



## Condicionantes geológicas e hidrogeológicas na escolha de local para um repositório de rejeitos radioativos

J.M. Correia Neves, K. Fuzikawa, F.J. Rios, J.V. Alves, A.O. Chaves, W. Brito & S.P. Prates

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) - Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), Laboratório de Inclusões Fluidas e Metalogênese, Caixa Postal 941, CEP:30161-970 Belo Horizonte, MG-Brasil. nevesj@cdtn.br

**Abstract** The main purpose of this teamwork considerations here presented has twofold intents: (1) call the attention to the radiation effects in nuclear waste forms in the future, and (2) discuss some geological and hydrogeological constraints in the selection of a suitable region for the Brazilian radioactive waste disposal.

**Palavras-chave:** Rejeito nuclear; parâmetros geológicos e geoquímicos; potencial redox; localização de repositórios.

### ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DE REPOSITÓRIOS DE MATERIAL RADIOATIVO

A necessidade de armazenar rejeitos nucleares representa uma questão do nosso tempo com forte repercussão na sociedade (Long 2002). Além dos aspectos puramente técnicos desse problema, é imperativo educar as pessoas para que os assuntos, ligados ao uso crescente dos actínídeos, venham a ser compreendidos corretamente pelo homem (NEA 2000, Paiano Sobrinho 2001, Ishiguro 2002).

Ao tratar desse assunto, normalmente, as pessoas se assustam, pois se lembram da bomba atômica e do acidente de Chernobyl de conseqüências tão chocantes. Isto acontece, em boa medida, pelo fato de se tratar de uma área científica muito complexa e que é de conhecimento restrito, não devidamente considerada nos programas de ensino. Há que se definir as condições de implantação de repositórios que assegurem adequada proteção, pessoal e ambiental, reduzindo-se ao mínimo a liberação e transporte pela água subterrânea de radionuclídeos que, por períodos de milhares de anos, resultarão da fissão e decaimento do material radiativo usado.

A importância desse problema pode medir-se pelas numerosas publicações existentes sobre esse assunto, que é repetidamente objeto de simpósios, tal como aconteceu, durante o XXXI IGC realizado no Rio de Janeiro, em meados de Agosto de 2000, no qual os *Special Symposium B-3 e General Symposium 23-5* foram especialmente dedicados a essa questão.

O tema é muitíssimo complexo. Consideremos como exemplo as oscilações que modificaram o lençol freático devidas à ocorrência, à escala planetária, da glaciação no Quaternário, ou podem resultar da atual intensificação do efeito estufa, como fatores de variação climática. Podemos bem imaginar como elas, em tão curto espaço de tempo geológico, poderão trazer efeitos que, embora muito difíceis de prever, devem ser necessariamente tomados em consideração.

Nos Estados Unidos da América (USA), a localização de um repositório, nas formações vulcânicas de Yucca Mountain (YM), foi autorizada pelo Presidente George W. Bush em 14.02.2002 (YM site, 03. 2002). Esse repositório junta-se ao já usado nos USA como piloto (WIPP - Waste Isolation Pilot Plant), localizado a oriente de Carlsbad, no Novo México, em depósitos salinos Permianos do fim do Paleozóico, com idade de cerca de 225 Ma. (<http://www.wipp.carlsbad.nm.us>, 03. 2002).

O National Research Council (NRC) dos USA, já em 1995 considerava que é necessário ter uma boa garantia de estabilidade geológica, para o local do repositório, por um período de várias centenas de milhares de anos, durante o qual os riscos, para a saúde e o meio ambiente, são maiores. No caso de YM, estimou-se que esse período é de cerca de um milhão de anos (NRC Report 1995).

No Brasil, o problema do armazenamento dos rejeitos radioativos não atinge a magnitude de outras regiões da Terra, tais como: Europa, Rússia, USA e Ásia, quer os originados pelas usinas geradoras de energia, quer em virtude da utilização militar da energia nuclear (Wronkiewicz & Buck 1999).

