

## **Caracterização, cronologia e gênese das tufas da serra das Araras, Mato Grosso**

Daniel Corrêa<sup>1</sup>  
Augusto Sarreiro Auler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências/UFMG/Programa de Pós-graduação em Geografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Bairro Pampulha - Caixa Postal 719  
CEP 31270-901 - Belo Horizonte, MG, Brasil  
dangeobr@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Instituto de Geociências/UFMG/CPMTC  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Bairro Pampulha  
CEP 31270-901 - Belo Horizonte, MG, Brasil  
aauler@terra.com.br

**Resumo.** Na face leste da Província Serrana mato-grossense em contato com a planície do Pantanal, na região da serra das Araras, ocorrem notáveis depósitos de tufas ativas e fósseis. Os primeiros são depósitos essencialmente fluviais, de pequena espessura, estratificados, bastante friáveis, e de reduzida distribuição espacial na área de estudo. Os depósitos fósseis, denominados de formação Xaraiés, são representados por tufas calcárias distribuídas em cerca de 30km de extensão, com espessura máxima identificada de 20m, de grande variedade faciológica e de evolução complexa. O objetivo principal deste estudo é caracterizar os depósitos de tufas da serra das Araras e compreender sua gênese. A caracterização compreendeu a definição da área de ocorrência e o limite do depósito, sua estratigrafia interna e no contexto da geologia na qual está inserida, a discriminação faciológica dos litotipos e os processos atuantes sobre o depósito. A fim de melhor caracterizar os depósitos, amostras da formação Xaraiés foram datadas por meio do  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  por ICP/MS, e análises químicas por fluorescência de raios X foram aplicadas em diversas amostras. O mapeamento original existente para as rochas da formação Xaraiés foi refeito, resultando em ampliação da área do mapeamento anteriormente existente. A espessura do depósito foi revista, indicando uma espessura confirmada de 20m, em contradição com dados existentes na literatura onde o depósito exibiria 100m de espessura.

**Palavras-chave:** calcários quaternários, mapeamento, geocronologia, transição planície-planalto.

**Abstract.** On the east face of Mato Grosso's *Província Serrana*, in a section known as Serra das Araras, occur notable deposits of active and fossil tufa. The active deposits are essentially fluvial, of little thickness, stratified, very friable, and appear in a reduced part on the study area. The fossil deposits named Xaraiés formation are represented by calcareous tufas that spread along approximate 30Km of extension. These exhibit a maximum identified thickness of 20m, a large faciological variety and a complex evolution. The main purpose of the present study is to characterize and comprehend the genesis of the calcareous tufas deposits found on Serra das Araras. Characterize understood as define the area and the limits of the deposits, the stratigraphy internal and of the geologic context, the litotypes faciological discrimination as well as the deposits active process. In order to better illustrate the deposits, samples of the Xaraiés formation were dated via the  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  per ICP/MS, and chemistry analyses of X-ray fluorescence were applied in many samples. The original map existent for the Xaraiés formation rocks was remake and it resulted on an enlargement of the original area mapped. The thickness of the deposit was reviewed indicating a 20m thickness, different of the literature information that describes it as 100m thick.

**Key-words:** quaternary limestone, mapping, geochronology, highland-lowland transition area.

## 1. Introdução

O Pantanal, a maior planície inundável do planeta, é um ambiente de sedimentação de idade muito recente e ainda ativo sendo palco de uma série de processos sedimentares Quaternários, em especial processos fluvio-lacustres. Neste contexto deposicional ocorre nesta região a formação de tufas calcárias, associadas aos terrenos cársticos e principalmente às áreas de transição entre o Pantanal e as áreas elevadas que circundam a planície.

Na área do Pantanal são identificados ao menos três grandes depósitos de tufas, sejam em processo de formação, ou depósitos fósseis, onde a sedimentação cessou em tempo pretérito, sendo substituído por processos de desmonte do depósito. Destacam-se os depósitos de Corumbá (MS), os da serra da Bodoquena (MS) e os da serra das Araras (MT).

As tufas de Corumbá foram denominadas de formação Xaraiés e afloram na forma de depósitos isolados, nas cidades de Corumbá e na cidade vizinha de Ladário. Os depósitos são essencialmente calcíticos, marcados por incrustações orgânicas e de clastos de outras rochas, estando quase sempre ausentes de estruturas sedimentares. Almeida (1945).

Os depósitos da serra da Bodoquena podem ser agrupados em dois tipos principais de tufas: as represas e cachoeiras de tufas e as micritas inconsolidadas, a primeira derivada da atual deposição, enquanto a segunda constitui-se em uma unidade reliquiar. Boggiani et al. (1999).

Na porção norte do Pantanal (Pantanal de Poconé) no contato com a Província Serrana de Mato Grosso, ocorrem os depósitos de tufas da serra das Araras, representados por unidades sedimentares pretéritas, e pela atual formação de tufas calcárias. Sem dúvida, no contexto dos depósitos de tufas da região do Pantanal, estes representam aqueles menos estudados e são estes objetos desta comunicação.

