

## GEOQUÍMICA E MEIO AMBIENTE

*Josiel de Alencar Guedes*

Prof. Ms., Curso de Geografia, CAMEAM – UERN,  
[josielguedes@uern.br](mailto:josielguedes@uern.br)

### Resumo:

O artigo faz uma análise teórica, inicialmente sobre a Ciência, enquanto um conjunto de conhecimentos formulados ao longo dos anos por diferentes gerações de pesquisadores de diversas áreas. Em seguida fez-se um levantamento sobre a Geoquímica, enquanto ciência interdisciplinar. Nesse estudo a geoquímica é apresentada como uma ciência que estuda a distribuição, migração e reações químicas de elementos nos sistemas ambientais naturais. Percebe-se que sua aplicação é importante nos estudos das concentrações de elementos químicos encontrados em rochas e sedimentos, que influenciam na saúde humana e no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Geoquímica. Meio ambiente. Sedimentos.

## GEOCHEMISTRY AND ENVIRONMENT

### Abstract:

At first, the article makes a theoretical analysis on science as a body of knowledge formulated over the years by different generations of researchers from diverse fields. Then we present the results of a survey on Geochemistry, while an interdisciplinary science. In this study the geochemistry is presented as a science which studies the distribution, migration and chemical reactions of elements in natural environmental systems. We have observed that its application is important in studies of concentrations of chemical elements in rocks and sediments that influence human health and the environment.

**Keywords:** Geochemistry. Environment. Sediment.

## 1 Introdução

A ciência moderna vive hoje entre dilemas que tem colocado em dúvida a sua real utilidade enquanto conhecimento sistematizado, e enquanto aplicabilidade no cotidiano da sociedade. Por um lado tem buscado superar as dificuldades que ela mesma criou e implantou, ao se fragmentar em diversas e diferentes áreas do saber científico. Por isso os epistemólogos das ciências as dividem em ramos científicos destacando-as como Ciências Sociais, Naturais, Exatas e Cognitivas. Essa subdivisão levou a fragmentação, mas propiciou um grande avanço em várias áreas levando a uma excessiva especialização, o que tem contribuído para que se tenha uma visão verticalizada do conhecimento.

Essa verticalização excessiva pode ter contribuído para que o conhecimento científico tenha, segundo alguns autores, entrado em crise, pois com ela perdeu-se a essência do conhecimento sistemático do todo, ou seja, não se consegue mais ter a visão das partes que o compõe. Para Mendonça (2001, p.80) o conhecimento científico “[...] é fortemente marcado por uma quase frenética busca de especializações, ou aprofundamento da verticalidade dos ramos específicos das diferentes ciências, por si só distintas umas das outras”.

Para que haja uma junção das partes que formam o uno, tem-se advogado que é necessário uma visão holística da realidade, sendo o holismo compreendido como a visão completa do sistema, onde as várias partes são compreendidas como um corpo único e indissociável.

O conhecimento holístico vem apresenta-se como um novo caminho para a integralização da ciência, de forma que deixe de existir “ciências” fragmentadas, passando a uma nova percepção como apenas um conhecimento integral a serviço da sociedade. Essa nova relação proporciona a junção de várias disciplinas de forma interdisciplinar abarcando todo o conhecimento científico.

## 2 Geoquímica e meio ambiente

### 2.1 A geoquímica enquanto Ciência

As ciências ambientais estão ramificadas, mantendo-se ligadas por afinidades de conhecimentos. Elas podem estar mais ou menos agrupadas dependendo da classificação dos epistemólogos da ciência. Lakatos & Marconi (1991, p.81), ao fazerem uma classificação sistemática, afirmam que “[...] a complexidade do universo e a diversidade de fenômenos que nele se manifestam, aliadas à necessidade do homem de estudá-los para poder entendê-los e explicá-los, levaram ao surgimento de diversos ramos e ciências específicas”.

Essa busca de classificação da ciência muitas vezes tem suscitado divergências, por não existir consenso entre os cientistas, pois grande parte dela possui interfaces que convergem para um caráter interdisciplinar.

As ciências naturais constituem-se, segundo Lakatos & Marconi (1991, p.81), em ramos da chamada ciências factuais, “[...] porque lida com fatos” (*op cit*, p.80), estando agrupadas como a Física, Química, Biologia e a Geologia.