Uma visão muito clara, das conseqüências que o manuseio dos rejeitos nucleares pode ter sobre o meio ambiente, obtém-se em Long (2002), que nos familiariza com a complexa problemática que os USA terão que resolver para minimizar os reflexos ambientais dos seus rejeitos nucleares.

Por essa razão, em muitos desses países, o problema da localização dos repositórios está sendo considerado há mais tempo (NEA 2000).

Porém, ainda que a situação no Brasil seja relativamente muito menos complicada quando comparada à desses últimos países, isso não pode servir de justificativa para adiar uma definição que leve à escolha, em nosso país, de local ou locais para implantar repositórios destinados a armazenar



corretamente rejeitos de material radioativo, particularmente os **Rejeitos de Alto Nível de Radioatividade (RANR)** e que resultam da geração de energia em nossas usinas nucleares já em funcionamento.

O presente texto, que complementa outro da mesma equipe (Rios *et al.* 2003), foi elaborado para: (1) **indicar** alguns parâmetros a serem avaliados na definição de áreas geologicamente indicadas para a construção de repositório adequado para armazenar rejeitos radioativos e (2) **provocar** uma discussão sobre essa matéria, que urge encarar com coragem, realismo e bom embasamento científico e tecnológico.

No Brasil devemos nos preocupar com o material radioativo resultante da geração de energia elétrica nas usinas nucleares já existentes e nas que, terão que ser construídas a médio prazo (NEA 2000), como exigem os programas de crescimento econômico e social do Brasil (Ishiguro 2002).

O material radioativo residual que se origina nas usinas nucleares, contém entre 95 e 99% de  $\text{UO}_2$  segundo Johnson & Shoesmith (1988). Veremos abaixo, porém, que o elemento U não é o responsável imediato pelos efeitos nocivos, quer para o Homem, quer para o meio ambiente, da radiação emitida pelos rejeitos radioativos.

Weber & Roberts (1983) avaliaram a dose cumulativa da radiação emitida por resíduos radioativos originados numa usina nuclear, por período de uso, superior a 10 anos. As doses iniciais da radiação emitida por esses resíduos são devidas essencialmente à presença no rejeito dos isótopos  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  que são radioativos. O  $^{137}\text{Cs}$ , com meia vida de 30,17 anos, emitem radiações  $\gamma$  e  $\beta$  durante o seu decaimento para  $^{137}\text{Ba}$  que é um isótopo **estável**. O  $^{90}\text{Sr}$ , com meia vida de 29,0 anos, emite radiação  $\gamma$  durante seu decaimento para  $^{90}\text{Y}$ , também isótopo **instável** que, depois, por emissão  $\gamma$  e  $\beta$ , decai para o  $^{90}\text{Zr}$  **estável**. Em geral o decaimento  $\beta$  e  $\gamma$  é a fonte primária da radiação residual dos rejeitos durante os primeiros **500 anos** de armazenamento, já que elas resultam primariamente do decaimento dos produtos de fissão com meias vidas mais curtas (Ewing 1999; Weber *et al.* 1988). Porém, com o passar do tempo, o número relativo de isótopos com decaimento  $\alpha$ , resultantes dos actínídeos presentes nos rejeitos radioativos das usinas nucleares, crescerá em importância após os primeiros 500 anos de armazenamento (Weber & Roberts 1983; Weber *et al.* 1998), e o decaimento  $\alpha$  passará a ser dominante relativamente aos outros tipos de decaimento.

Nos estudos petrográficos de rochas granitíoides, observam-se com frequência minerais metamíticos que são um bom exemplo dos efeitos cumulativos do

decaimento  $\alpha$  sobre as estruturas cristalinas dos minerais, que acabam por ficar completamente desorganizadas e amorfas.