Os depósitos da serra das Araras exibem dimensões atípicas e são de grande complexidade estratigráfica. Representa de maneira inequívoca o maior depósito deste litotipo já descrito no Brasil, apresentando uma morfologia complexa e integrante. Além disso, o estudo deste depósito conduz a um melhor entendimento dos processos ambientais ocorrentes no contexto transicional dos planaltos para a planície do pantanal.

## 2. Objetivos

Pretende-se aqui expor os resultados oriundos de estudos de caracterização e mapeamento dos depósitos de tufas da serra das Araras, com vistas ao entendimento da sua gênese e com o subsídio de dados geocronológicos.

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia utilizada neste trabalho encontra-se dividida em pelo menos três grandes etapas, que são: (1) revisão bibliográfica; (2) trabalho de campo; (3) trabalho de gabinete e laboratório. Evidentemente esse ordenamento representa um roteiro metodológico padrão em geociências desenvolvido de modo integrado e contínuo ao longo de toda a pesquisa.

A revisão bibliográfica do tema foi extremamente ampla buscando reunir o maior número de informações disponíveis sobre tufas calcárias no Brasil e no mundo, tais como definição do litotipo, modelos para formação, distribuição geográfica, características petrográficas e sedimentares, além de sua utilização como registro sedimentar com enfoque a reconstituição de ambientes Quaternários.

Em um momento seguinte objetivou-se compilar da literatura o maior número de informações disponíveis da área de estudo, em especial informações de geologia e geomorfologia, fundamentais para caracterizar e compreender a gênese do depósito sedimentar em tela.

Com base no Projeto Província Serrana de Luz et al. (1978) foi possível delimitar a área de estudo. Este projeto consistiu em um mapeamento geológico da área da Província Serrana de Mato Grosso na escala 1:50.000, resultando em 35 mapas geológicos. Deste conjunto, as folhas SD.21-Y-D-VI-4, SD.21-Y-D-VI-3, SE.21-V-B-III-1, foram definidas como área de estudo neste trabalho, por serem aquelas que previamente contavam com a presença de tufas, ocupando uma área de cerca de 900 km<sup>2</sup> amostrada por cerca 120 pontos de controle em campo. A despeito destes limites previamente definidos percorreu-se em campo uma área muito superior, com vistas a investigar novas ocorrências na região.

Os pontos de campo foram registrados através de coordenadas adquiridas por GPS, e a amostragem nestes locais consistiu na coleta de rocha, em especial as tufas, descrição local dos depósitos, e na interpretação estratigráfica da amostra em relação ao depósito na qual se inseria, e a relação no contexto estratigráfico global.

O caminhamento amostral foi feito por meio de transectos transversais ao depósito, dessa maneira ao longo de aproximadamente 30 km, foram realizados 6 perfis transversais, com 3 km de extensão em média, deslocando-se de cotas altimétricas de 120 m a 450 m.

Buscando refinar o mapeamento original, que possui problemas de extensão, dimensão e forma dos depósitos, procurou-se adquirir uma série de pontos de controle em campo por GPS e tendo como base as fotos aéreas em escala 1:60000 USAF (1969) e as imagens de satélite CBERS INPE (1995), retificar o mapeamento existente.

Coleta de amostras de tufas para datação foi realizada em toda a extensão do depósito percorrido, tendo como base os seguintes princípios: amostras livres de impurezas, ou seja, com baixo conteúdo detrítico; macroscopicamente inalterada do ponto de vista físico-químico, logo sem sinais aparentes redissolução ou recristalização mineral; e desprovidas de estruturas orgânicas. Norteado por estes princípios foram selecionadas amostras menos porosas e de conteúdo cristalino mais maciço.

É importante quando da coleta de amostras datáveis a obtenção de dados fundamentais para melhor interpretação cronológica, tais como o local de coleta, descrições qualitativas, e determinação das relações estratigráficas da amostra no contexto micro e macro deposicional.

Em gabinete foi feita uma sistematização do material cartográfico (geológico/topográfico) existente por meio de compilação e digitalização. Sendo assim foram digitalizadas as cartas topográficas Serra da Campina e Serra da Palmeira, escala 1:100.000 Brasil (1975), e os mapas geológicos já citados, o que permitiu a integração destes materiais e modificações. Integraram-se a isso as informações produzidas pela interpretação das fotografias aéreas e das imagens de satélite.

A etapa de laboratório foi dividida em duas fases (1) datação; (2) análises litológicas. As amostras coletadas em campo foram previamente preparadas em laboratório, onde houve uma seleção macroscópica mais criteriosa das amostras, e com a extração de duas sub-amostras de calcita de uma mesma camada, denominadas amostras *coevas*. Feito isto foram enviadas um total de 20 pares de amostras *coevas* ao laboratório de datação, onde foram submetidas ao método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  por ICP/MS, técnica reconhecidamente eficiente na datação de minerais carbonáticos e que apresenta erros de contagem estatística da ordem de  $\pm 1\%$  Shen et al. (2002).