A geoquímica constitui-se em ramo da Ciência Geológica, “[...] sendo uma disciplina que dividiu a realidade em compartimentos que vão desde o cosmo até os solos, passando pelas rochas” (ROHDE, 2004, p.36). Todos esses compartimentos são agrupados no conhecido ciclo geoquímico que “[...] inclui uma fonte, um transporte e uma deposição (ou residência) de um elemento químico nos diversos compartimentos” (GOUGH *apud* ROHDE, 2004, p.36).

O ciclo geoquímico é baseado em dois ambientes geoquímicos (CARVALHO, 1995; LICHT, 1998), o profundo, que compreende as partes inferiores das camadas da crosta continental, dos oceanos, do manto e do núcleo terrestre, estando associados aos processos magmáticos e metamórficos onde vão ocorrer cristalizações de minerais, bem como a formação e transformação de vários tipos de rochas. No ambiente superficial, especificamente acima da crosta superior e oceânica, ocorrem mais processos de transformação por erosão e sedimentação, onde também se encontra processos biológicos e antrópicos, sendo estes na atualidade considerados os agentes que mais estão transformando a superfície terrestre, existindo inclusive uma classificação geológica de tempo, denominada Quinário ou Tecnógeno (ROHDE, 1996, p.119).

Essa geoquímica é considerada como tradicional, sendo muito usada em prospecção de minerais, bem como centraliza suas ações sobre questões de abundância, distribuição e valores limites ou limiares dos elementos químicos terrestres. Essas ações resultam em um paradigma naturalista na Geoquímica Clássica, onde os valores anormais de concentração de elementos químicos encontrados em rochas, solos ou sedimentos são conhecidos como anomalia geoquímica (LICHT, 1998). Essa anomalia vai ser um viés utilizado pelo novo ramo da Geoquímica conhecida como Geoquímica Ambiental, que terá como objetivo verificar o quanto essa anomalia pode ter reflexos nos processos biogeoquímicos na biota ou mesmo relacionado à vida dos seres humanos.

A abundância geoquímica natural de determinados elementos indica o enriquecimento geológico de determinado mineral ou elemento químico, que pode indicar uma localidade tipo propício a prospecções geoquímicas.

## 2.2 Geoquímica Ambiental

Pode-se considerar a geoquímica ambiental como o ramo da geoquímica que tem como objetivos estudar, analisar e entender as relações entre os elementos químicos que compõem a litosfera e o ambiente antrópico (CARVALHO, 1989). Por ambiente antrópico entende-se como aquele ambiente que reflete a influência de atividades humanas e, portanto, pode ser conhecida como segunda natureza, sem um exemplo os recursos hídricos, como um dos sistemas naturais que mais sofrem problemas ambientais.

Para a compreensão do estudo sustentável de recursos hídricos deve-se ter como princípio básico, que a sua qualidade ambiental dever estar inserida dentro de parâmetros mundialmente aceitáveis para consumo humano. Em grande parte dos países existem leis, regulamentos ou normas que procuram enquadrar a qualidade ambiental, com base em teores mínimos e máximos para os parâmetros físico, químicos, biológicos e de metais em solos e sedimentos.

Segundo Morais & Souza Filho (2000, p.1406), para uma avaliação de indicadores ambientais deve-se considerar como meios importantes aqueles como o geofísico, biótico, socioeconômico e cultural, “[...] sendo que esses três níveis distintos de existência - físico, biológico e social - se inter-relacionam e interagem”. Nesse sentido, esses indicadores têm a possibilidade de apresentar um diagnóstico atual de qualquer área que se queira estudar, tendo como pressuposto a não existência de meio ambiente natural intocado ou selvagem, ou primeira natureza, pois em toda a superfície da terra pode ser encontrada a conhecida pegada humana. Essas pegadas trazem consequências nem sempre benéficas para a humanidade, pois “[...] o homem é o agente que vai alterar o ambiente natural, e todas as ações que realizar, sejam benéficas ou adversas, irão reverter em prol de sua própria saúde e bem-estar, medidos em termos de qualidade ambiental” (MORAIS; SOUZA FILHO, 2000, p.1406).