Ainda que o Plutônio seja o elemento transurânico dominante nos rejeitos do combustível nuclear, atingindo o valor de até cerca de 1% dos mesmos (Johnson & Shoesmith 1988), o decaimento do Amerício dominará até cerca de **300.000** anos, seguido pelo do Neptúnio e finalmente pelo do Urânio (Weber *et al.* 1982).

Um dos fatores, que necessariamente pesou, de forma destacada, para a escolha da localização de repositórios nos Estados Unidos, quer em Yucca Mountain (Nevada), quer em Carlsbad (Novo México), foi o fato de essas áreas conterem formações geológicas, estratigraficamente protegidas e não afetadas por circulação de água subterrânea.

Critérios de escolha, para localizar repositórios de material radioativo usado, podem também ser encontrados no relatório NEA 2000.

Na região de Yucca Mountain (Nevada), o lençol freático, encontra-se entre 500 a 800 metros abaixo da superfície (Report DOE/RW – 0540).

Na área de Carlsbad, desde 1955, recomendada para repositório de material radioativo, foram escolhidos depósitos salinos da Formação Salado, do Permiano, depositados há 225 Ma, (<http://www.wipp.carlsbad.nm.us>, 2002). A persistência desses depósitos, por tão longo intervalo de tempo geológico, nas colunas lito-estratigráficas de muitos lugares do mundo (por exemplo, Gorleben, Europa), mostra duas propriedades muito importantes que devem ser levadas em consideração ao localizar um repositório: (1) estabilidade geológica da área e com pequena incidência de sismos e (2) proteção estratigráfica responsável pela “ausência” de circulação de água subterrânea, que disseminaria os radionuclídeos (<http://www.wipp.carlsbad.nm.us>).

As rochas de Yucca Mountain são tufos vulcânicos ácidos, depositados no fim do Cenozóico, há cerca de 13 Ma, como consequência da subducção da placa oceânica basáltica do Pacífico na zona de acreção continental da América do Norte que se originou durante o Mesozóico e o Cenozóico (Condie 1997).

Os tufos vulcânicos ácidos de Yucca Mountain representam uma das últimas manifestações dessa acreção. A intenção é colocar o repositório na unidade rochosa, do Topopah Spring Tuff, que exhibe características favoráveis para essa finalidade (Report DOE/RW – 0540, 2001), tais como: (1) profundidade suficiente, ainda que bem acima do lençol freático, para prevenir uma exposição fácil às condições ambientais e para desencorajar qualquer intrusão humana e (2) a rocha hospedeira é estável para



permitir a abertura de galerias, naturalmente sustentadas, para o repositório.

Um condicionante adicional, para colocar o repositório na Yucca Mountain, resultou ainda de três fatores: (1) os terrenos na região pertencem ao Governo Federal; (2) a cidade de Las Vegas, centro populacional e de lazer muito importante, situa-se a cerca de 160 km a NW do local indicado para repositório e (3) a precipitação anual na área de localização do repositório é atualmente muito baixa.

O repositório de Carlsbad, localizado a cerca de 60 km a NE das célebres cavernas de Carlsbad e também a cerca de 60 km a SW do lago Brantley, está a cerca de 655 metros da superfície, no interior da Formação Salado, com espessura de 914 metros e cujo topo está a 259 metros da superfície do terreno, protegido da infiltração de água das chuvas pelas camadas impermeáveis sobrejacentes.

