

ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS EM MINERAIS ASSOCIADOS À MINERALIZAÇÃO URANÍFERA DE TRÊS JAZIDAS DA PROVÍNCIA URANÍFERA DE LAGOA REAL, BAHIA – BRASIL

Lucilia Aparecida Ramos de Oliveira¹, Aurélio da Silva de Souza², Francisco Javier Rios³,
Alexandre de Oliveira Chaves⁴; Lucas Eustaquio Dias Amorim³, Bruce Yardley⁵, David Banks⁵,
Evando Carele de Matos⁶; Mônica Elizetti de Freitas³, Sônia Pinto Prates³

1 - SETEM – CDTN/CNEN, Caixa postal 941, Belo Horizonte, MG, Brasil – Instituto de Geociências (IGC - UFMG), Av. Presidente Antonio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil; luciliar@gmail.com

2 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil; souzaas@gmail.com

3 - SETEM – CDTN/CNEN, Caixa postal 941, Belo Horizonte, MG, Brasil; javier@cdtn.br, ledamorim@cdtn.br, monicaef@gmail.com, prates@cdtn.br

4 - Instituto de Geociências, IGC, UFMG, Av. Presidente Antonio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil; alochaves@yahoo.com.br

5 - School of Earth Sciences and Environment, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK; B.W.D.Yardley@leeds.ac.uk; d.banks@see.leeds.ac.uk

6 - INB - Industrias Nucleares do Brasil, Caetité, BA, Brasil; carele@inb.gov.br

Recebido em 15 de outubro de 2012; aceito em 25 de fevereiro de 2013

Resumo. Inclusões fluidas presentes nos principais minerais associados a corpos albitíticos mineralizados foram estudadas em três importantes depósitos da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia, Brasil: Cachoeira; Engenho; e Rabicha. Fluidos associados a um primeiro estágio evolutivo, provavelmente magmático, foram encontrados em piroxênios de raras porções preservadas da jazida Cachoeira. Essas soluções são formadas por um fluido aquoso de salinidade intermediária (sem CO₂), de temperatura eutética (T_e) muito baixa e contém Na, Rb e Ba. O segundo estágio, metamórfico, é o predominante nos albititos, e apresenta dois diferentes fluidos. Um deles é encontrado em cristais de piroxênio e granada (associados à uraninita), representado por uma fase aquosa de salinidade intermediária, sem CO₂ e contendo Na, Mg, U, Rb, Ba, Sr, Pb, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Li, Mn, As e Sb. Outro, associado ao plagioclásio, menos salino, e contendo Na, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Ba e Pb. Um estágio de remobilização e precipitação de urânio deve estar associado a esta última fase. Foi verificada a diluição dos fluidos em piroxênios e granadas, no sentido N→S da Província. Considerando as diferentes propostas existentes para explicar a origem da mineralização uranífera, os dados apresentados contribuem para um melhor entendimento da metalogênese da Província Uranífera de Lagoa Real, utilizando como ferramenta de pesquisa a evolução composicional dos fluidos encontrados em albititos uraníferos, e nas rochas gnáissicas hospedeiras associadas. Estes dados indicam que a evolução geológica de Lagoa Real foi muito complexa, e não pode ser restrita a um único modelo.

Palavras chaves: Inclusões Fluidas, Metalogênese do Urânio, Lagoa Real.

Abstract. FLUID INCLUSIONS STUDIES IN MINERALS RELATED TO THREE URANIUM DEPOSITS FROM THE LAGOA REAL URANIUM PROVINCE, BAHIA - BRAZIL - Fluid inclusions trapped in minerals associated with uranium mineralized albitites have been studied in three important deposits from the Lagoa Real Uranium Province, Bahia, Brazil: Cachoeira; Engenho; and Rabicha. Fluids associated with a first stage, probably magmatic, have been found in rare preserved portions of pyroxenes from the Cachoeira Deposit. These solutions are comprised of an aqueous fluid, with an intermediate salinity, without CO₂, very low eutectic temperature (T_e) and containing Na, Rb and Ba. The second stage, metamorphic, is predominant in albitites and is represented by two different fluids. One is found in the pyroxene and garnet associated with uraninite and consists of an aqueous phase with an intermediate salinity, without CO₂, and containing Na, Mg, U, Rb, Ba, Sr, Pb, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Li, Mn, As and Sb. The second one is associated with plagioclase and is a less saline fluid containing Na, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn, Sr, Ba and Pb. A uranium remobilization and precipitation stage would be associated with this last phase. The dilution of fluids in pyroxenes and garnets was observed from N towards S of the Province. Considering the different proposals for the origin of the uranium mineralization, the data presented contribute to improve the knowledge of the Lagoa Real Uranium Province metallogensis, using the compositional evolution of fluids found in uranium rich albitites and their gneissic host rocks. These data indicate that the geological development of Lagoa Real was extremely complex, and cannot be restricted to a single model.

Keywords. Fluid Inclusions, Uranium Metallogensis, Lagoa Real.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui, de acordo com estimativas das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), a sétima maior reserva de U₃O₈ do mundo, com aproximadamente 309.000 toneladas (INB, 2012). Nossas principais reservas medidas estão localizadas em Santa Quitéria (CE), Lagoa Real/Caetité (BA) e Poços de Caldas (MG). De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2009) a produção brasileira é de 230 t/ano, podendo chegar a 400 t/ano. Esta quantidade é suficiente para o suprimento de necessidades futuras das usinas de Angra I, II e III e,

possivelmente, para a disponibilização de excedente para o mercado mundial. A produção de U₃O₈ no mundo manteve-se constante até 2007, mas espera-se um incremento de até 25% nos próximos anos devido ao reaquecimento do setor de geração de energia elétrica por fonte nuclear, mesmo após a tragédia de Fukushima.

A Província Uranífera de Lagoa Real, localizada na porção centro-sul do Cráton São Francisco e do estado da Bahia (Figura 1), se destaca principalmente por possuir cerca de 30% das reservas brasileiras de urânio, o que corresponde a

aproximadamente 100.770 toneladas, sendo a jazida Cachoeira (AN13) a única atualmente em fase de exploração. Foi descoberta pela NUCLEBRAS (Empresas Nucleares Brasileiras) durante uma série de levantamentos aéreos, entre 1976 e 1977 (Costa *et al.* 1985). Atualmente, são conhecidas 36 anomalias e depósitos de urânio que ocorrem ao longo de uma estrutura helicoidal, com uma extensão de aproximadamente 33 km que compreende um conjunto de granitos, gnaisses e albitos.

Geograficamente, a Província Uranífera de Lagoa Real está inserida nos municípios de Caetité e Lagoa Real, se estende por uma área de 1200 km² (Matos *et al.* 2003), e está delimitada pelas coordenadas geográficas 42°07'30" – 42°22'30"W e 13°45'00" – 14°07'30"S (Figura 1).

O acesso à área, partindo-se de Salvador, segue as rodovias asfaltadas BR116 e BR030 que interligam essa cidade à Vitória da Conquista-Brumado-Caetité. O percurso total é de aproximadamente 740 km. Depois de Caetité, percorre-se 28 km até a cidade de Maniaçu pela BR122 asfaltada seguindo-se, posteriormente, em uma estrada com boa qualidade, embora não pavimentada, por 12 km até a Unidade de Concentração de Urânio (URA).