Ao associar-se a geologia, geomorfologia, hidrogeologia, recursos minerais têm-se o escopo que pode explicar a hidrogeoquímica dos recursos hídricos, no tocante à sua qualidade ambiental. Estudos têm demonstrado que os teores de elementos químicos potencialmente poluentes ou contaminantes prejudiciais à saúde, principalmente os metais pesados, estão associados aos terrenos onde percolam as drenagens. Portanto, pode-se afirmar que são de fontes naturais. Por outro lado, quando existem paisagens alteradas socialmente, com presença de atividades econômicas, como indústrias, minas e/ou fazendas, pode-se inferir, caso se encontre excesso de elementos químicos em água, em sedimentos de fundo e/ou em suspensão, que sua presença denota interferência antrópica no ambiente (CARVALHO, 1989; ROHDE, 2004).

Para Carvalho (1989) a geoquímica ambiental tem como campo de análise o espaço antroposférico, ou seja, o espaço onde é mais perceptível a influência humana nos recursos naturais e, conseqüentemente, interferindo nos espaços sócio-econômicos. Como fator preponderante inclui ainda a associação dos elementos químicos com a saúde humana, pois a relação entre a dose e valor essencial dos *chemicals*, para o bem estar do corpo, consiste em uma linha tênue de teores que não podem faltar nem ser absorvidos em excesso.

Casos de malformação congênita ou de raquitismo em crianças podem estar associados à presença ou ausência de elementos químicos como ferro, alumínio, manganês, etc., sendo necessário, portanto, conhecer os ambientes geológicos, com estudos em geoquímica ambiental, associados à prospecção geoquímica (DISSANAYAKE; CHANDRAJITH, 1999).

A geoquímica ambiental urbana configura-se, quando se relaciona a quantidade excessiva de elementos químicos encontrados nos solos ou recursos hídricos em áreas urbanizadas e com forte influência antrópica, partindo-se do princípio que as atividades humanas é que alteram os teores naturalmente encontrados nos diversos compartimentos terrestres.

A partir da década de 1970 várias pesquisas vêm sendo realizadas indicando que, principalmente em áreas urbanizadas ou com forte influência antrópica, os teores de elementos químicos encontrados refletem o enriquecimento de metais pesados nos sedimentos de ruas (*Street sediments*), associadas às atividades humanas (MOURA *et al*, 2006; PEREIRA *et al*, 2007; JOHNSON & ANDER, 2008).

A geoquímica das paisagens pode ser descrita como a parte da geoquímica que procura associar os elementos químicos, que constituem a crosta terrestre, e a sua distribuição nos diversos compartimentos litólicos. Alguns sedimentos geoquímicos são restritos a localidades na paisagem e refletem os processos intempéricos que sobre eles atuaram, como por exemplos paleossedimentos de lagos antigos que indicam registros antigos de sedimentação (MIRLEAN, *etal*, 2006).

A paisagem natural pode ser interpretada como reflexo de processos geológicos que modificaram as rochas pré-existentes. Essas modificações estão associadas aos intemperismos físicos e químicos que denudam o relevo e criam novas paisagens.

### 2.3 Os sedimentos

Sedimentos são partículas oriundas de processos intempéricos em rochas, solos ou de restos de biota em decomposição sendo encontrados nas fases sólidas e aquosas quando formam complexos, e nas interfaces sedimento/água. Por intemperismo entende-se como um processo complexo de desagregação física, decomposição química e biológica de rochas e minerais que transformam minerais de estruturas complexas em estruturas simples (FORMOSO, 2006). O resultado dessa transformação pode ser lida nas rochas e sedimentos como componentes da paisagem.

Os sedimentos têm a característica de registrar o aporte de elementos químicos intemperizados, que chegam aos compartimentos água. Esses registros são uma especificidade do fator geológico ou de solos, pois indica o quanto de elementos químicos podem ficar geodisponíveis, tanto para a biota quanto para o sistema físico-natural.

Os sedimentos fluviais têm a característica de serem resultantes de processos intempéricos em rochas que compartimentam o vale dos rios, por isso seus teores representam bem a geologia de montante.