As idades obtidas foram submetidas a procedimentos de controle para verificar o grau de confiança, denominados de (a) consistência estratigráfica e (b) concordância isotópica. A primeira avalia se a idade obtida é consistente com a posição estratigráfica da amostra, a segunda postula a obrigatoriedade de amostras *coevas* resultarem em idades estatisticamente iguais Richards e Dorale (2003).

No que tange os estudos litológicos as amostras foram submetidas a análises macro e microscópicas. O primeiro tipo de análise estabeleceu parâmetros para discriminação faciológica das amostras, como cor, dureza, estruturas sedimentares e material fóssil. No segundo tipo de análise as amostras foram submetidas à Fluorescência de Raios X, com a determinação de elementos maiores e perda ao fogo.

#### 4. Resultados e Discussão

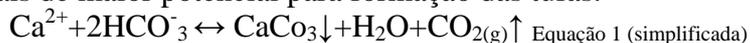
Na serra das Araras, representada aqui como a unidade geomorfológica que marca a transição entre as rochas do grupo Alto Paraguai e da formação Pantanal, são identificados dois tipos principais de depósitos de tufas, depósitos recentes e ainda em formação, sem denominação estratigráfica específica, e depósitos antigos, agrupados sob a denominação de formação Xaraiés.

Sinteticamente o grupo das tufas jovens é composto por estruturas concrecionárias do tipo tubiformes, porosas ou não, contendo frequentemente folhas fossilizadas ou somente sua impressão, sendo abundantes orifícios e tubos ociosos moldado por galhos e caules de plantas. Em geral apresentam-se estes litotipos estratificados em delgadas camadas recobrimdo os sólidos sobre o qual foram depositados. É comum a existência de material orgânico ainda em estado de decomposição, indicando que o processo de sedimentação é um processo bastante recente e muito rápido (**Figura 1**).

As tufas recentemente formadas ou em formação ocorrem prioritariamente nos canais de drenagem fluvial, os quais drenam a extensa morraria carbonática da serra das Araras em direção às terras baixas do Pantanal. Excepcionalmente foram identificados litotipos semelhantes nas áreas de planície, no entanto, configuram depósitos extremamente limitados em área e dimensões, diferentemente daqueles formados no contexto fluvial da morraria,

Os depósitos em atividade ocorrem de modo contínuo ao longo das drenagens da área serrana, sendo quase ausentes nas áreas deprimidas e nas terras baixas do Pantanal. O limite deposicional dos depósitos de tufas jovens é em geral as cachoeiras que transpõem as unidades de relevo citadas.

Esta limitação espacial para ocorrência das tufas jovens é indicativo do papel determinante que a turbulência de fluxo exerce na formação destes litotipos. A formação de tufa é devido à precipitação da calcita, que por sua vez ocorre quando o  $\text{CO}_2$  é liberado da solução (**Equação 1**). São nas áreas elevadas que o fluxo apresenta maior turbulência, devido ao elevado gradiente hidráulico resultante da diferença altimétrica existente, e, portanto são os locais de maior potencial para formação das tufas.





**Figura 1** . Fragmento de tufa de depósito jovem já erodido. Pode ser observada a estratificação sedimentar, e a matéria vegetal com características orgânicas presentes.

A contribuição de organismos vivos na captura de CO<sub>2</sub> parece também existir na formação dos litotipos recém formados, porém de maneira bastante limitada, comprovada especialmente pela deposição de tufas em áreas de drenagem estagnada, na área da planície, e nas margens de leitos sujeitas à inundação (onde a turbulência do fluxo é menos pronunciada), mas resultam, via de regra, em depósitos bastante limitados em área e volume.

O caráter estratificado das tufas neoformadas é indicativo de um comportamento sazonal na formação dessas rochas, representando os intervalos entre condições ótimas a sedimentação química e outros que restringem esse processo. Observações em campo e aceitação de algumas premissas teóricas levam a concluir que o período de inverno (menor precipitação) seja o mais propício ao desenvolvimento dos depósitos.

Nesta perspectiva dois fatores devem ser analisados (1) nos períodos de maior precipitação ocorre uma diluição da solução o que reduz a saturação em sais da água inibindo a formação de tufas; (2) nestes mesmos períodos existe um aumento acentuado na vazão das drenagens elevando a competência erosiva do fluxo, havendo, portanto, uma tendência de fluxo à erosão e não à formação dos depósitos, comprovado também pelas observações de campo.