Os estudos geológicos desenvolvidos nas últimas décadas na Província Uranífera de Lagoa Real foram realizados principalmente nos albitos, mineralizados e não mineralizados, gnaisses e, de forma mais restrita, nos granitos. Em termos de fluidos, os corpos mineralizados da Província Uranífera de Lagoa Real têm sido estudados desde a década de 80 (Alves & Fuzikawa 1984, Chaves *et al.* 2010, Fuzikawa 1982, Fuzikawa & Alves 1984, Maruejol 1989).

Ainda existem, entretanto, dúvidas sobre a metalogênese da mineralização uranífera de Lagoa Real, uma vez que os diferentes modelos genéticos propostos são controversos (Chaves *et al.* 2007, 2010, Cruz 2004, Fyfe 1979, Geisel Sobrinho 1981, Lobato 1985, Lobato & Fyfe 1990, Maruejol 1989, entre outros). Nos últimos anos, o Laboratório de Inclusões Fluidas e Metalogênese (LIFM) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) retomou os estudos metalogenéticos em Lagoa Real com uma ampla abordagem geoquímica e mineralógica, utilizando novas metodologias analíticas e visando estabelecer tendências metalogenéticas, gerar novos dados e apresentar novas conclusões que pudessem contribuir para uma melhor compreensão dessa Província Uranífera.

Neste trabalho são apresentados dados sobre os fluidos mineralizadores com base em estudos microtermométricos nas jazidas Cachoeira (AN13), Engenho (AN09) e Rabicha (AN03).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A mineralização uranífera está hospedada em rochas granito-gnáissicas do Proterozóico Médio denominadas Complexo Ígneo-Metamórfico Lagoa Real (Costa *et al.* 1985). As rochas deste Complexo cortam rochas migmatíticas arqueanas, têm como encaixantes os ortognaisses do Complexo Paramirim e os terrenos *Greenstones Belts* Ibitira-Ubiraçaba e Umburanas de idade arqueana, e fazem contato com as rochas da infraestrutura através das zonas de cisalhamento Licínio de Almeida, a oeste, e São Timóteo, a leste (Cruz 2004). O aulacógeno Paramirim, no qual se insere a Província Uranífera de Lagoa Real, está delimitado na parte leste pela Chapada Diamantina e a oeste pela Serra do Espinhaço (Souza 2009).

A Província Uranífera de Lagoa Real está associada à evolução tectônica do Cratón São Francisco, que foi afetado por sucessivos ciclos geológicos, um primeiro conhecido como ciclo Jequié (arqueano com 2.7 Ga); um segundo Transamazônico (paleoproterozóico associado a um evento orogênico Orosiriano entre 2,05 e 1,8 Ga); e o evento Brasileiro (associado a um evento orogênico a 0,54 Ga) (Almeida 1977, Cordani & Brito Neves 1982, Chaves *et al.* 2007). De acordo com Chaves *et al.* (2011) o urânio de Lagoa Real está associado ao estágio final da Orogenia Orosiriana e uma segunda etapa de precipitação de uraninita é associada ao evento Brasileiro.

A jazida mais estudada é a Cachoeira que está localizada no setor norte da Província; enquanto a jazida Engenho localiza-se na região centro-norte, e a jazida Rabicha na porção centro-sul (Figura 1).

O Complexo Ígneo-Metamórfico Lagoa Real é constituído por granitóides, de granulação muito grossa, representados pelo Granito São Timóteo, e um conjunto de álcali-gnaisses dele derivados.

Os gnaisses variam composicionalmente entre plagioclásio-gnaisse até microclina gnaisse, passando por todos os termos intermediários em relação à proporção dos feldspatos (Maruejol 1989). Texturalmente variam de *augen* gnaisses até os finamente fitados, contendo quartzo (~5-20%) e, como minerais dominantes, biotita, anfibólio e piroxênio (Oliveira *et al.* 1985).

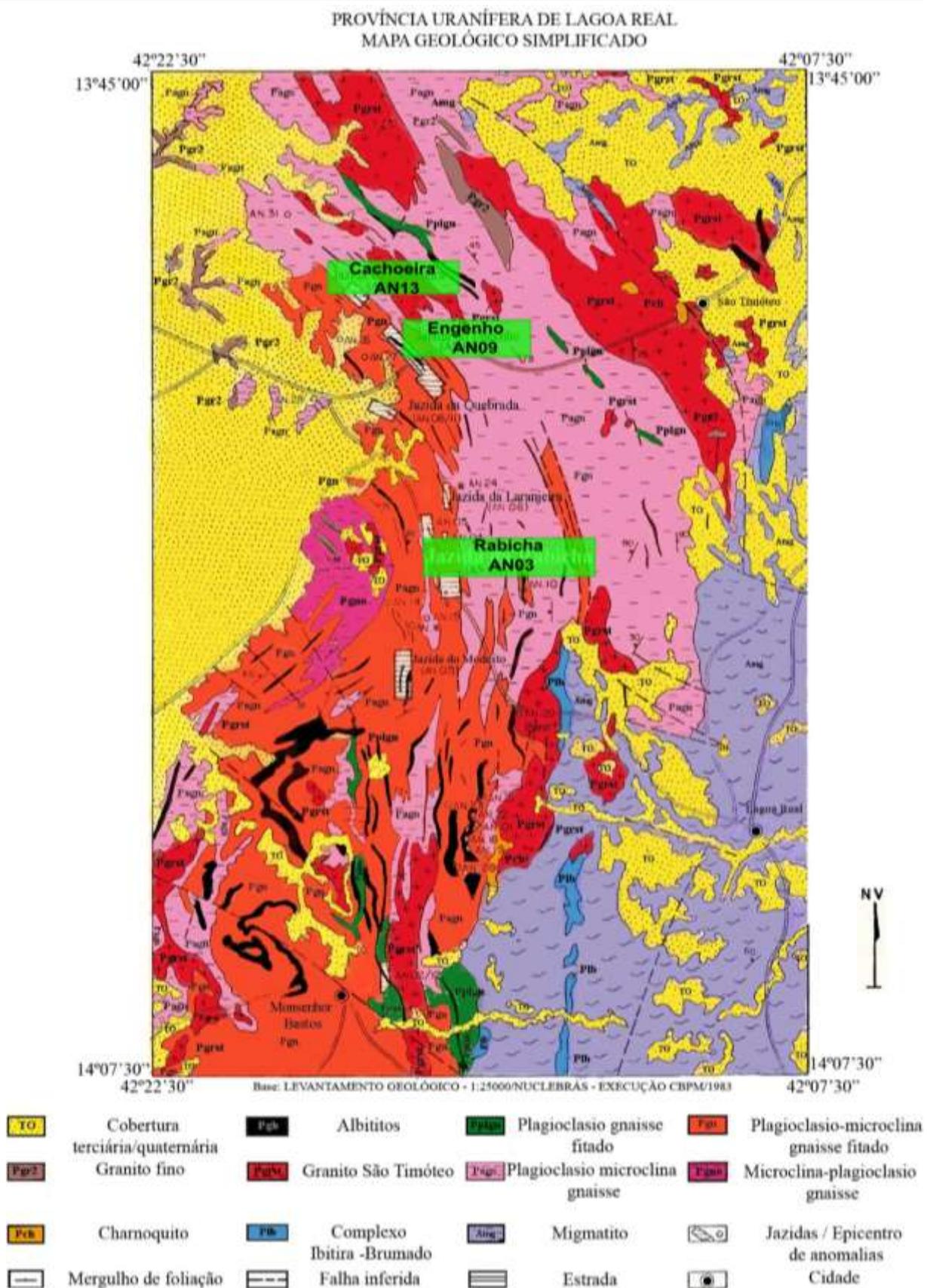


Figura 1 - Mapa geológico da Província Uranífera de Lagoa Real (Modificado de Costa et al. 1985).