O comportamento do U na parte superior da crosta terrestre depende das condições de potencial redox. Em ambientes redutores forma-se a uraninita  $[UO_2]^0$ , como aconteceu nos granitos da região de Lagoa Real (Centro Sul da Bahia). Já em ambientes oxidantes forma-se a **Uranila**  $[UO_2]^{2+}$  facilmente não só complexável, mas também transportada nas águas oxidantes da zona vadosa e migrar para muitos quilômetros, a partir da área fonte (Finch & Murakami, 1999), a não ser que existam barreiras geoquímicas que imobilizem mineralogicamente a **Uranila**  $[UO_2]^{2+}$ . Porém, a taxa de dissolução do urânio na  $H_2O$ , depende das condições redox do ambiente e da presença da  $H_2O$  (Krauskopf & Bird 1995, Ewing *et al.* 1995). Perfis de intemperismo, ricos em óxidos e hidróxidos de ferro, na presença de  $H_2O$ , em meios ácido e alcalino, funcionam como oxidantes do  $U^{4+}$  originando a **Uranila**  $[UO_2]^{2+}$  (Krauskopf & Bird 1995), com a conseqüente redução do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ .

**Parâmetros condicionantes para a localização de um repositório em território brasileiro** Vamos considerar, baseados em (Schoebbenhaus *et al.* 1981 e 1984), algumas regiões do Brasil que, pelos seus atributos geológicos e, sobretudo hidrogeológicos (Rebouças 1997, 1999), são desfavoráveis para a implantação de repositórios, por um espaço de tempo de alguns milhares de anos, suficientemente longo, para prevenir o fluxo de águas subterrâneas, com a conseqüente dispersão da uranila  $[UO_2]^{2+}$ , podendo-se assim contaminar extensas áreas.

Levando em consideração o regime de chuvas e as extensas áreas de afloramento, permanente ou temporário, do lençol freático e as características da produção hidrogeológica no território brasileiro (Rebouças 1997, 1999; Tucci *et al.* 2001), podemos

considerar como **desfavoráveis**, para a localização de repositórios, as áreas seguintes: (1) a orla costeira do Brasil, de forte índice pluviométrico, onde o lençol freático se encontra muito próximo da superfície; (2) a área, de cerca um milhão de  $km^2$  da Bacia do Paraná, onde se localiza o aquífero Guarani, que constitui um manancial muito importante de  $H_2O$  cujo consumo será cada vez mais solicitado pelas necessidades urbanas e industriais dos países do Mercosul; (3) a área do Pantanal do Mato Grosso, onde a  $H_2O$  circula em abundância por numerosos e caudalosos rios e aflora em muitas lagoas (perenes ou temporárias) e lagos e que se estende até à Bolívia; (4) as proximidades dos grandes cursos de água que, além de serem cada vez mais solicitados como fontes de água para consumo urbano e irrigação, se poderiam transformar em vetores da disseminação da uranila; (5) a Bacia Amazônica onde a  $H_2O$ , associada aos elevados índices pluviométricos, também circula em abundância por numerosos e caudalosos rios que, nos períodos de cheia, invadem as áreas marginais; (6) nas extensas áreas do Grupo São Francisco, em que a morfologia cárstica subterrânea, topograficamente mal conhecida, poderia tornar-se vetor de disseminação da **Uranila**; (7) as áreas de sedimentação relativamente recente na História Geológica do Brasil, como as do Recôncavo Baiano, Maranhão e Amazonas etc.

Considerando tudo o que foi escrito anteriormente, os locais, mais propícios para instalar um repositório de resíduos de material radioativo, deverão, sobretudo por razões hidrogeológicas, ficar situados nas áreas quer de baixa densidade populacional, quer de fraca pluviosidade e de baixa produção hidrogeológica. Essas últimas áreas, no território brasileiro, são denominadas por Rebouças (1997, 1999) como regiões de rochas cristalinas com fraco intemperismo e que se encontram, sobretudo no NE brasileiro, ocupando área de cerca de **600.000  $km^2$**  (Fig. 1).

São particularmente favoráveis as regiões, do domínio anterior, com produção hidrogeológica média inferior a  $1(m^3/h)/m$  (Rebouças 1997, 1999; Tucci *et al.* 2001), situadas no Cráton do São Francisco (CSF).

Chame-se a atenção para a localização da Chapada do Araripe, (área oval **azul** na Fig. 1) e para a penetração N-S da Bacia do Recôncavo Baiano no domínio anterior, onde se verifica um aumento da produção hidrogeológica.