Para a compreensão dos teores geoquímicos de elementos, trabalha-se com os conceitos de background, entendido como “o teor médio de um elemento em materiais geológicos não mineralizados; o conceito de Clark”, relacionado ao “teor de um elemento na crosta terrestre; o conceito de Anomalia geoquímica”, entendida como “desvio dos padrões geoquímicos considerados normais”; e com o conceito de “Limiar (*Thresholds*)”, como um “valor acima do qual o teor de uma dada amostra é considerado como anômalo” (LICHT, 1998, p.55).

O uso de sedimentos como indicador da qualidade ambiental de mananciais tem sido usado em vários países, mas de forma ainda incipiente, porém as pesquisas demonstram a importância de se conhecer bem esse compartimento quando se tratar de estudo ambientais, pois seus resultados podem contribuir em políticas públicas relacionados, principalmente à recursos hídricos.

Matschullat *et al* (2000) pondera que há dificuldade de se trabalhar com background que sirva como referência mundial, regional ou mesmo local. É fato que essa dificuldade tem permitido a busca de novos parâmetros de avaliação de sedimentos tendo como fundamento

modelos matemáticos-estatísticos que permitem realizar medições de taxas de concentrações geoquímicas nas rochas e solos (RODRIGUES e NALINI, 2009).

### 3 Avaliações geoquímicas

Em se tratando de meio ambiente ou ambiente geoquímico, realizar uma avaliação é difícil e muitas vezes tarefa ingrata e indigesta, quando se tem o objetivo de apresentar dados que comprovem os problemas de poluição, pois há naturalmente, a predisposição de se recorrer a parâmetros que possam servir de balizas. Nesse sentido órgãos ambientais de vários países têm elaborado parâmetros limítrofes para teores em água, solos e sedimentos. A Agência de Proteção Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency – EPA, 2011) é uma dos mais conhecidos e atuantes órgãos reguladores, quando se fala em diretrizes relacionadas ao meio ambiente. Suas resoluções são muito consultadas e utilizadas por várias nações, notadamente àquelas que não possuem diretrizes próprias.

Em relação a teores aceitáveis nos compartimentos sedimentos e solos, a literatura mostra algumas divergências entre pesquisadores, pois nem sempre há consenso sobre os limites máximos aceitáveis, o que pode gerar um desconforto quando se faz comparativo, por exemplo, de dados oriundos de ambientes litológicos diferentes, pois às vezes teores de determinados elementos químicos encontrados numa região, podem ser considerados como normais para determinados ambientes. Em outras localidades esses mesmos teores podem ser considerados altos, isso tem permitido o estudo que levem em consideração os *backgrounds* locais (MATSCHULLAT; OTTENSTEIN e REIMANN, 2000; RODRIGUES e NALINI JÚNIOR, 2009).

Para dirimir esses problemas foram criados índices (Figura 01) que são utilizados como parâmetros de análises, destacando-se aqueles relacionados a teores de elementos químicos em sedimentos. Índices como o Fator de Enriquecimento (FE), Fator de Contaminação (FC) e Índice de Geoacumulação, estão entre os mais utilizados (APRILE; BOUVY, 2008; MORTATTI *et al*, 2010).

<p>Índice de Geoacumulação (IGEO): <math>I_{geo} = \log_2(C_n/1.5B_n)</math> Onde: <math>C_n</math>: teor de concentração do elemento <math>B_n</math>: teor do elemento no folhelho</p> <p>Fator de Enriquecimento (FE): <math>FE = (C_x/C_{Ref})_{Amostra}/(C_x/C_{Ref})_{Folhelho}</math> Onde: <math>C_x</math>: teor de concentração do elemento <math>C_{Ref}</math>: teor do elemento normalizador</p> <p>Fator de Contaminação (FC): <math>FC = C_F/C_{Background}</math> Onde: <math>C_F</math>: teor de concentração do elemento <math>C_{Background}</math>: teor do elemento no folhelho</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 01: Índices utilizados em análises ambientais  
Fonte: Adaptado de Aprile (2008) e Mortatti *et al* (2010)

Os níveis de contaminação de elementos químicos em sedimentos são avaliados de acordo com índices geoquímicos, tendo como base a concentração desses elementos no folhelho (rocha sedimentar) e a teores encontrados em sedimentos superficiais (ZHIGANG & PU, 2007), ou então comparados aos valores orientadores permitidos na legislação vigente. No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011) legisla sobre normas

que tratam sobre os níveis permitidos nos compartimentos água (Resolução 357/2005), sedimentos (Resolução 344/2004) e solos (Resolução 420/2009).