Os granitoides apresentam dimensões batolíticas; são rochas isotrópicas a semi-isotrópicas, de coloração cinza a cinza-rosada e têm composição variando de quartzo-dioritos a granitos com

hornblenda e biotita. De acordo com Maruèjol (1989), os granitos São Timóteo podem ser dos tipos hornblenda granito, piroxênio granito e granito charnokito (com clino- e orto-piroxênio) que

correspondem ao campo do quartzo monzonito. Eles possuem basicidade mais elevada (plagioclásios andesíticos) no núcleo e menos elevada (plagioclásios oligoclásicos) nas bordas (Brito *et al.* 1984, Moraes *et al.* 1980, Oliveira *et al.* 1985). Podem ser classificados como rochas metaígneas ainda possuindo texturas originais preservadas, de associação mineralógica e texturas deformacionais sin-metamórficas bem desenvolvidas (Cruz 2004). Possuem textura poligonizada que se situam em um domínio metamórfico de alto grau de fácies anfíbolito-granulito. Exibem, em muitos locais, textura granoblástica poligonizada com sinais de orientação cataclástica e indícios de ação metassomática (Oliveira *et al.* 1985). De ocorrência mais restrita, destaca-se o granito foliado fino, leucodiorito e charnoquito (Costa *et al.* 1985). Os gnaisses apresentam a mesma composição que os granitos São Timóteo, em teores de elementos maiores e traços, e constituem o maior volume do Complexo Ígneo-Metamórfico Lagoa Real.

Os epidositos têm sua ocorrência restrita à região da jazida Engenho. São rochas verdes a verde-amarelo, geralmente mineralizadas em urânio. Estão constituídas por 60% ou mais de epidoto (Brito *et al.* 1984). Apresentam textura granoblástica de granulação fina a média e sua mineralogia inclui epidoto, oligoclásio, aegirina-augita, hornblenda e como acessórios, microclina, titanita, zircão e apatita (Lobato & Fyfe 1990). Os epidositos são encontrados, nos furos existentes, até profundidades máximas de 100m. Os corpos variam de poucos centímetros a um ou dois metros de espessura. A formação do epidoto estaria associada a eventos distensionais, posteriores à formação dos albitos (Cruz 2004).

A mineralização uranífera está principalmente associada aos albitos, assim denominados por Geisel Sobrinho *et al.* (1980), e são constituídos essencialmente por albíta-oligoclásio, numa

proporção volumétrica estimada superior a 60-70%, além de plagioclásio, piroxênio, granada (andradita), anfibólio e biotita (Fuzikawa *et al.* 1988, Matos *et al.* 2003) (Figura 2).

Os albitos são corpos lenticulares de rochas, alojados em zonas de cisalhamento dúcteis, e encaixados em rochas graníticas e gnáissicas. A uraninita ocorre em cristais microcristalinos e microgranulares, predominantemente associada aos minerais máficos (Prates 2008).

Os estudos já desenvolvidos permitem afirmar que nem todos os albitos são do mesmo tipo, e nem todos são mineralizados. O minério pode estar associado a remobilizações de U, que pode ter sido transportado a partir de uma rocha fonte, que poderiam ser os granitos, ou outras rochas magmáticas mais antigas.

Os anfíbolitos formam corpos tabulares localizados ao longo de zonas de cisalhamento (Chaves 2011), de espessuras extremamente variáveis entre 0,3 e 25 metros, distribuídos por todo o Complexo Ígneo-Metamórfico Lagoa Real. Sua composição básica em volume da rocha é hornblenda 45-55%, biotita 5-15% e plagioclásio 25-45%, apresentando quantidades significativas de titanita, magnetita, ilmenita, taramita (anfíbólio Na), Ce-allanita zircão, fluorapatita e calcita (Oliveira 2010, Chaves 2011). São mesocráticos e apresentam coloração verde escura a preto-esverdeada, possui textura equigranular, anisotrópica, nematoblástica, marcada pela orientação da hornblenda (Cruz 2004).

Os anfíbolitos estão orientados em três direções distintas. Os corpos com direção N45°W estão ligeiramente concordantes com a foliação geral das rochas (N40°W). Corpos intrusivos sob a forma de diques verticais têm direções N10°W e N75°W e cortam obliquamente as rochas, em geral interceptam os corpos uraníferos, depreciando a reserva em até 10% (NUCLEBRÁS 1984).

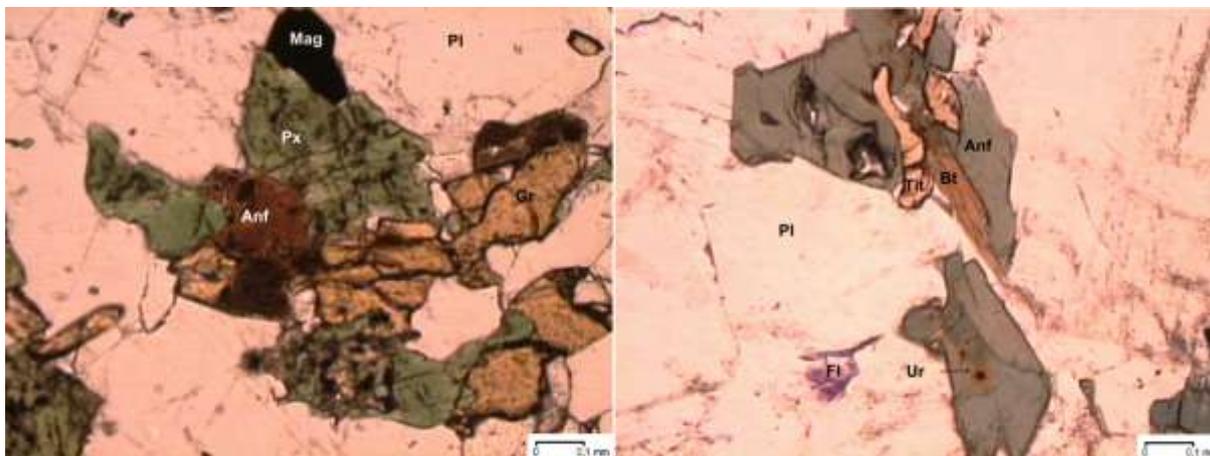


Figura 2 - Fotomicrografias mostrando textura granoblástica de albitito mineralizado composto por anfíbólio (Anf), piroxênio (Px), magnetita (Mag), plagioclásio (Pl), granada (Gr), titanita (Tit), biotita (Bt), fluorita (Fl) e uraninita (Ur). Luz transmitida, nicóis paralelos, aumento de 100x.

