

Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Geografia

Daniel Corrêa

**CARACTERIZAÇÃO, CRONOLOGIA E GÊNESE  
DAS TUFAS DA SERRA DAS ARARAS -  
MATO GROSSO**

Minas Gerais – Brasil

Julho de 2006

Daniel Corrêa

**CARACTERIZAÇÃO, CRONOLOGIA E GÊNESE  
DAS TUFAS DA SERRA DAS ARARAS -  
MATO GROSSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Philippe Maillard.

Co-Orientador: Dr. Augusto Sarreiro Auler

Belo Horizonte

Departamento de Geografia da UFMG

2006

Daniel Corrêa

CARACTERIZAÇÃO, CRONOLOGIA E GÊNESE DAS TUFAS DA SERRA DAS  
ARARAS - MATO GROSSO.

Dissertação defendida e aprovada, em 10 de julho de 2006, pela Banca Examinadora  
constituída pelos doutores e professores:

Banca Examinadora

---

Dr. Augusto Sarreiro Auler

---

Dr. Luis Beethoven Piló

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira

---

Prof. Dr. Philippe Maillard

Belo Horizonte, 10 de julho de 2006.

## Agradecimentos

### Às Instituições:

Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG) onde foi possível realizar esta pós-graduação; Laboratório do Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade de Minnesota, Minneapolis – EUA, pela datação  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  por ICP/MS; Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC/UFMG) pela disponibilidade de veículo de campo, utilização de laboratórios e realização da Fluorescência de Raios X; à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado a mim concedida; Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis de Mato Grosso (IBAMA/MT) pela autorização de entrada e uso das dependências da Estação Ecológica Serra das Araras (EESA); Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, por meio do seu Centro de Cartografia Automatizada (DSG/CECAUEX), pelo fornecimento das cartas topográficas 1:100000; Bibliotecas da CPRM em Belo Horizonte e Goiânia pela disponibilidade das fotografias aéreas e outros materiais.

### Às Pessoas:

Professora Vilma Macagnam (IGC/UFMG) pelo termo de aceite e entrada no Programa de Pós-graduação; Geólogo e amigo Augusto Auler pela orientação e confiança no desenvolvimento do trabalho; Professor Phillippe Maillard pela amizade e apoio neste Programa de Pós-graduação; Senhor José Guilherme Aires, chefe do CECAV/MT, pelo conhecimento preliminar fundamental da área de estudo, pelo apoio em Cuiabá e pelos ensinamentos sobre as terras de Mato Grosso; Geólogo Roberto Cassimiro (o Zé) pelo apoio integral, físico e intelectual, em três árduas empreitadas de campo; aos amigos de pós-graduação, Geógrafos Luis Otávio Martins Cruz e Cláudio Gregório, pelas conversas, incentivos, e discussões sobre as tufas da Serra das Araras; Senhor Vanílio Marques, chefe da EESA, pelo pronto atendimento à solicitação por mim feita; Proprietários de terras da região que sempre permitiram meu acesso e livre trânsito, em especial ao Sr. Salim Zugair, proprietário da fazenda Morro do Meio; Geógrafa Marília Ferreira Gomes pelo incentivo, e apoio em minha trajetória na academia; Minha família sempre ao meu lado e me apoiando; 1059 meu companheiro fiel de todos os campos, com o qual conversava muito nas viagens



solitárias pelo grande Mato Grosso; Isabel Mascarenhas pelo apoio pessoal neste último ano.

“A vida é uma pedra de amolar:  
desgasta-nos ou afia-nos  
dependendo do metal que somos  
feitos”

George Bernard Shaw.

# Sumário

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Anexos .....</b>	<b>vi</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Objetivos .....	4
1.2 - Localização.....	4
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>7</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>7</b>
2.1 - Revisão Bibliográfica.....	7
2.2 - Trabalho de Campo .....	8
2.3 - Trabalhos de Gabinete e Laboratório .....	10
2.3.1 Cartografia: Topografia e Geologia.....	10
2.3.2 Análises Laboratoriais .....	10
Datação .....	10
Análises Litológicas .....	12
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>13</b>
<b>REVISÃO DO TEMA .....</b>	<b>13</b>
3.1 - Tufa: Definição e Aplicações.....	13
3.2 - Terminologia .....	15
3.3 - Mecanismos e modelos para formação das tufas .....	16
3.4 - Depósitos de tufas no Brasil.....	19
3.5 - Aspectos Geocronológicos .....	22
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>25</b>
<b>FISIOGRAFIA REGIONAL.....</b>	<b>25</b>
4.1 - Geologia e Geomorfologia .....	25
4.1.1 Estratigrafia e Litologia.....	25