Os numerosos problemas que estão envolvidos numa questão de tal magnitude, como é a de ter que fundamentar criteriosamente uma decisão a tomar **pelas instâncias superiores**, obrigam: quer a liberação de recursos financeiros que possibilitem a obtenção de resultados confiáveis, quer a definição de



um Grupo de Trabalho pluridisciplinar e multi-institucional,

Considerando só a área geológica, o **CDTN, em estreita cooperação com os geólogos das Indústrias Nucleares do Brasil (INB)**, pode assumir a **corresponsabilidade** de: (1) estudos mineralógicos, geoquímicos e de inclusões fluidas; (2) definição de atributos geoestruturais que orientam o fluxo dos fluidos aprisionados nas inclusões dos minerais e também o da água de circulação profunda; (3) definição da forma dos corpos rochosos, utilizando métodos geofísicos [gravimetria fina, estudos da anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM), estudos de paleomagnetismo]; (4) cartografia de atributos geológicos dos diques básicos que podem servir como barragens para o represamento da água subterrânea (Matos 2003); **etc.**

A existência de Cursos de Pós Graduação, nos diversos Institutos de P&D da CNEN, por meio da elaboração de trabalhos de grau, poderá fornecer muitas e valiosas contribuições para definir as condições de implantação de um repositório, em território nacional.

**Sem pretender impor uma área específica para início da pesquisa**, mas tomando em consideração argumentos abaixo indicados pensamos que um bom alvo para começar a desenvolver e ampliar nossa qualificação, no domínio da P&D em epígrafe, poderia situar-se na área de afloramento de granitos anorogênicos localizados na parte sul do domínio marcado na **Fig. 1 com a cor laranja**. Essas rochas, com ampla área de afloramento no Brasil (Lobato 1985, Maruéjol 1989, Dall'Agnol *et al.* 1994, Fernandes 2001), podem constituir uma boa opção para **iniciar os estudos** visando a localização de um repositório de material radioativo. Para isto **necessita-se o acordo e apoio quer da CNEN, quer das INB.**

**i.** Vários pesquisadores, ainda em atividade nas INB, no CDTN e noutros Institutos da CNEN, têm da geologia e da mineralização uranífera da região, muito bom conhecimento (Fuzikawa *et al.* 1982). Esse saber pode ser aproveitado para integrar o de uma equipe pluridisciplinar, destinada a pesquisar as condições geológicas e hidrogeológicas que permitam definir parâmetros para a localização, no Brasil, de um repositório para rejeitos de material radioativo.

**ii.** Áreas de competência já existentes nos diversos Institutos da CNEN deverão integrar o grupo de trabalho, anteriormente referido, para resolver os múltiplos problemas que a instalação de um repositório levanta. De entre os problemas a abordar, sem a intenção de fazê-lo exaustivamente, destacamos os seguintes: (1) estudos geológicos pormenorizados, tendo em especial atenção a cartografia de mega- e micro-atributos estruturais que possam condicionar o