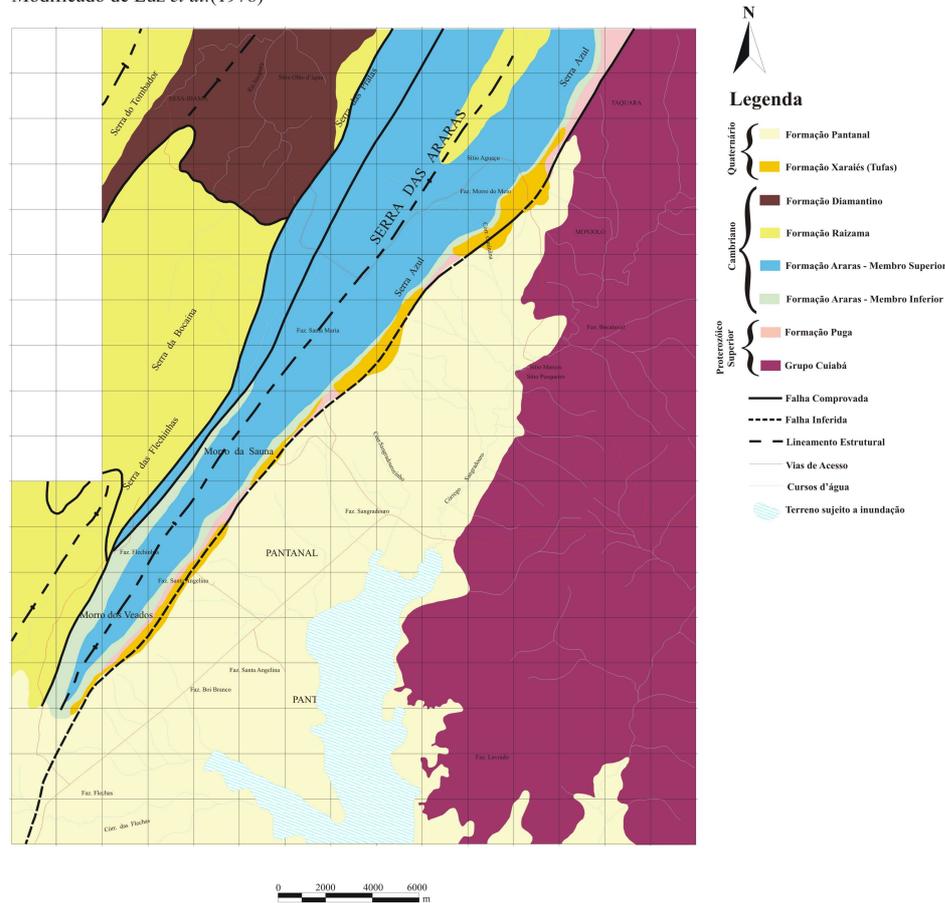
No período de inverno, mesmo sem chuva, a alimentação de base mantém perenizada a maioria das drenagens, e mesmo com fluxo reduzido, existe um alto nível de turbulência na água, devido ao elevado potencial hidráulico do sistema, o que propicia em grande parte a precipitação do mineral. Além disso, acredita-se, mesmo sem informações geoquímicas da água subterrânea, que a água com esta origem contenha maiores níveis em bicarbonato de cálcio, já que percolou em áreas carbonáticas abundantes, o que seria uma explicação plausível para a intensidade deposicional dos ciclos de sedimentação atual das tufas.

Os depósitos de tufas da serra das Araras, incluídos sob a denominação de formação Xaraiés, ocorrem em uma extensão mínima de 30 km, com largura máxima de 800 m, e com altura nunca superior a 100 m (**Figura 2**). São litotipos de grande variedade faciológica, que, no entanto, exibem em geral aspecto maciço e sem estratificação aparente. O componente fóssil é variável entre amplos limites, bem como a porosidade e a cor.

No mapeamento original tais depósitos foram mapeados como quatro depósitos isolados e de área restrita. Isso ocorreu, muito provavelmente, em função de um levantamento restrito a

fotografias aéreas e com poucos pontos de controle em campo. A observação exclusiva e fotos aéreas e das imagens de satélite levam às conclusões obtidas anteriormente em relação às dimensões do depósito. Com uso exclusivo dessas ferramentas tende-se a associar os depósitos de tufas às projeções do relevo. Na metodologia adotada no mapeamento existente, as *saias* da escarpa haviam sido definidas como as únicas áreas de deposição das tufas.

Mapa Geológico da Área Investigada.  
Modificado de Luz *et al.* (1978)



Fonte: LUZ *et al.* Modificado (1978). Projeto Província Serrana, CPRM. Folhas SD.21-Y-D-VI-4, SD.21-Y-D-VI-3, SE.21-V-B-III-L.

**Figura 2 .** Mapa geológico da área investigada. Modificado de Luz *et al.* (1978).

O depósito de tufas da formação Xaraiés não está limitado em área a essas unidades previamente delimitadas. Ocorre praticamente ao longo de toda a escarpa e em alguns trechos sobre o platô calcítico. Os levantamentos de campo permitiram identificar que as áreas onde não há ocorrência de tufas estão restritas a uma extensão inferior a 5 km na linha da escarpa. É importante salientar que as dimensões aqui apresentadas referem-se a depósitos indubitavelmente *in-situ*, já que blocos rolados de dimensões variáveis são encontrados no sopé inclusive de algumas seções onde depósitos *in-situ* não foram identificados. É um dimensionamento com base na condição atual do depósito, onde não se especula suas dimensões originais.

