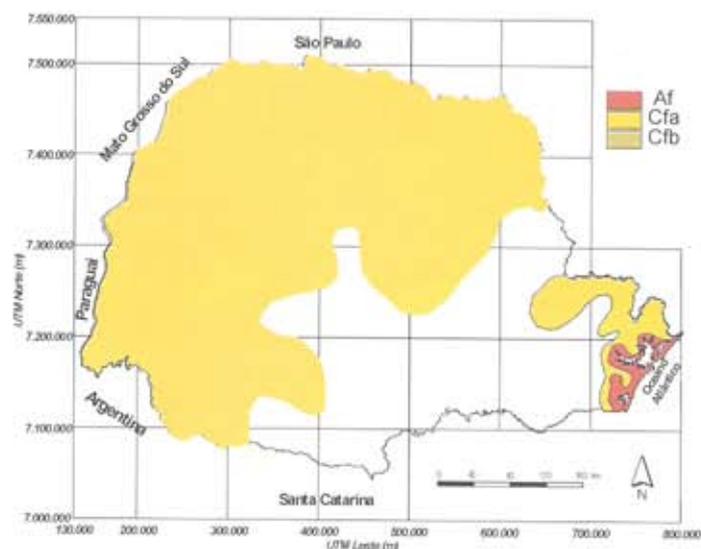


Mapa geológico simplificado do Estado do Paraná. (modif. Mineropar, 1986, in Licht, 2001).

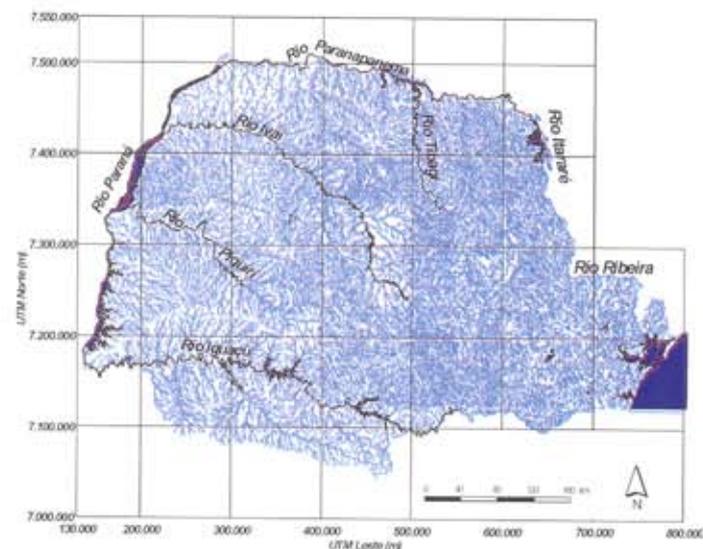


Arcaçoço estrutural do Estado do Paraná (Zalán *et al.*, 1984, in Licht, 2001).

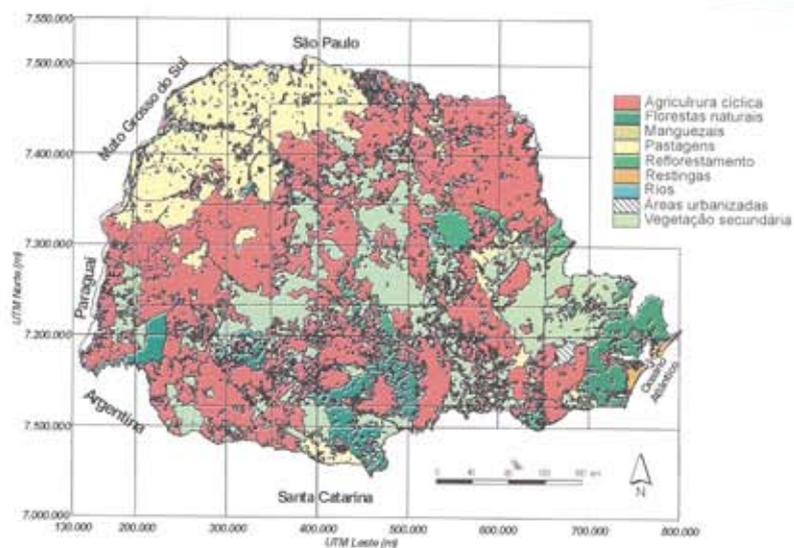
# Atlas Geoquímico do Estado do Paraná



Principais zonas climáticas do Estado do Paraná (ITCF, 1987, in Licht, 2001; Corrêa et al, 1994, in Licht, 2001).