#### 4 Conclusões

A ciência enquanto conhecimento acumulado possui pontos de convergência e, principalmente de divergências entre as Ciências Sociais e Naturais. Entender as relações intra/inter ciências constitui-se numa tarefa ingrata para os estudiosos, porém o diálogo no sentido de dirimir as querelas deve ser um passo inicial para reunir as partes e montar o todo, sem que se perca a noção da importância da disciplina.

É notório que, ao longo da evolução das “ciências”, as sub-divisões foram criadas por super-especializações, resultando no conhecimento aprofundado de determinadas áreas, sendo necessária e importante, porém implicou a separação de conhecimentos convergentes que não mais se aproximaram. A interdisciplinaridade surge, portanto, com o objetivo de reaproximar as ciências fazendo com que haja entendimentos entre elas procurando dirimir suas diferenças.

Nesse sentido a geoquímica pode ser considerada como ramo do conhecimento científico que transita entre as ciências naturais como a Geologia e a Química, estabelecendo contato com as ciências da saúde, onde hoje sua aplicabilidade é mais conhecida. Nessa junção disciplinar, seus objetivos convergem para um ponto comum, procurando, em diálogos interdisciplinares, novos caminhos para um mundo mais sustentável.

#### 5 Referências

APRILE, F. M.; BOUVY, M. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Aquatic Science Technology**, v.12, p.1-8, 2008.

CARVALHO, C. N. Geoquímica ambiental: conceitos, métodos e aplicações. **Geochimica Brasiliensis**. Rio de Janeiro, v.3, n.1, p.17-22, 1989.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Salvador: Bureau Gráfica e Editora, 1995. 239 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções**. Disponível no site: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>>, acesso em 15/04/2011.

DISSANAYAKE, C. B.; CHANDRAJITH, R. Medical geochemistry of tropical environments. **Applied Geochemistry**, v.47, p.219-258, 1999.

EPA - Environmental Protection Agency. **Laws & Regulations**. Disponível em: <<http://water.epa.gov/lawsregs/>>, acesso em 26/08/2011.

FORMOSO, M. L. L. Some topics on geochemistry weathering: a review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.78, n.4, p.809-820, 2006.

JOHNSON, C.; ANDER, E. L. Urban geochemical mapping studies: how and why we do them. **Environmental Geochemistry and Health**, v.30, p.511-530, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos**. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

MATSCHULLAT, J; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background - can we calculate it?. **Environmental Geology**, v.39, n.9, p.990-1000, 2000.

MENDONÇA, F. Abordagem interdisciplinar da problemática ambiental urbano-metropolitana. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Florianópolis, n.3, p.79-95, jan./jun. 2001.

MIRLEAN, N.; TELLES, R. M.; DUARTE, G. M. O que é geoquímica de paisagem? **Geosul**, v.21, n.41, p. 2006.

MORAES, L. A. F.; SOUZA FILHO, E. E. Indicadores ambientais e desenvolvimento sustentado. **Acta Scientiarum**, v.22, n.5, p.1405-1412, 2000.

MORTATTI, J.; HISSLER, C.; PROBST, J.-L. Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê. **Geologia USP, Série Científica**. São Paulo, v.10, n.2, p.3-11, jul. 2010.

MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C.; MOITA, G. C.; MOITA NETO, J. M. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, v.29, n.3, p.429-435, 2006.

PEREIRA, E.; BAPTISTA-NETO, J. A.; SMITH, B. J.; McALLISTER, J. J. The contribution of heavy metal pollution derived from highway runoff to Guanabara Bay sediments – Rio de Janeiro/Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.79, n.4, p.739-750, 2007.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JÚNIOR, H. A. Valores de *background* geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **REM: Revista da Escola de Minas**. Ouro Preto, v.62, n.2, p.155-165, abr./jun. 2009

ROHDE, G. M. A geoquímica ambiental. In: **Geoquímica ambiental e estudos de Impacto**. 2 ed. São Paulo: Signus, 2004. Pp. 36-45.

ZHIGANG, Y.; PU, G. Heavy metal research in lacustrine sediment: a review. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v.25, n.3, p.444-454, 2007.