A relação estratigráfica das tufas Xaraiés com unidades litológicas limitantes foram condicionadas pela falha das Araras. As tufas calcárias encontram-se depositadas sobre os calcários calcíticos, membro inferior da formação Araras, sobre os paraconglomerados Puga, e sobre os metassedimentos do grupo Cuiabá em discordância angular erosiva, e são parcialmente recobertas pela formação Pantanal e outras coberturas holocênicas.

Internamente é difícil definir com precisão as relações estratigráficas do depósito, inicialmente porque ele vem sendo submetido a intenso processo de desmonte, mas também porque as estruturas ainda existentes foram submetidas a um profundo intemperismo e erosão que contribuem para mascarar as relações internas do depósito. O caráter extremamente maciço, praticamente sem estratificação, que o depósito exhibe também dificulta a leitura das relações estratigráficas do mesmo.

Entre as grandes questões que permearam este trabalho está a espessura do pacote de tufas. Almeida (1964) e autores que o citaram em trabalhos nessa região, sempre defenderam a espessura máxima de 100 m para o depósito, o que não foi confirmado neste estudo.

Cem metros são aproximadamente a distância entre a superfície da depressão cuiabana e da planície pantaneira, onde são encontrados depósitos de tufas *in situ*, para o nível altimétrico mais elevado onde as tufas são observadas. Em geral esta espessura coincide grosseiramente com a altura da escarpa. Assumir essa dimensão como sendo a espessura do depósito, significa assumir uma geometria deposicional que não pode ser confirmada nos trabalhos efetuados.

A espessura definida e largamente difundida na literatura (100 m) sugere uma geometria deposicional na qual as tufas teriam sido empilhadas sub-horizontalmente e transversal ao perfil vertical da escarpa, através de um espraiamento horizontal. Nesta perspectiva poder-se-ia assumir uma espessura de 100 m, onde a espessura do depósito seria coincidente com a altura da escarpa. No entanto, há fortes indícios que apontam para uma geometria essencialmente verticalizada, acompanhando o plano da escarpa, na perspectiva de um encachoeiramento sobre o plano da escarpa.

O que se identifica hoje em termos de orientação no depósito, refere-se exclusivamente à área escarpada, onde ocorreu a maior preservação do depósito, a qual indica uma orientação de mergulho na escarpa. No entanto, é evidente que esta percepção de mergulho das camadas no plano da escarpa pode ser devido exclusivamente a ciclos mais recentes que foram recobrando depósitos mais antigos, mas de qualquer forma, é a única orientação observável, em meio a um depósito extremamente maciço e sem comportamento direcional aparente.

Apenas assumindo a possibilidade de geometria deposicional – de orientação plano paralela em função do plano da escarpa – poder-se-ia de fato afirmar a existência de um depósito de tufas pretérito, hoje desmontado com espessura de 100 m existente na borda leste da serra das Araras. Em caso contrário, deve-se pensar em espessuras muito mais modestas, pouco superiores a 20m de espessura.

A origem do depósito da formação Xaraiés pressupõe a existência de pontos de saída de água saturada em bicarbonato de cálcio ao longo de toda a extensão da escarpa, uma situação hidrológica pouco comum e certamente notável. Admitiu-se como pressuposto desde o início deste trabalho que condicionantes estruturais, de natureza geológica, seriam os mecanismos principais responsáveis pela saída de água ao longo da escarpa.

Detalhadas observações de campo nos levam a supor que há um forte e decisivo condicionamento geológico no estabelecimento de uma zona contínua e extensa de paleo exutórios cársticos que funcionariam como focos de drenagens que levariam à deposição de tufa ao longo da escarpa. A geometria dos membros da formação Araras dispostos em um sistema de sinclinal, estrutura um eficiente sistema de recarga e surgência de água, através da acumulação de água no fundo desse arco côncavo com posterior extravasamento em superfície.

Acredita-se que a fonte de água, em cerca de 30 km de tufas da formação Xaraiés identificadas, está ligada ao contato entre os membros inferior e superior da formação Araras, respectivamente os calcários calcíticos e dolomíticos. Sustenta-se essa afirmação com base

em duas informações de campo: inexistência de tufas Xaraíes sobre os calcários dolomíticos e a porção proximal dos depósitos coincide com o limite entre as duas litologias cambrianas.

Vinte e três amostras de tufas, exemplares das mais diversas feições macroscópicas assumidas por essa rocha incluindo amostras de tufas jovens, foram submetidas a análise por fluorescência de raios x (FRX), para elementos maiores e perda ao fogo, no intuito de avaliar se as diferenças macroscópicas entre as amostras tinham forte componente químico atuante.