Rede hidrográfica do Estado do Paraná (Licht, 2001).



Uso e ocupação do solo do Estado do Paraná (modif. SEMA, 1995, in Licht, 2001).



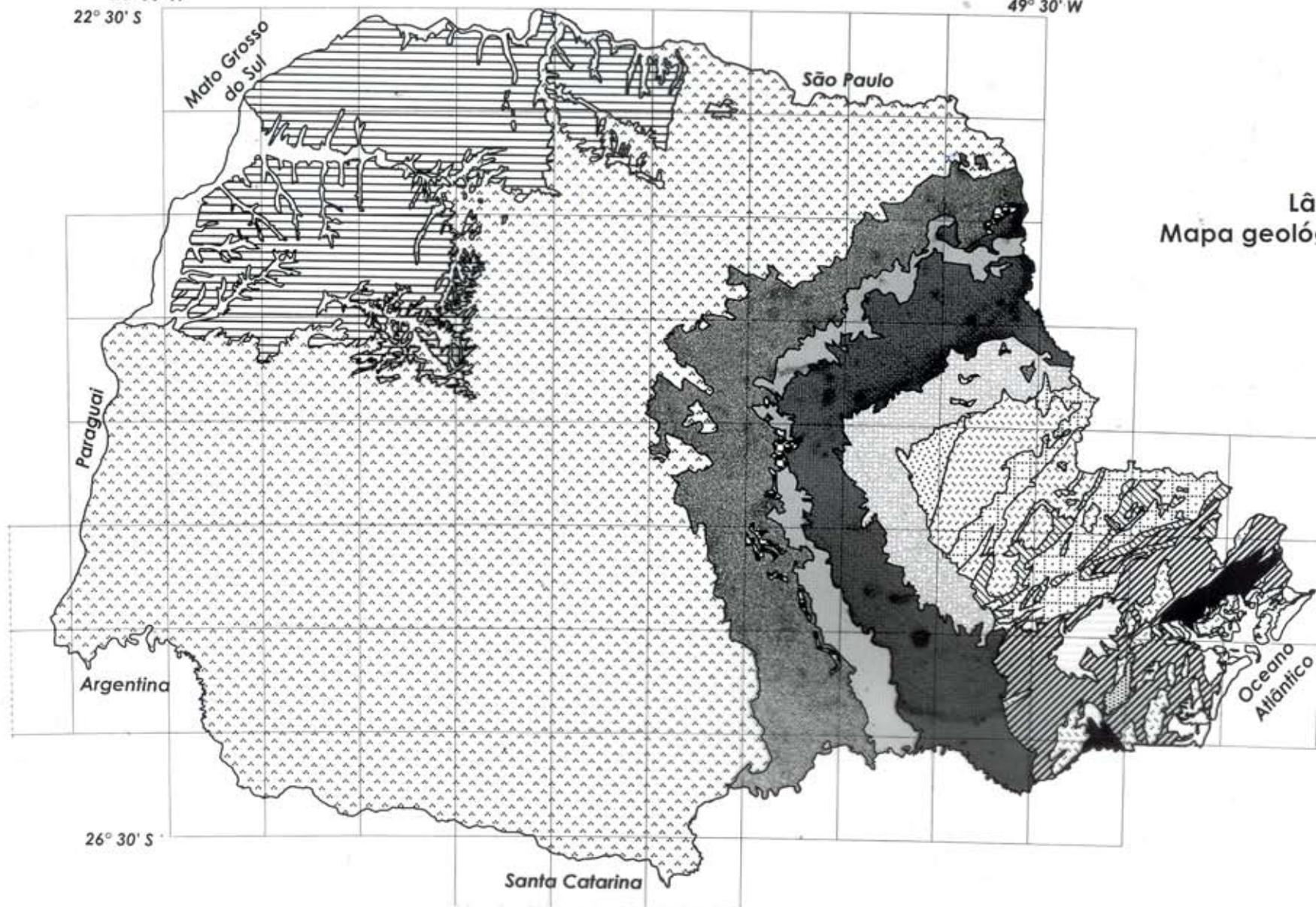
Divisão política municipal do Estado do Paraná vigente em 1996 e alguns centros urbanos selecionados (Licht, 2001).