acesso e circulação da água; (2) estudo das permeabilidade e porosidade das rochas que também condicionam o fluxo e retenção de fluidos; (3) caracterização petrográfica, mineralógica e de inclusões fluidas dos granitóides da parte meridional do domínio evidenciado na **Fig. 1**; (4) definição correta do posicionamento do lençol freático e de fluxos de água por meio de traçadores radioativos; (5) estudo de tipo geofísico, particularmente por gravimetria fina, que forneça indicações sobre a forma dos corpos de granitóides; (6) estudos de paleomagnetismo e da anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM) que ajudam a descobrir feições estruturais em granitóides não evidenciadas pelos métodos clássicos da geologia estrutural; (7) estudos sísmicos e magnetotélúricos; (8) avaliação do impacto ambiental de um repositório; (9) estudos de corrosão dos materiais usados no armazenamento prévio e definitivo de rejeitos; (10) estudos das melhores condições de acondicionamento temporário do material radioativo usado; (11) estudos das melhores condições de segurança no transporte dos rejeitos radioativos; (12) campanhas educativas da população sobre a utilização da energia nuclear; (13) estudo da evolução do regime de chuvas na região; (14) estudos regionais de história e de arqueologia; (15) catalogação das espécies animais e vegetais da região em ordem à sua preservação; (16) registro das condições de escolaridade e de cobertura sanitária da região; (17) monitoramento da qualidade do ar da região; (18) definição e estudo de problemas de astrofísica (por exemplo estudo de neutrinos) e outros (ação dos campos magnéticos de fraca intensidade na saúde das pessoas, etc.) que necessitem de um filtro dado pela crosta terrestre e poderão ser feitos no interior do repositório, permitindo desse modo aos físicos e astrofísicos do Brasil e mesmo do exterior continuar o belo e prestigiado trabalho, ainda que mal reconhecido internacionalmente, da brilhante plêiade de físicos brasileiros da época de Lattes (2000); (19) estudos agrônômicos e veterinários da região; (etc.).

**iii.** A densidade populacional do domínio marcado pela cor laranja Fig. 1 é baixa. Além disso, por tratar-se de uma região semi-árida, de baixo índice pluviométrico e fraca produção hidrogeológica (Rebouças 1997, 1999, Tucci *et al.* 2001), a população concentra-se em aglomerados urbanos em regra muito pequenos.

**iv.** A existência na área de uma infra-estrutura, devidamente montada pelas INB, poderia dar todo o suporte logístico aos trabalhos de campo da pesquisa

**v.** Há todo um acervo de dados (petrográficos e geoquímicos) e de amostras, coletados nas numerosas sondagens efetuadas na área e pertencentes às INB, o que facilitaria não só a programação de trabalhos



complementares em áreas adjacentes, mas também poderiam ser aproveitados para a elaboração do relatório final das atividades da equipe.

vi. As formações geológicas, da parte sul do domínio a que se refere à Fig. 1, e que enquadram o minério de urânio de Lagoa Real, correspondem a granitos de tendência alcalina, formados, em condições de distensão crustal, há cerca de 1700 Ma. Esses granitos são bem conhecidos por geólogos do CDTN e da UFMG.

vii. O lençol freático na região deve estar muito profundo. Alguns furos, de entre os que pertencem aos **mais de 120 km de sondagens** feitas na área, localizam o lençol a cerca de 800 m da superfície. A obtenção de água no local, para as necessidades do tratamento do minério da lavra Cachoeira, parece estar ligada ao efeito de represamento da água subterrânea exercido pelos diques básicos da região (Matos 2003).

viii. A área de Lagoa Real já foi geologicamente cartografada na escala 1:25.000.