A análise dos resultados dos elementos maiores e perda ao fogo (**Tabela 1**) levam a conclusão que quimicamente as tufas, independentes de idade ou características macroscópicas, se comportam de maneira muito semelhante. Invariavelmente todas as amostras analisadas têm o óxido de cálcio como principal componente da rocha, representando na maioria absoluta das amostras mais de 50% da composição total, exceção feita as amostras TUF050305 e TUF05B0604, que apresentam valores de CaO abaixo de 50%, e no caso da primeira amostra nível acentuado do óxido de silício. A participação do óxido de magnésio, por sua vez, é muito baixa para todas as amostras analisadas.

Houve grande perda ao fogo para todas as amostras, o que é, de certa maneira, surpreendente, já que se esperavam percentuais de perda ao fogo mais baixos para aquelas amostras maciças e de conteúdoossilífero reduzido. De um modo geral os percentuais dos óxidos de silício, ferro e alumínio, variaram de acordo com o nível de alteração apresentado pela amostra, sendo destacado a participação da sílica em todas as amostras de rochas analisadas. A participação dos outros compostos é muito baixa não merecendo nenhum destaque.

**Tabela 1** - Fluorescência de Raios X para elementos maiores e perda ao fogo para amostras de tufas da serra das Araras.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F	Total
TUF011104	3,96	<0,1	0,52	0,17	<0,1	0,3	51,9	<0,1	0,07	<0,1	43,3	100,22
TUF021104	3,41	<0,1	<0,01	0,07	<0,1	0,05	52,8	<0,1	0,04	<0,1	42,8	99,17
TUF061104	3,54	<0,1	<0,1	0,33	0,05	0,2	52,2	<0,1	0,01	<0,1	43,6	99,93
TUF071104	3,59	<0,1	0,01	0,07	<0,1	0,3	52,8	<0,1	0,03	<0,1	42,8	99,6
TUF081104	3,95	<0,1	0,13	0,09	0,02	0,2	52,1	<0,1	0,05	<0,1	43,3	99,84
TUF020305	4,75	<0,1	0,38	0,35	<0,1	0,2	52	<0,1	0,09	<0,1	42,7	100,47
TUF030305	5,1	<0,1	0,56	0,19	0,02	0,2	51,2	<0,1	0,07	<0,1	42,3	99,64
TUF050305	12	0,2	1,92	0,38	0,02	0,2	46,2	<0,1	0,16	<0,1	39	100,08
TUF070305	3,14	<0,1	<0,1	0,04	0,01	0,2	55,4	<0,1	0,01	<0,1	42	100,8
TUF090305	3,74	<0,1	0,22	0,1	<0,1	0,1	52,7	<0,1	0,05	<0,1	43	99,91
TUF100305	3,6	<0,1	0,04	0,07	0,01	0,2	52	<0,1	0,03	<0,1	44	99,95
TUF120305	3,61	<0,1	<0,1	0,06	<0,1	0,3	52,9	<0,1	0,03	<0,1	43	99,9
TUF130305	5,34	<0,1	0,47	0,14	<0,1	0,4	51,5	<0,1	0,16	<0,1	42,3	100,31
TUF140305	3,84	<0,1	0,22	0,1	<0,1	0,2	52,5	<0,1	0,04	<0,1	43	99,9
TUF170305	4,41	<0,1	0,69	0,2	<0,1	0,1	51,5	<0,1	0,13	<0,1	43,4	100,43
TUF180305	5,4	<0,1	0,64	0,2	<0,1	0,1	51	<0,1	0,1	<0,1	43	100,44
TUF240305	8,1	<0,1	0,65	0,48	<0,1	0,2	50	<0,1	0,08	<0,1	41	100,51
TUF260305	6,1	<0,1	0,25	0,14	<0,1	0,2	51,3	<0,1	0,04	<0,1	42	100,03
TUF010705	4,25	<0,1	0,24	0,12	<0,1	0,3	51,9	<0,1	0,07	<0,1	43,3	100,18
TUF020705	3,74	<0,1	0,18	1,98	2	0,3	50	<0,1	0,04	<0,1	41,6	99,84
011104podre	6,1	<0,1	1,6	0,48	0,02	0,3	51,1	<0,1	0,25	<0,1	40,6	100,45
TUF05A0604	3,56	<0,1	0,11	0,09	0,02	0,4	52,1	<0,1	0,05	<0,1	43,5	99,83
TUF05B0604	4,15	<0,1	0,55	0,27	0,03	0,2	48,8	<0,1	0,12	<0,1	46	100,12

Parece prudente imaginar que as principais diferenças observadas entre os tipos de tufas da serra das Araras estejam ligadas ao nível de exposição e alteração a que tem tido sido submetidos, já que os materiais aparentemente exumados do depósito são mais maciços e de coloração mais clara. Dessa forma caminha-se no sentido de se afirmar que as diferenças macroscópicas entre fáceis da formação Xaraiés observadas seriam fruto, sobremaneira, de alterações pós-deposicionais, a exceção do conteúdo fossilífero.