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATSDR. *Hazardous Substances Release. Health effect database. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry - Public Health Statement.* Disponível na Internet. <http://atsdr1.atsdr.cdc.gov:8080/hazdat.html>. 1995.
2. BIONDI, J. C.; CAVA, L. T.; SOARES, P. C. *Mapa geológico do Estado do Paraná.* Curitiba : MINEROPAR : DNPM. 1989. 1 mapa : color.; 98 x 110 cm. Escala 1:650.000.
3. BOLIVAR, S. et al. *Atlas geoquímico de los cuadrangulos de San Jose y Gofito, Costa Rica.* San Jose : Los Alamos Nat. Lab. Min. Industria, Energia y Minas e Escuela Centroamericana de Geología. 8 p., anexos, 28 mapas. 1987.
4. BOLVIKEN, B. et al. *Geochemical atlas of Northern Fennoscandia.* In: *Geol. Survey of Sweden.* Helsinque. 1986. 19 p, anexos, 155 mapas.
5. BRITISH GEOLOGICAL SURVEY BGS. *Regional geochemistry of the East Grampians area.* Londres, 1991. 95 p.
6. COPPENS, R. *Statistiques élémentaires appliquées aux sciences de la terre.* Nancy : Institut Polytechnique de Lorraine. École Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière. 1977. 219 p.
7. DARNLEY, A. G. *International geochemical mapping: a new global project.* *Jour. Geochem. Explor.* v.39, n.3, p. 1-13. 1990.
8. DARNLEY, A. G.; BJÖRKLUND, A.; BOLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P. V.; PLANT, J. A.; STEINFELT, A.; TAUCHID, M.; XIE XUEJING. *A Global Geochemical Database For Environmental and Resource Management.* Final report of IGCP Project 259. Paris : UNESCO. 1995. 122 p.
9. DAVIS, J. C. *Statistics and data analysis in geology.* New York : John Willey & Sons. Inc. 1973.
10. INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS. *Atlas do Estado do Paraná.* Curitiba : ITCF : UFPR. 1987. 73 p.
11. KOLJONEN, T.; GUSTAVSSON, N.; NORAS, P. & TANSKANEN, H. *Geochemical Atlas of Finland: preliminary aspects.* *Jour. Geochem. Explor.* v. 32, p. 231-242. 1989.
12. KOLJONEN, T., MALISA, E. *Distribution of nutrients and toxic elements in the Fennoscandian Shield.* *Geol. Survey of Finland.* Helsinque. p. 253-256. 1991. Spec. Paper 9.
13. KOLJONEN, T.; MALISA, E. *Solubility in aqua regia of selected chemical elements occurring in the fine fraction of till.* *Geol. Survey of Finland.* Helsinque. p. 49-52. 1991. Spec. Paper 9.
14. KOLJONEN, T. (Ed); ELO, S.; GUSTAVSSON, N.; HUHMA, L. K.; KAURANNE, K.; KOLJONEN, T.; NORAS, P.; PESONEN, L. J. ; RUOTOISTENMÄKI, T.; SALTIKOFF, B.; SILLANPÄÄ, M.; TANSKANEN, H.; VAASJOKI, M.; VUORELA, P. *The geochemical atlas of Finland.* Helsinque: Geol. Survey of Finland. 1992. 218 p.
15. LICHT, O. A. B. *Prospecção geoquímica - Principios, técnicas e métodos.* Rio de Janeiro : CPRM. 1998. 216 p.