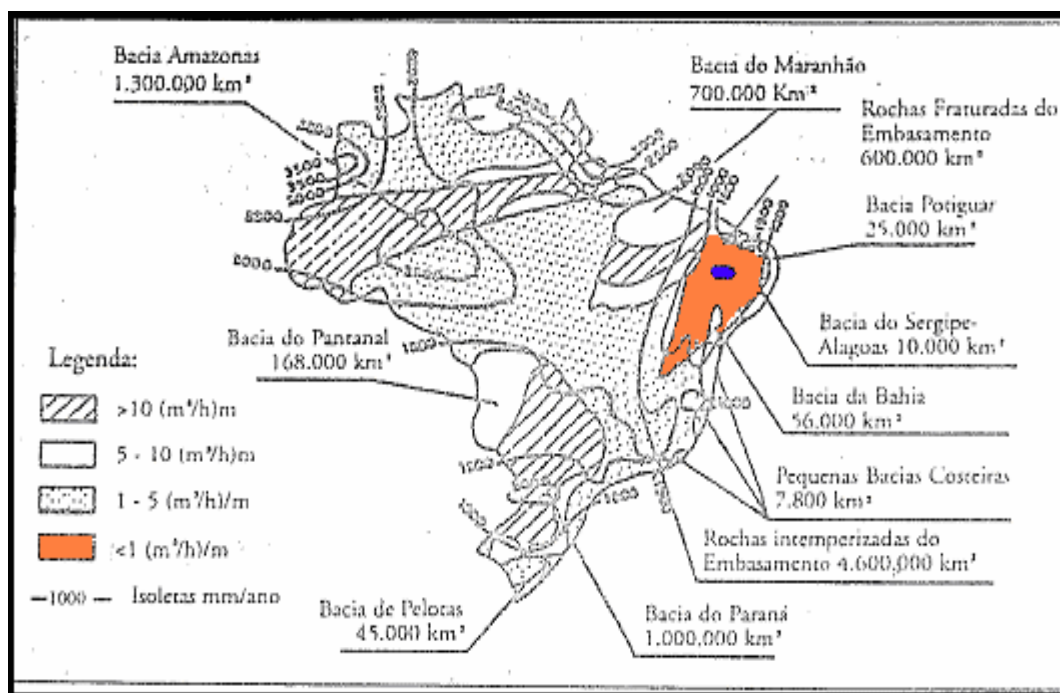


Figura 1. Produção hidrogeológica do território brasileiro (Apud Rebouças 1997, 1999, modificado).

## Referências

- CARLSBAD N.M. WIPP Web Site Março 2002. *Final Environmental Assessment for Conducting Astrophysics and Other Basic Experiments at the WIPP Site*. Texto Com 7 capítulos e um apêndice, totalizando 106 p
- CONDIE K.C. 1997. *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. 4 Ed. Oxford. Butterworth. 282 p
- DALL' AGNOL R., LAFON J.M., MACAMBIRA M.J.B. 1994. Proterozoic Anorogenic Magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: Geochronological, Petrological and Geochemical Aspects. *Mineralogy and Petrology* **50**:113-138.
- EWING R.C., WEBER W.J., CLINARD F.W. Jr 1995. Radiation effects in nuclear waste forms for high-level radioactive waste. *Progress in Nuclear Energy* **29**:63-127.
- FERNANDES M.L.S. 2001 *O Granito Borrachudos entre Guanhões e Dolores de Guanhões, MG - (Plutonito Morro do Urubu): Gênese e Evolução* Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 187 pp (inédita).
- FINCH, R. & MURAKAMI, T. 1999. Systematics and Paragenesis of Uranium Minerals. In Burns, P. C. & Finch, R. (Eds). *Reviews in Mineralogy*, **38**:91-180. Washington, DC
- FUJIKAWA K., RAPOSO C., PRATES S.P., MATOS E.C., ALVES J.V. 1982. Jazidas Uraníferas de Lagoa Real, Caitité - BA. In SBG, Congr. Bras. Geol., XXXII, Salvador, *Anais*, 2:239-260.
- ISHIGURO Y. 2002. *A Energia Nuclear para o Brasil*. 1 Ed. São Paulo, Makron Books, 252 p
- JOHNSON L. H. & SHOESMITH D. W. 1988. Spent Fuel. In LUTZE W. & EWING R.C. (Eds) *Radioactive Waste Forms for the Future*. Chapter **11**: 635-698. Amsterdam. Elsevier.
- KRAUSKOPF K.B., BIRD D.K. 1995. *Introduction to Geochemistry* 3 Ed. New York McGraw-Hill, Inc. 647 p