Foi enviado um total de 20 pares de amostras *coevas* de tufas da serra das Araras para datação, sendo obtido idades em 10 desses pares de amostras (**Tabela 2**). Os outros pares não forneceram idades, seja porque a contaminação detrítica  $^{230}\text{Th}$  era muito elevada, ou porque a amostra era de idade que superava o limite do método de datação  $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$  por ICP/MS, em torno de 600 mil anos.

Com exceção do par amostral TUF11 todos os outros pares resultaram em idades concordantes, levando-se em conta a margem de erro associada a cada uma delas. Este par amostral, apesar de serem *coevas* de uma mesma camada, demonstrou desequilíbrio isotópico, especialmente confirmado pelos valores da quantidade de  $^{234}\text{U}$  inicial corrigido. É provável que a amostra selecionada tenha passado por tocas geoquímicas que alteraram os teores dos elementos analisados, tornando mal sucedida a análise pelo método de datação aplicado.

**Tabela 2 .** Composição isotópica do Urânio e Tório e idades obtidas para amostras de tufas da serra das Araras, através de ICP/MS.

Amostra ID	Peso g	$^{232}\text{Th}$ ppt	$\delta^{234}\text{U}$ medida	$[\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}}]$ atividade	Idade não corrigida	Idade corrigida <sup>c,e</sup>	$\delta^{234}\text{U}_{\text{inicial}}$ corrigida
TUF03A	0,4612	9583 ± 31	30,9 ± 5,4	1,03576 ± 0,00808	535.403 ± 232050	528.150 ± 195471	137,5
TUF03B	0,2921	4267 ± 20	20,4 ± 9,8	1,02610 ± 0,00831	638.580 muito velha	634.892	122,7
TUF07A	0,6266	142 ± 7	39,3 ± 2,3	1,05361 ± 0,00445	662.249 muito velha	662.221	255,2
TUF07B	0,6493	152 ± 7	39,4 ± 1,8	1,05333 ± 0,00430	645.207 muito velha	645.187	244,1
TUF11A	0,2741	323 ± 17	303,8 ± 10,2	1,39458 ± 0,01160	440.335 ± 55934	440.134 ± 55850	1053,8 ± 214,9
TUF11B	0,2267	270 ± 20	290,7 ± 9,1	1,30481 ± 0,01252	312.153 ± 18978	311.936 ± 18947	701,9 ± 46,5
TUF15A	0,2134	5315 ± 26	492,6 ± 11,5	1,41642 ± 0,01177	226.226 ± 7740	223.219 ± 7687	925,7 ± 30,0
TUF15B	0,1798	1514 ± 26	498,7 ± 10,4	1,42771 ± 0,01196	228.284 ± 7507	227.660 ± 7473	949,0 ± 28,7
TUF16A	0,1759	15606 ± 49	437,5 ± 15,1	1,00150 ± 0,01537	119.578 ± 3897	101.629 ± 10409	583,1 ± 26,1
TUF16B	0,1424	7286 ± 40	497,5 ± 14,9	1,03699 ± 0,01454	117.569 ± 3491	111.051 ± 4690	680,9 ± 22,4
TUF20A	0,3255	2423 ± 15	261,4 ± 2,4	1,35637 ± 0,00651	525.054 ± 46950	525.042 ± 46946	1153,0 ± 189,0
TUF20B	0,2294	1513 ± 21	261,3 ± 2,5	1,35617 ± 0,00571	524.835 ± 42321	524.828 ± 42318	1151,8 ± 166,1
TUF22A	0,4229	1121 ± 11	332,3 ± 2,2	1,44757 ± 0,00572	488.992 ± 27000	488.989 ± 26999	1323,6 ± 114,2
TUF22B	0,1120	2132 ± 42	333,9 ± 2,7	1,44379 ± 0,00660	466.522 ± 26604	466.513 ± 26602	1248,0 ± 106,0
TUF29A	0,6215	3 ± 7	11,7 ± 4,2	1,01596 ± 0,00617	767.621 muito velha	767.618	102,8
TUF29B	0,6426	9 ± 7	14,4 ± 5,9	1,01900 ± 0,00665	704.061 muito velha	704.052	105,3
TUF 30A	0,2285	188 ± 20	363,3 ± 6,7	1,36545 ± 0,00944	284.963 ± 10209	284.857 ± 10202	812,7 ± 28,8
TUF 30B	0,6008	824 ± 8	283,4 ± 5,4	1,27301 ± 0,00808	288.737 ± 9743	288.150 ± 9701	640,0 ± 22,0
TUF 31A	0,5809	836 ± 8	272,3 ± 9,7	1,17222 ± 0,01072	225.273 ± 8579	223.154 ± 8489	511,7 ± 22,2
TUF 31B	0,8471	937 ± 6	276,7 ± 6,7	1,18257 ± 0,00906	228.442 ± 6783	226.608 ± 6743	525,0 ± 16,4

## 5. Conclusões e Sugestões

Os depósitos de tufas da serra das Araras apresentam-se, como já discutido, em dois principais grupos, tufas em formação ou neoformadas, e a formação Xaraiés. São dois grupos singulares, de idades bastante diferentes, separados por um longo hiato temporal, formados em condições distintas, e conformando morfotipos deposicionais próprios.