3. HIPÓTESES METALOGENÉTICAS PARA PROVÍNCIA URANÍFERA DE LAGOA REAL

Várias hipóteses metalogenéticas têm sido propostas para a mineralização de urânio na Província Uranífera de Lagoa Real, desde sua descoberta na década de 70 (Chaves *et al.* 2007, 2010, Cruz 2004, Fyfe 1979, Geisel Sobrinho 1981, Lobato 1985, Lobato & Fyfe 1990, Maruejol 1989, Stein *et al.* 1980). Essas propostas, baseadas nos conhecimentos geológicos disponíveis nas respectivas épocas de suas formulações, são divergentes, quando não controversas. Essas hipóteses foram resumidas na Tabela 1.

Estudos anteriores sobre a Província Uranífera de Lagoa Real (Cruz 2004, Lobato 1985, Maruejol 1989, Lobato & Fyfe 1990) verificaram que os corpos albitíticos mineralizados e as rochas gnáissicas encaixantes são derivadas da deformação das rochas

graníticas (Granitos São Timóteo). As rochas albitíticas seriam o produto final gerado pela deformação e cisalhamento das encaixantes, somado ao metassomatismo sódico. A origem da mineralização uranífera associada a fontes magmáticas foi considerada como sendo relacionada a um fluido de temperatura excedendo 300°C, que poderia originar anomalias uraníferas em diferentes tipos de rochas.

Entretanto, Chaves *et al.* (2007, 2011) mostraram que, ao menos na Jazida Cachoeira, existem porções de albititos com minerais pré-deformacionais que preservam características de uma rocha sienítica magmática, que seria o protólito dos albititos. Esse estágio pré-deformacional foi denominado de magmático e, de acordo com essa proposta, os albititos seriam sienitos deformados e não teriam associação genética com os gnaisses, ou com o Granito São Timóteo.

Tabela 1 - Breve resumo das hipóteses metalogenéticas propostas ao longo dos anos para a origem do urânio na Província Uranífera de Lagoa Real.

AUTOR(ES)	HIPÓTESE	FONTE DE URÂNIO E FLUIDOS
Fyfe (1979)	Os <i>greenstones</i> graníticos foram empurrados sobre os sedimentos do Espinhaço.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ O urânio seria tardio e a associação urânio-albitito parece ser derivada das rochas típicas de um complexo "<i>greenstone</i>" granítico. ➢ Os fluidos seriam injetados nas zonas de fraturas do embasamento, provocando o metassomatismo sódico e a formação dos corpos de albititos mineralizados.
Stein <i>et al.</i> (1980)	Comparação dos processos de albitização com os da antiga União Soviética e Suécia.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Albititos e mineralização teriam se formado através de processos ultra metamórficos que teriam gerado os fluidos alcalinos responsáveis pelo metassomatismo sódico.
Geisel Sobrinho (1981)	Processos diapíricos policíclicos.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ As fontes de fluidos, bem como de sódio, potássio e urânio teriam sido predominantemente os sedimentos do Pré-Cambriano. ➢ Os <i>Greenstones Belts</i> poderiam ser "rocha fonte" para a mineralização uranífera e rochas de origem predominantemente sedimentar constituiriam uma fonte ideal de urânio.
Fuzikawa (1980) e Fuzikawa & Alves (1984)	O transporte de urânio ocorreu em condições oxidantes e sob a forma de carbonato de uranila.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Fluido mineralizante rico em sódio. ➢ Fluidos mineralizantes foram encontrados tanto nas rochas mineralizadas quanto nas suas encaixantes.
Maruejol <i>et al.</i> (1987) e Maruejol (1989)	O cavalgamento tardi-brasiliano não teria papel genético sobre a mineralização.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Os minerais ricos em elementos incompatíveis presentes nas rochas encaixantes seriam a fonte para o urânio. ➢ O metassomatismo que deu origem aos albititos seria Mezoproterozóico e anterior ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento, à circulação dos fluidos responsáveis pela alteração das rochas e pelo transporte de urânio.
Lobato (1985) e Lobato & Fyfe (1990)	O metassomatismo sódico teria desenvolvido ao mesmo tempo em que as fases deformacionais observadas nessas rochas.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ As texturas sin-deformacionais estariam associadas a reações metamórficas de oxidação-redução e desidratação. ➢ O fluido mineralizante seria proveniente das rochas metassedimentares do Supergrupo Espinhaço.
Cruz (2004)	As relações texturais presentes em tectonitos com diferentes graus de deformação sugerem a geração dos gnaisses, albititos, microclinitos e oligoclasitos a partir dos granitóides.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ O metassomatismo sódico que predominou sobre o cálcico foi anterior às fases de deformação e provocou a albitização dos granitos São Timóteo. ➢ A transformação da microclina em albíta está relacionada com um evento metassomático precoce.
Chaves <i>et al.</i> (2007)	O urânio está associado a um magmatismo sienítico.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Reações metamórficas levaram a precipitação da uraninita sob controle redox. ➢ As principais fontes de urânio seriam essas rochas sieníticas ricas em albíta e titanitas uraníferas.

A textura predominante dos albitos é granoblástica e associada a um evento de metassomatismo sódico (Cruz 2004, Lobato 1985, Fuzikawa *et al.* 1988, Maruejol 1989, Lobato & Fyfe 1990), e dominada por plagioclásio, aegerina-augita não zonada, anfíbios e granada. Essa textura foi reinterpretada por Chaves *et al.* (2007) como sendo produto de estágio metamórfico. Os minerais deste estágio granoblástico, ou metamórfico apresentam frequentemente inclusões de uraninita, sendo comum a presença de uma forte anisotropia na foliação metamórfica gerada durante o desenvolvimento de zonas de cisalhamento.

Entretanto, nos raros relictos do estágio magmático, proposto por Chaves *et al.* (2007), foram encontradas antipertitas, albita, uma geração precoce de titanita (rica em urânio), piroxênios zonados (augitas) ricos em Fe (sem inclusões de uraninita), Ce-allanita, magnetita, flúor-apatita, zircão, fluorita e apofilita. Calcita precoce (magmática) está algumas vezes presente, e pode ser encontrada dentro de cristais de augita não deformados. Foram encontradas, ainda, raras regiões onde há mistura de texturas magmáticas e metamórficas, sugerindo a transformação dos minerais do estágio magmático durante o desenvolvimento do cisalhamento dúctil (metamorfismo) até sua completa recristalização. Nas áreas em que se observa o estágio magmático preservado, não foram observados cristais de quartzo ou texturas associadas à dissolução de sílica. No entanto, os minerais do estágio magmático não foram observados nas jazidas Rabicha e Engenho.

Considerando as diferentes propostas para a mineralização uranífera, os dados apresentados devem ampliar o conhecimento sobre a metalogênese da Província Uranífera de Lagoa Real,

apresentando as tendências composicionais dos fluidos nos minerais presentes em albitos e gnaisses.

4. EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS NOS DEPÓSITOS ESTUDADOS

Inclusões Fluidas presentes em piroxênio, granada e plagioclásio dos três depósitos foram estudadas por microtermometria (Tabela 2) utilizando as platinas de resfriamento e aquecimento CHAIXMECA e FTIR600 – LINKAM no Laboratório de Inclusões Fluidas e Metalogênese do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LIFM/CDTN).