- LATTES C.M.G. 2001. *Descobrendo a Estrutura do Universo*, entrevista concedida a Jesus de Paula Assis. São Paulo: Editora UNESP, 109 p
- LOBATO L.M. 1985. *Metamorphism, Metasomatism and Mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil*. PhD Thesis, University of Western Ontario
- LONG M.E. 2002. Meia Vida a herança letal do lixo nuclear americano. *National Geographic, Brasil*: 30-59.
- MARUEJOL P. 1989. Metasomatose Alcaline et Mineralisations Uranifères: Les albitites du Gisement de Lagoa Real (Brésil). *Memoires Geologie et Geochimie des Matières Premières et Energetiques*, **18**:1-428.
- MATOS E.C. 2003. A captação de água na área da Lavra da Cachoeira condicionada pela intrusão de diques básicos na região. Relatório inédito das INB.
- PAIANO SOBRINHO S. 2001. Por que a Ciência e Tecnologia são Estratégicas? A C&T como fator estratégico para as atividades Nucleares. *Parcerias Estratégicas*, **10**:13-17.
- NEA 2000. *Geologic Disposal of Radioactive Waste in Perspective*. OECD/NEA, Paris, France, 62 p
- NRC *Technical Bases for Yucca Mountain Standards* 1995. Committee on Technical Bases for Yucca Mountain Standards, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, 222 p
- REBOUÇAS A.C. 1997. As Águas Subterrâneas do Brasil. In SCHOBENNHAUS C., QUEIROZ E.T., COELHO C.E.S. (Coords.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Cap. 2 do v. IV-B: 9-27. Brasília DNPM/CPRM.
- REBOUÇAS A.C. 1999. Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS A.C., BRAGA B., TUNDISI J.G. (Eds.) *Águas Doces do Brasil*. Cap. 4: 117-151. Escrituras, São Paulo
- REPORT DOE/RW-0540 2001. *Yucca Mountain Preliminary Site Suitability Evaluation. Executive Summary*: xvii-xxxv.
- RIOS F.J., ALVES J.V., CORREIA NEVES J.M., FUZIKAWA K. 2003. Repositórios para Rejeitos Radioativos de Alto Nível (RARN) no Brasil: A Importância de Estudos Geoquímicos (microtermométricos) e de Migração de Fluidos em Rochas Potencialmente Hospedeiras. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento* **5**(1):19-25.
- SCHOBENNHAUS C., CAMPOS D.A., DERZE G.R., ASMUS H.E. (Coords.). 1981. *Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais*. Escala 1/2.500.000. 4 folhas. Brasília, DNPM.
- SCHOBENNHAUS C., CAMPOS D.A., DERZE G.R., ASMUS H.E. (Coords.). 1984. *Geologia do Brasil, texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais*. Brasília, DNPM. 510 p
- TUCCI C.E.M., HESPANHOL I., NETTO O.M.C. 2001. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília, UNESCO 2001. 192 p
- WEBER W.J., TURCOTTE R.P., ROBERTS F.P. 1982. Radiation Damage from alpha decay in ceramic nuclear waste forms. *Radioactive Waste Management* **2**:295-319.
- WEBER W.J. & ROBERTS F.P. 1983. A review of radiation effects in solid nuclear waste forms. *Nuclear Technology* **60**:178-198.
- WEBER W.J., EWING CATLOW C.R.A., DIAZ DE LA RUBIA T., HOBBS L.W., KINOSHITA C., MATZKA H.J., MOTTA A.T., NASTASI M., SALJE E.K.H., VANCE E.R., ZINKLE S.J. 1998. Radiation effects in crystalline Ceramics for the immobilization of high-level nuclear waste and plutonium. *Journal of Material Research* **13**:1434-1484.
- WRONKIEWICZ D.J. & BUCK E.C. 1999. Uranium Mineralogy and the Geologic Disposal of Spent Nuclear Fuel. In Burns, P. C. & Finch, R. (Eds). *Reviews in Mineralogy*, **38**:475-497. Washington, DC
- XXXI IGC 2000. Special Symposium B-3 *Site Selection and Management of Nuclear Power Plant Areas and Nuclear Waste*. XXXI IGC 2000. General Symposium 23-5 Radioactive Waste Disposal in Geological Formations.