A distinção temporal é óbvia, já que as idades mais recentes obtidas para as rochas do primeiro grupo, estão limitadas em cerca de 100 mil anos, enquanto as rochas do segundo, ou estão em formação, ou quando mesmo já erodidas preservam características bem marcadas atestando sua contemporaneidade, tal como preservação de estruturas orgânicas no material rochoso.

Os litotipos de tufas neoformadas são tipos eminentemente fluviais formados pelo comportamento turbulento do fluxo ao longo dos cursos da água sobre a serra das Araras, resultando em pacotes sedimentares bastante finos, suavemente estratificados, e normalmente

limitados ao leito dos rios. Não se acredita na possibilidade que as tufas recém formadas ou em formação, representem uma nova fase deposicional no mesmo contexto em que ocorreram as fases deposicionais datadas referentes à formação Xaraiés.

As tufas da formação Xaraiés presentes na serra das Araras são carbonatos Quaternários bastante antigos (com idades superiores a 100 mil anos), formados em condições geológicas (no que se refere ao comportamento hidrogeológico), aparentemente diferentes das atuais.

A inter-relação entre as informações de campo, indicativas da origem da água para formação das tufas, e as informações de geocronologia não são muito precisas. É fato que as idades demonstram, aparentemente, um comportamento cíclico, indicando fases deposicionais sistemáticas a cada 100 mil anos aproximadamente, de  $\pm 600$  mil anos até  $\pm 100$  mil anos. Seria precoce afirmar que para as idades deposicionais obtidas houve um significativo aumento de precipitação, com conseqüente aumento de recarga dos aquíferos que permitiria a surgência das águas e conseqüente formação dos depósitos.

Parece não prudente estabelecer uma correlação entre as idades obtidas no depósito com interpretações de caráter paleoclimático, ainda que as idades atestem uma multiplicidade temporal na formação dos depósitos. Os dados disponíveis são poucos e não sustentam a idéia de que os períodos de formação das tufas estariam associadas a condições climáticas distintas, marcadas por maiores taxas de precipitação. Alterações no comportamento do sistema hidrogeológico sem dúvida parecem representar a causa principal na formação das tufas da formação Xaraiés.

Este estudo permitiu que as tufas da serra das Araras fossem melhor delimitadas através de um mapeamento mais preciso, caracterizadas em detalhe pelas interpretações de dados de campo, pela aplicação de análise químicas dos litotipos, e pelo estabelecimento da idade de um depósito geológico de destaque na região.

Seria importante em trabalhos futuros a integração das informações de outros depósitos semelhantes existentes no Pantanal, e a ampliação de dados geocronológicos para investigar a hipótese de uma significância regional para existência e formação das tufas calcárias localizadas especialmente nas áreas topograficamente elevadas e conectadas a planície pantaneira. Por outro lado também seria prudente a integração com dados de geofísica do Pantanal, tendo em vista a hipótese dos movimentos neotectônicos estarem contribuindo, ou terem sido o mecanismo que impulsionou a formação desses depósitos.

## 6. Referências

- Almeida, F. F. M. de.. Geologia do sudoeste mato-grossense. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, DNPM, Rio de Janeiro, v. 116, 118p, 1945.
- Boggiani, P. C.; Coimbra, A. M.; Gesicki, A. L.; Sial, A. N.; Ferreira, V. P.; Ribeiro, F. B.; Flexor, J. M.. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 1999. Publicado na Internet no endereço: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio034/sitio034.htm>>.
- Brasil. **Carta Topográfica – Serra da Palmeira**, escala 1:100.000. Ministério do Exército/DSG, 1975.
- Brasil. **Carta Topográfica – Serra da Campina**, escala 1:100.000. Ministério do Exército/DSG, 1975.
- INPE. **CBERS China-Brazil Earth Resources Satellite**. São José dos Campos, INPE, 1995.
- Luz, J. da S.; Oliveira, A. M.; Lemos, D. B.; Argolo, J. L.; Souza, N. B.; Abreu Filho, W. **Projeto Província Serrana**. Goiânia, DNPM/CPRM. v. 1, 105 p, 1978.
- Richards, D.; Dorale, J. Uranium-series Chronology and Environmental Applications of Speleothems. **Mineralogy and Geochemistry**, v.52, p. 407-460, 2003.
- Shen, C.; Edwards, R.; Cheng, H.; Dorale, J.; Thomas, R.; Moran, S.; Weinstein, S.; Edmonds, H. Uranium and thorium isotopic and concentrations measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. **Chemical Geology**, n. 185, p. 165-178, 2002.