Foram encontradas inclusões fluidas em ambos os tipos de piroxênio (magmático e metamórfico) em amostras da jazida Cachoeira, e obtidos valores de temperatura final de fusão do gelo (T_f) variando entre -13°C e -11°C para o piroxênio magmático o que corresponde a uma salinidade média equivalente a 16% em peso de NaCl, e para o piroxênio metamórfico T_f entre -15°C e -11°C e salinidade equivalente de 17% em peso de NaCl. O piroxênio magmático apresentou temperatura eutética (T_e) entre -70°C e -63°C enquanto que o piroxênio metamórfico de -55°C a -50°C .

Para as inclusões fluidas do piroxênio metamórfico da jazida Engenho obteve-se T_f entre -16°C e -9°C , T_e de -54°C a -52°C , temperatura de homogeneização (T_h) entre 240°C a 330°C e salinidade média equivalente de 16% em peso de NaCl.

Na jazida Rabicha, as inclusões fluidas do piroxênio metamórfico apresentaram T_e variando entre -52°C a -48°C , T_f entre -9°C e -6°C , T_h de 224°C a 288°C , e salinidade média equivalente de 13% em peso de NaCl.

Tabela 2 - Resultados microtermométricos das análises em inclusões fluidas em piroxênio, granada e plagioclásio em albitos das jazidas Cachoeira, Engenho e Rabicha. T_e : Temperatura eutética, T_h : Temperatura de homogeneização, T_f : Temperatura final de fusão do gelo.

Piroxênio do estágio magmático				
Jazida	T_e ($^\circ\text{C}$)	T_h ($^\circ\text{C}$)	T_f ($^\circ\text{C}$)	Salinidade média equivalente em peso NaCl
Cachoeira	-70 a -63	-	-13 a -11	16%
Piroxênio do estágio metamórfico				
Jazida	T_e ($^\circ\text{C}$)	T_h ($^\circ\text{C}$)	T_f ($^\circ\text{C}$)	Salinidade média equivalente em peso NaCl
Cachoeira	-55 a -50	-	-15 a -11	17%
Engenho	-54 a -52	240 a 330	-16 a -9	16%
Rabicha	-52 a -48	224 a 288	-9 a -6	13%
Granada do estágio metamórfico				
Jazida	T_e ($^\circ\text{C}$)	T_h ($^\circ\text{C}$)	T_f ($^\circ\text{C}$)	Salinidade média equivalente em peso NaCl
Cachoeira	-54 a -51	-	-14 a -9	15%
Engenho	-53 a -52	200 a 230	-10 a -7	13%
Rabicha	-54 a -48	200 a 240	-11 a -7	12%
Plagioclásio do estágio metamórfico				
Jazida	T_e ($^\circ\text{C}$)	T_h ($^\circ\text{C}$)	T_f ($^\circ\text{C}$)	Salinidade equivalente em peso NaCl
Engenho	-	200 a 320	-4 a -0,4	6,4% a 0,7%
Rabicha	-54 a -33	223 a 383	-4 a -0,3	6,4% a 0,5%

Grupos de inclusões fluidas foram estudados em cristais de granada do estágio metamórfico nas três jazidas. Estas inclusões fluidas apresentaram dados de T_e entre -54°C e -48°C , e T_h entre 200°C e 240°C , muito similares nas três jazidas, porém as salinidades variaram significativamente, sendo seus valores médios equivalentes a 15% em peso de NaCl (Cachoeira), 13% em peso de NaCl (Engenho) e 12% em peso de NaCl (Rabicha).

Inclusões fluidas representantes do estágio metamórfico no plagioclásio do albitito foram estudadas somente nas jazidas Engenho e Rabicha. Somente na última foi possível obter os dados de T_e (-54°C a -33°C); e as T_f (-4°C a $-0,4^\circ\text{C}$), T_h (200°C a 383°C) e salinidade equivalente em peso de NaCl baixa a média, variando entre 0,5% a 6,4%, foram muito similares nas duas anomalias.

Inclusões fluidas primárias da fase metamórfica no piroxênio e na granada dos albititos (Figura 3), mostraram não somente T_e e T_h relativamente similares, mas também a salinidade. Entretanto, as inclusões fluidas primárias do piroxênio magmático (jazida Cachoeira) mostraram T_e mais baixa (Tabela 2).

Estudos de LA-ICP-MS em inclusões fluidas do piroxênio metamórfico da jazida Engenho apresentaram elevadas quantidades de Ca (27.791 ppm), Fe (11.882 ppm) e Mg (9.842 ppm), o que indica a composição do mineral hospedeiro (hedembergita); Li (15,7 ppm), K (116,7 ppm), Mn (319,2 ppm), Zn (21,18 ppm) e Sr (7,6 ppm) também foram detectados porém em menores quantidades (Souza 2009).

Chaves *et al.* (2010) analisaram inclusões fluidas no piroxênio precoce (magmático) da jazida Cachoeira detectando Na, Rb e Ba. Nas inclusões fluidas da granada estes autores detectaram Na, Mg, U, Rb, Ba, Sr e Pb. Chaves *et al.* (2010) detectaram na estrutura da granada Si, Ca, Ti, V, Fe, Al e Sr, elementos que também fazem parte da estrutura do piroxênio magmático, esses resultados indicam que somente o Mg e o Na que não se encaixam na estrutura da granada (andradita) foram para a fase fluida. Enquanto que Souza (2009) obteve resultados

ligeiramente diferentes para a granada da jazida Engenho: elevados teores de K (entre 972 ppm a 11.993 ppm), Ca (27.181 ppm), Fe (12.544 ppm), Cu (7.367 ppm), Zn (30.016 ppm) e Li (3.410 ppm), além de menores quantidades de Mg (322 ppm), Mn (215 ppm), As (290 ppm), Sr (63 ppm), Sb (96 ppm), Ba (12 ppm) e Pb (entre 61 ppm e 349 ppm).

O plagioclásio do estágio metamórfico (Figura 3) é formado a partir de um fluido menos salino. As análises de LA-ICP-MS (Souza 2009) confirmam a presença de Ca (1.448 ppm), K (266 ppm), Fe (53,8 ppm), Sr (33,69 ppm), Ba (9,63 ppm), Pb (2,49 ppm), Zn (0,51 ppm), Mg (0,46 ppm), Cu (0,43 ppm) e As (0,1 ppm) nessas soluções.

O microclina gnaise, encaixante dos albititos, apresenta cristais de plagioclásio precoce com inclusões fluidas primárias aquo-carbônicas (CO_2), média a alta salinidade (equivalente a 13% em peso de NaCl) e baixa densidade de CO_2 ($0,3 \text{ g/cm}^3$) (Amorim *et al.* 2009). O plagioclásio tardio, poligonal, apresenta um fluido aquo-salino (sem CO_2) e salinidade variável, com valores equivalentes de 0,3% até 10% em peso de NaCl (Oliveira 2010). Estas diferentes salinidades e composições indicam claramente soluções diferentes.