16. LICHT, O.A.B. *A geoquímica multielementar na gestão ambiental. Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco à saúde no Estado do Paraná, Brasil.* Curitiba : UFPR. 2001. 2v. Tese (Doutoramento em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
17. LICHT, O. A. B.; MORITA, M. C.; TARVAINEN, T. *A utilização de dados de prospecção geoquímica de flúor no primeiro planalto paranaense, na identificação de áreas de interesse para a saúde pública – uma abordagem preliminar.* *Geochim. Brasiliensis.* n10, p 57-69. 1996.
18. LICHT, O. A. B.; PIEKARZ, G. F.; SILVA, J. C. C. da; LOPES JR., I. *Levantamento geoquímico multielementar de baixa densidade no Estado do Paraná (Hidrogeoquímica – resultados preliminares).* *A terra em revista.* v. 3, n 3, p 34-46.
19. LICHT, O. A. B.; TARVAINEN, T. *Multipurpose geochemical maps produced by integration of geochemical exploration data sets in The Paraná Shield, Brazil.* *Jour. Geochem. Explor.* n 56, p. 167-182. 1996.
20. PARKER, R. L. *Composition of the Earth's Crust.* in FLEISCHER, M. *Data of Geochemistry. Chapter D.* Geol. Survey Prof. Paper 440-D. Washington : United States Geological Survey. 1967. 19 p.
21. RAJAGOPAL, R.; TOBIN, G. *Fluoride in drinking water: a survey of expert opinions.* *Environ. Geochem. and Health.* London. v. 13. n.1, p. 3-13. 1991.
22. ROQUIN, C.; ZEEGERS, H. *Improving anomaly selection by statistical estimation of background variations in regional geochemical prospecting.* *Jour. Geochem. Explor.* v. 29, p. 295-316. 1987.
23. SINCLAIR, A. J. *Statistical interpretation of soil geochemical data.* In: FLETCHER, W.K., HOFFMAN, S.J. MEHRTENS, M.B. et al. *Exploration geochemistry : design and interpretation of soil surveys.* Chelsea : Society of Economic Geologists. p. 97-115 1986. (Reviews in Economic Geology, 3).
24. VARSÁNYI, I.; FODRÉ, Z.; BARTHA, A. *Arsenic in drinking water and mortality in the Southern Great Plain, Hungary.* *Environ. Geochem. and Health.* London. v. 13, n.1, p.14-22. 1991.
25. WEAVER, T. A.; BROXTON, D. F.; BOLIVAR, S. L. & FREEMAN, S. H. *The Geochemical Atlas of Alaska.* Los Alamos : Geochemical Group, Earth and Space Sci. Div. Los Alamos Nat. Lab. Los Alamos. 1983. 57 p.
26. WINTER, M. *WebElements.* Disponível na Internet. <http://www.shef.ac.uk/~chem/web-elements>. Univ. Sheffield. 1998.

54° 00' W  
22° 30' S

49° 30' W



Lâmina 3  
Mapa geológico simplificado

- Depósitos aluvionares
- Fm. Guabirota
- Grupo Caiuá
- Intrusões alcalinas
- Grupo São Bento
- Gabros alcalinos
- Grupo Passa Dois
- Grupo Guatá
- Grupo Itararé
- Grupo Paraná
- Grupo Castro
- Fm. Guaratubinha
- Fm. Camarinha
- Granitóides
- Grupo Acungui
- Grupo Setuva
- Complexo migmatítico
- Grupo Serra Negra

(modif. Biondi et al., 1989)

A malha de coordenadas geográficas  
obedece o corte das cartas 1:100.000