No estágio metamórfico, que originou os albititos, são observados piroxênio e andradita (granada de Ca e Fe^{3+}) resultantes da transformação da augita rica em Fe. Um mecanismo químico para a precipitação da uraninita que deve apresentar um controle de oxi-redução em algumas etapas, foi sugerido por Chaves *et al.* (2007, 2009, 2010): a titanita uranífera magmática seria a fonte do urânio para a uraninita presente e, simultaneamente com o estágio metamórfico, teria ocorrido uma remobilização e precipitação da uraninita no piroxênio, granada, anfibólio e plagioclásio metamórficos. Chaves *et al.* (2010) mencionam ainda um segundo estágio metamórfico quando ocorreu a formação de epidoto e biotita, ambos contendo cristais de uraninita inclusos, de acordo com estes autores esses minerais substituem parcialmente os formados durante o primeiro metamorfismo.



Figura 3 - Fotomicrografias mostrando inclusões fluidas primárias em (A) granada, (B) piroxênio e (C) plagioclásio, do estágio metamórfico nos albititos. Luz transmitida, nicóis paralelos, aumento de 500x.

Fuzikawa *et al.* (1988) estudaram inclusões fluidas dos veios de quartzo (não mineralizados) que cortam os albitos, e encontraram grande quantidade de inclusões fluidas aquo-carbônicas. Os minerais desses veios (quartzo, calcita e biotita), além de completamente estéreis em urânio, apresentam sinais de tectonismo (extinção ondulante, recristalização).

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os fluidos associados ao estágio magmático têm sido encontrados somente em raros cristais de piroxênios preservados (magmáticos) de albitos da jazida Cachoeira. Isto pode ser devido ao fato dos albitos desta jazida se encontrarem mais preservados, apresentando pequenos núcleos com pouca, ou nenhuma, deformação. A intensidade do metamorfismo nas jazidas Engenho e Rabicha foi maior, o que pode ter obliterado a textura magmática por ventura pré-existente nestas regiões. Essas soluções precoces consistem em fluidos aquo-salinos contendo Na, Rb e Ba (Chaves *et al.*, 2010), de salinidade intermediária e T_e muito baixa.

Observa-se que a outra geração de piroxênios, a metamórfica, amplamente predominante, apresenta fluidos de composição semelhante em todas as jazidas.

Entretanto, é possível observar dois fluidos distintos no estágio metamórfico dos albitos nas jazidas estudadas. Um pode ser visto no piroxênio e na granada, e outro nos plagioclásios. O primeiro está representado por uma solução composta por fase aquosa, de salinidade intermediária, sem CO_2 e contendo Na, Mg, U, Rb, Ba, Sr, Pb, K, Ca, Fe, Cu, Zn e Li além de pequena proporção de Mn, As e Sb (Chaves *et al.* 2010, Souza 2009). Não foram observadas variações composicionais, sejam de salinidade ou de temperatura nesse fluido. Nesses piroxênios e granadas são encontradas sempre as mesmas soluções, que provavelmente tem a mesma gênese. Uma etapa de precipitação de urânio pode estar associada a essa fase mineral uma vez que o urânio está presente na composição do fluido e a uraninita é encontrada, principalmente, inclusa nestes minerais.

É notória a ocorrência de uma diluição destes fluidos metamórficos em piroxênio e granada quando se observa as jazidas no sentido N→S (Cachoeira→Engenho→Rabicha) (Figura 4). É possível que essa diluição tenha ocorrido devido a alguma transformação química restrita ao sistema. Uma reação que poderia originar a diluição do fluido seria a transformação do anfibólio em piroxênio, onde a água proveniente da estrutura do anfibólio seria acrescida às soluções. Nesse caso essa transformação (anfibólio→piroxênio) teria ocorrido

mais intensamente no centro-sul da região de Lagoa Real, o que pode ser corroborado pela tendência de um aumento na presença de anfibólios e no volume dos fluidos entre as anomalias da região no sentido S→N (Alves & Fuzikawa 1984, Fuzikawa 1980, 1982, Fuzikawa *et al.* 1988). No entanto, nas amostras estudadas não há evidências desse processo, embora Cruz (2004) afirme que o piroxênio, nos albitos de Lagoa Real, seja um produto da transformação dos anfibólios.

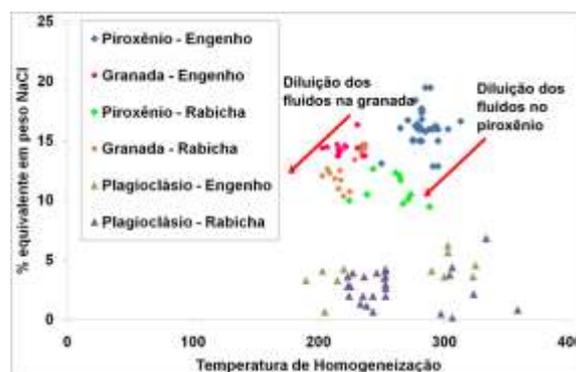


Figura 4 - Diagrama comparativo de salinidade versus temperatura de homogeneização de inclusões fluidas no piroxênio, na granada e no plagioclásio do albitito da jazida Engenho com a jazida Rabicha, mostrando a diluição nos fluidos que ocorrem no sentido N→S da Província e também no sentido de cristalização destes minerais (piroxênio→granada→plagioclásio).

Os fluidos primários estudados nas albitas/oligocásios das jazidas Rabicha e Engenho apresentam salinidades muito baixas a intermediárias (de 0,3% até 6,4% equivalente em peso de NaCl), embora Fuzikawa *et al.* (1988) encontraram fluidos mais salinos, de até 9% equivalente em peso de NaCl no depósito da Rabicha (três medições), e 11% equivalente em peso de NaCl para plagioclásios das jazidas Laranjeiras e Cachoeira (várias medições). Esses autores verificaram, ainda, a presença de soluções tardias nesses minerais, com salinidades muito oscilantes, entre 0% e 20% equivalente em peso de NaCl, o que pode estar refletindo a circulação de diferentes fluidos que não estão relacionados com a gênese dos plagioclásios. As tendências registradas indicam que, nos setores de Rabicha e Engenho, a precipitação do plagioclásio ocorreu posteriormente ao piroxênio/granada a partir de um fluido menos salino (Figura 4), provavelmente com pouco ou nenhum CO_2 associado. Entretanto, os fluidos primários dos plagioclásios das jazidas Laranjeiras e Cachoeira apresentam salinidade compatível com aquela obtida em piroxênios e granadas. Isto pode significar que, nos albitos de Lagoa Real, os plagioclásios teriam se formado em duas fases diferentes. Ou, mais provavelmente, a partir do

mesmo fluido que teria sofrido uma diluição. Os dados de LA-ICP-MS sugerem que as soluções associadas a piroxênio/granada eram diferentes daquelas vinculadas ao plagioclásio. Nesse último foram encontrados fluidos compostos por H₂O + Na + Mg + K + Ca + Fe + Cu + Zn + As + Sr + Ba + Pb (Souza 2009). E, diferentemente do observado nas soluções do piroxênio/granada, não foram encontrados U e Rb. O estágio de remobilização e precipitação de urânio, associado a esta fase, deve ter consumido todo o urânio que ainda estava em solução.

Com relação aos fluidos aquo-carbônicos pode-se afirmar que existem, pelo menos, duas ou três gerações dessas soluções nos albitos e encaixantes da região de Lagoa Real. Uma primeira geração, somente foi encontrada no plagioclásio precoce do gnaiss. Esse fluido pode ter sido obliterado, posteriormente, durante a deformação. Uma segunda geração se encontra presente nos veios de quartzo que cortam as rochas da região. As inclusões fluidas do quartzo dos veios registram, na fase carbônica, a presença exclusiva de CO₂, evidenciando condições oxidantes para este estágio.

Outro fluido tardio, composto por um sistema de CO₂ e traços de CH₄, foi estudado por Fuzikawa (1982) nos carbonatos tardios de alguns corpos de albitos de Lagoa Real. Entretanto, a ausência de CO₂ nas inclusões fluidas dos minerais dos albitos pode ser devida à decrepitação das inclusões carbônicas durante o metamorfismo.

Considerando o conjunto de fluidos estudados nos depósitos Cachoeira, Rabicha e Engenho, e comparando com estudos realizados anteriormente em Lagoa Real, podemos elaborar um quadro geral dos fluidos, mostrando a evolução dessas soluções, ao tempo que ocorria a precipitação de uraninita (Figura 5).

Os dados apresentados sugerem que o Evento Brasiliano, que ocorreu após a formação dos albitos, não obliterou completamente a assinatura dos fluidos nos minerais. Provavelmente, pelo menos na região de Lagoa Real, este evento não teve fluidos associados. De outra maneira essas soluções deveriam estar presentes na paragênese mineral e, neste caso, provavelmente todo o urânio teria sido removido.

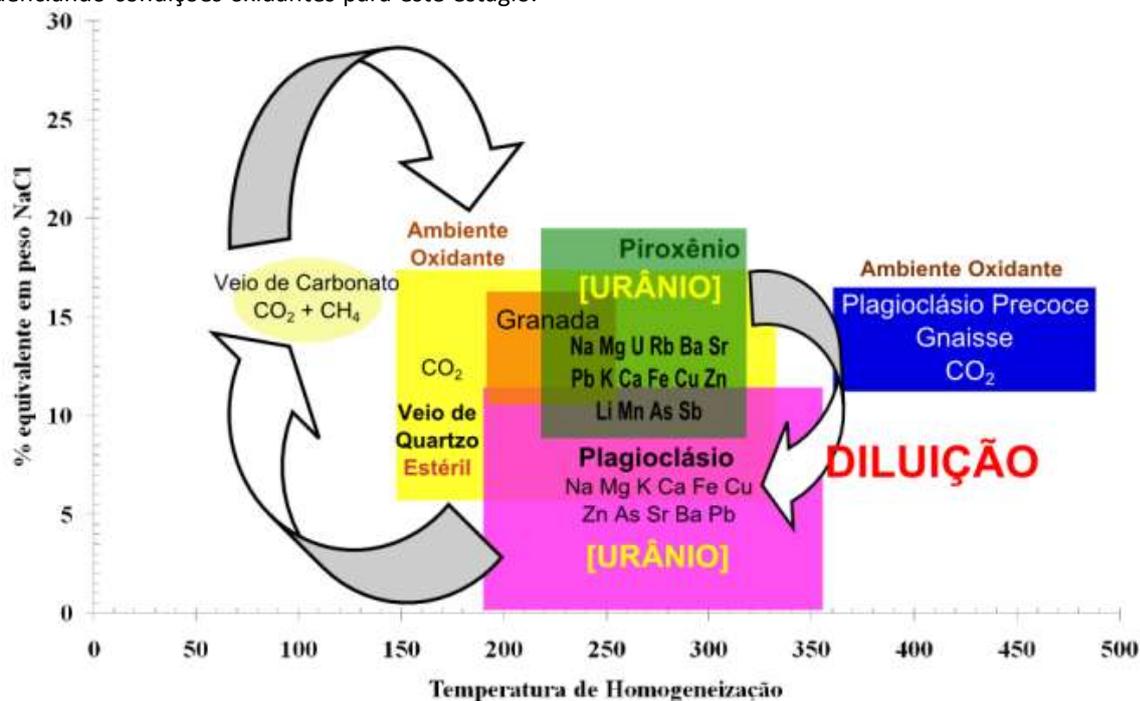


Figura 5 - Diagrama evolutivo dos fluidos da Província Uranífera de Lagoa Real, mostrando seqüência de formação dos minerais na província e sua associação com a mineralização uranífera: 1º) fluido carbônico primário registrado nas inclusões fluidas do plagioclásio precoce do microclina gnaiss sugere um ambiente oxidante para cristalização desse mineral (Amorim et al. 2009); 2º) primeira etapa de precipitação de urânio associada aos fluidos presentes em piroxênio/granada metamórficos; 3º) segunda etapa de precipitação e/ou remobilização de urânio ocorre ao mesmo tempo que o fluido se torna diluído conforme foi registrado no plagioclásio tardio, metamórfico, presente no albitito mineralizado; e, finalmente, duas etapas de formação de veios estéreis 4º) a primeira representada por um fluido contendo CO₂ + CH₄ nos veios de carbonato (Fuzikawa 1982) e 5º) etapa caracterizada por um fluido aquo-salino tardio contendo CO₂ puro em veios de quartzo (Fuzikawa et al. 1988) caracterizando um ambiente oxidante para esse evento.

Após 30 anos de pesquisas na Província Uranífera de Lagoa Real, novos dados continuam sendo obtidos indicando que a evolução geológica dos albititos uraníferos e suas rochas hospedeiras foi muito complexa, e não pode ser restrita a um único modelo, entre aqueles já apresentados por especialistas que estudaram o setor. Os dados apresentados neste artigo, apesar de ricos em número de medidas, mostram tendências em locais pontuais da Província Uranífera de Lagoa Real, e necessitam ser complementados por novos estudos que permitam esclarecer ainda mais o conhecimento da gênese da mineralização. Para isso será necessário enfatizar os aspectos estruturais, estudar com maior detalhe os halos de alteração, e as características do fluido tardi-magmático, se possível focando no estudo geoquímico de *melt inclusions* em rochas magmáticas. Desta forma, obter-se-á novos e importantes dados, contribuindo para ampliar o conhecimento da principal província uranífera do Brasil.

6. AGRADECIMENTOS

Dedicamos este trabalho ao nosso querido Prof. José Marques Correia Neves. Tivemos a sorte de acompanhar a última etapa de seu longo caminho, aqui no LIFM / CDTN. Nesses anos, de vivências e amizade recíproca, recebemos seu inestimável apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Agradecemos aos órgãos de fomento, CNPq (Projeto 307.546-11), FAPEMIG (Projeto CAG PPM 00666-11), FINEP REDETEC (Projeto 2715/09) e CAPES pelo apoio financeiro fornecido pela por meio de bolsas aos autores e aquisição de equipamentos. Ao CDTN/CNEN pelo suporte financeiro e a disponibilização da infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS

- Alves J.V. & Fuzikawa K. 1984. O estudo de inclusões fluidas da Jazida Uranífera da Cachoeira, Caetité, BA – resultados preliminares. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, Anais, p. 1503-1515.
- Almeida F.F. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 7:349-364.
- Amorim L.E.D., Rios F.J., Oliveira L.A.R., Alves J.V., Fuzikawa K., Matos E.C., Garcia L.R., Ribeiro Y. 2009. Geoquímica de fluidos associados a rochas: testes preliminares em minerais de rochas granitoides potencialmente hospedeiras de repositórios de rejeitos radioativos. In: ABEN, International Nuclear Atlantic Conference (INAC). Rio de Janeiro, Anais, DVD.
- Brito W., Raposo C., Matos E.C. de. 1984. Os albititos uraníferos de Lagoa Real. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, Anais, p. 1475-1488.
- Chaves, A.O. 2011. Petrogenesis of the Uraniferous Albitites, Bahia, Brazil. Revista de Geologia, 24(1):64-76.
- Chaves A.O., Rios F.J., Alves J.V., Chaves A.M.D.V., Fuzikawa K. Neves J.M.C. 2010. Physical and Chemical properties of Fluid and Melt Inclusions of the Lagoa Real Uraniferous Albitites (Brazil). Revista de Geologia, 23(1):90-100.
- Chaves A.O., Tubrett M., Avelar S.C., Rios F.J., Sgarbi G.N.C., Neves J.M.C., Alves J.V., Fuzikawa K., Mattos E.C., Prates S.P. 2009. Electron microprobe chemical U-Th-Pb and La-ICP-MS dating of multiple hydrothermal and metamorphic events recorded in minerals of the Lagoa Real uraniferous albitites, Brazil. Revista de Pesquisas em Geociências, 36(2):181-201.
- Chaves A.O., Tubrett M., Rios F.J., Oliveira L.A.R., Alves J.V., Fuzikawa K., Neves J.M.C., Mattos E.C., Chaves A.M.D.V., Prates S.P. 2007. U-Pb ages related to uranium mineralization of Lagoa Real, Bahia - Brazil: tectonic implications. Revista de Geologia, Fortaleza, 20(2):141-156.
- Cordani U.G. & Brito Neves B.B. 1982. The Geologic Evolution of South America during the Archaean and Early Proterozoic. Revista Brasileira de Geociências, 12:78-88.
- Costa P.H.O., Andrade A.R.F., Lopes G.A., Souza S.L. 1985. Projeto Lagoa Real: mapeamento geológico, 1:25000, texto e mapas. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) / Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRAS), Salvador, 1, 455 pp.
- Cruz S.C.P. 2004. A interação entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-Oeste Congo. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, 503 p.
- Fuzikawa K. 1980. Estudos preliminares de inclusões fluidas em albita dos albititos do projeto Lagoa Real, Caetité, BA, Brasil. In: SBG Congresso Brasileiro de Geologia, 31. Balneário de Camboriú. Anais, p. 2038-2049.
- Fuzikawa K. 1982. Alguns carbonatos do distrito uranífero de Lagoa Real, Bahia: Estudos de inclusões fluidas e isótopos estáveis. In: XXXII SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, 5, Anais, p. 2072-2085.
- Fuzikawa K. & Alves J.V. 1984. Dilatação de inclusões fluidas em plagioclásios da província uranífera de Lagoa Real-Caetité BA. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, Anais, 3, p. 4453-4462.
- Fuzikawa K., Alves J.V., Maruejol P., Cuney M., Kostolanyi B., Poty B. 1988. The Lagoa Real Uranium Province, Bahia State, Brazil: Some Petrographic Aspects and Fluid Inclusion Studies. Geochimica Brasiliensis 2(2):109-118.
- Fyfe W.S. 1979. Report to NUCLEBRÁS. Canadá: University of Western Ontario, London-Ontario, 14 p.
- Geisel Sobrinho E. 1981. Apresentação de uma hipótese genética para o Distrito Uranífero de Lagoa Real. Belo Horizonte: Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRAS). Nota Técnica EBHO. PM, Nº 3.
- Geisel Sobrinho E., Raposo C., Alves J.V., Brito W., Vasconcelos T.G. 1980. O distrito uranífero de Lagoa Real, Bahia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Balneário de Camboriú, Anais, 3, p. 1499-1512.
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO 2009. Produção Mineral Brasileira. Disponível em: <http://www.ibram.org.br>. Acessado em: 14 set 2009.

- INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS 2012. Reservas – Brasil e Mundo. Disponível em: http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/interna2.aspx?secao_id=48. Acessado em 20 de out de 2012.
- Lobato L.M. 1985. Metamorphism, metassomatism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. Tese de Doutorado, University of Western Ontario, Ontario, 306 p.
- Lobato L.M. & Fyfe W.S. 1990. Metamorphism, Metasomatism, and Mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. *Economic Geology*, **85**:968-989.
- Maruèjol P. 1989. Métasomatose alcaline et minéralisation uranifères: les albitites du gisement de Lagoa Real (Bahia, Brésil) et exemples complémentaires de Xihuashan (SE Chine), Zheltorechensk (Ukraine) e Chuling Khola (Népal central). Tese de Doutorado, Centre du Recherche sur la Geologie de l'uranium, Nancy, 428 p.
- Maruèjol P., Cuney M., Fuzikawa K., Netto A.M., Poty B. 1987. The Lagoa Real subalkaline granitic complex (south Bahia, Brazil): A source for uranium mineralizations associated with Na-Ca metasomatism. *Revista Brasileira Geociências*, **17**:578-594.
- Matos E.C., Silva J.R.A.E., Rubini L.A. 2003. Província Uranífera de Lagoa Real – Garantia de Fornecimento de Concentrado de Urânio (DUA) para as Necessidades Brasileiras. *Revista de Geologia*, **16**(2):111-120.
- Moraes L.C., Martins A.A., Sampaio A.R., Gil C.A.A., Andrade Filho E.L., Arcanjo J.B.A., Lima R.C.C., Melo R.C., Oliveira R.B.A., Margalho R.S.F.X. 1980. Projeto Brumado Caetité – Mapeamento Geológico, DNPM/CPRM, Salvador, 233p.
- NUCLEBRÁS – EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S/A. Relatório de Síntese da Anomalia 09 (Fazenda do Engenho). Relatório Interno, 1984.
- Oliveira A.G., Fuzikawa K., Moura L.A.M., Raposo C. 1985. Província Uranífera de Lagoa Real – Bahia. In: DNPM e Cia Vale do Rio Doce (eds) Principais Depósitos Mineraiis do Brasil Brasília, **1**, p.: 105-120.
- Oliveira L.A.R. Caracterização dos Fluidos Associados à Paragênese Mineral dos Albititos Uraníferos e Encaixantes Gnáissicas da Jazida Lagoa da Rabicha, Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia. 2010. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Mineraiis e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 165 P.
- Prates S.P. Significado Metalogenético da Mineralogia dos Albititos da Jazida Cachoeira (Província Uranífera de Lagoa Real). 2008. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Mineraiis e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 128p.
- Souza A.S. 2009. Inclusões Fluidas nos Mineraiis Associados à Mineralização Uranífera da Jazida do Engenho (Anomalia 09), Província Uranífera de Lagoa Real – Bahia. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Mineraiis e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 134 p.
- Stein J.H., Netto A.M., Drumond D.R., Angeiras A.G. 1980. Nota Preliminar sobre Processos de Albitização Uranífera de Lagoa Real (Bahia) e sua comparação com os da URSS e Suécia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31. Balneário de Camboriú, Anais, **3**, p. 1758-1775.