4.1.2 Geologia Estrutural.....	29
4.1.3 Geomorfologia.....	30
4.2 - Clima .....	31
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>33</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS DE TUFAS DA SERRA DAS ARARAS. 33</b>	
5.1 - O contexto geológico do depósito.....	33
5.2 - Os depósitos tufáceos da serra das Araras .....	35
(a) Tufas em Formação.....	36
(b) Depósitos Fósseis – Formação Xaraiés .....	42
Variedade Faciológica dos Depósitos.....	45
5.3 - Carstificação.....	47
5.4 - A questão da terminologia estratigráfica da Formação Xaraiés.....	51
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>55</b>
<b>RESULTADO DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO .....</b>	<b>55</b>
6.1 - Fluorescência de Raios-X.....	55
6.2 - Datação U/Th das tufas da Serra das Araras .....	59
<b>Capítulo 7 .....</b>	<b>65</b>
<b>GÊNESE DAS TUFAS DA SERRA DAS ARARAS.....</b>	<b>65</b>
7.1 - Tufas recém formadas ou em formação .....	65
7.2 - Formação Xaraiés.....	67
<b>Capítulo 8 .....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>Capítulo 9 .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 – Contexto morfoestrutural do sudoeste mato-grossense. Em destaque a área de estudo. Adaptado de Almeida (1964). .....	1
Figura 2 – Localização da área de estudo e articulação das cartas topográficas 1:100.000, BRASIL (1975). .....	5
Figura 3 - Esquema comparativo entre tufa e outros carbonatos continentais de água doce. (Adaptado de Pentecost e Viles, 1994). .....	14
Figura 4 - Ambiente de sedimentação das tufas (Carthew <i>et al.</i> , 2003). .....	18
Figura 5 - Distribuição dos principais depósitos de tufa no Brasil. ....	21
Figura 6 (Acima) – Perfil geológico transversal à área de estudo. Modificado de Luz <i>et al.</i> (1978). .....	28
Figura 7 (Esquerda) – Coluna estratigráfica do sudoeste de Mato Grosso (Luz <i>et al.</i> , 1978). .....	28
Figura 8 - Faixa Paraguai e as coberturas cratônicas adjacentes. Em destaque a área de estudo (Alvarenga e Trompette, 1993). .....	30
Figura 9 – Indicadores climáticos da estação de Cuiabá, referentes ao período 1961-1990. ....	31
Figura 10 – A escarpa em primeiro plano é formada pelo depósito de tufas da Formação Xaraiés. O comportamento linear demonstrado pela escarpa e os topos alinhados vistos nesta secção (vista para o Morro do Veado) ocorrem ao longo de toda Serra das Araras. Foto: Daniel Corrêa, 2005. ....	35
Figura 11 – Leito do Córrego Caninana onde se observa ao menos dois morfotipos deposicionais das tufas em drenagem: em primeiro plano, as barragens de tufas, em segundo plano a morfologia do tipo cascata. Foto: Marília F. Gomes, 2004. ....	37
Figura 12 – Exemplo raro de tufas em formação ocorrendo em vertente na Serra das Araras, próximo à subida do local denominado de Mata Cachorro. Foi identificada em porção ligeiramente menos escarpada da serra e demonstrou estar associada a um evento pluvial quando da visita (início de abril de 2005). Foto: Daniel Corrêa, 2005. ....	37
Figura 13 – Nas terras baixas da Depressão Cuiabana exemplo único de formação de tufas em áreas afastada, cerca de 1 km, da escarpa da serra das Araras. As tufas são observadas no leito da drenagem. Foto: Augusto Auler, 2005. ....	38
Figura 14 – Fragmento de tufa de depósito jovem já erodido às margens do Córrego Caninana, já na Depressão Cuiabana. Observem a estrutura concêntrica recobrando o tronco da árvore. Percebe-se a deposição de diversas camadas distintas de carbonato em um processo de formação acelerado – o tronco preserva ainda suas características orgânicas. Foto: Daniel Corrêa, 2004. ....	39

- Figura 15 – É comum devido à abrupta transição representada pela escarpa de falha a ocorrência de uma série de cachoeiras. Nesse ambiente é muito freqüente a formação de tufas, que ocorrem de modo bastante acelerado, com envolvimento de folhas no perfil da queda. Foto: Marília F. Gomes, 2004..... 40
- Figura 16 – Fragmento retirado de um depósito de tufas neoformado na margem de leito fluvial, onde é possível observar a diversidade de materiais que compõem esta rocha. Na foto são identificadas estruturas de plantas e algumas carcaças de molusco, as quais foram envoltas por uma massa carbonática associada a grandes parcelas de material detrítico. Foto: Daniel Corrêa, 2004. .... 41
- Figura 17 – Vista do depósito na altura do morro da Sauna. O comportamento “encachoeirado” observado pelas camadas verticais sobre a escarpa – verdadeiros espeleotemas pendentes – é o principal componente direcional identificado. Foto: Daniel Corrêa, 2005. .... 44
- Figura 18 – Na parte basal do depósito de tufas, a rocha apresenta um aspecto maciço com frequentes incrustações de seixos, e presença de minerais de calcita. Assemelha-se muito ao tipo 4 definido por Almeida (1945) em Corumbá (MS). Foto: Augusto Auler, 2005.... 45
- Figura 19 – Exemplo de tufa rica em material fóssil, extremamente friável composta por grande parcela de material detrítico. Foto: Daniel Corrêa, 2004..... 46
- Figura 20 – Vista da entrada de uma caverna desenvolvida nas tufas na escarpa do Morro da Sauna. Cavidades de pequenas dimensões são muito comuns no depósito. Foto: Augusto Auler, 2005. .... 47
- Figura 21 – Mapa de uma caverna desenvolvida em tufas na serra das Araras. Fonte: Geoklock, 2001..... 48
- Figura 22 – Abrigo formado dentro do depósito tufáceo próximo de Mata Cachorro, exibindo variedade de estalactites e cortinas. Resulta de um processo de evolução do depósito. Foto: Daniel Corrêa, 2005..... 49
- Figura 23 – Caverna desenvolvida a partir das fraturas no calcário, parcialmente entupidas por tufas. Fonte: Geoklock, 2001. .... 50
- Figura 24 – Escadaria do porto de Corumbá (MS) com vista à secção dos folhelhos da Formação Tamengo, parcialmente substituídos por carbonatos quaternários. Foto: Augusto Auler, 2005. .... 52
- Figura 25 – A mesma cachoeira da figura 15 vista de longe. A foto é do período de chuvas onde a taxa de precipitação é bastante elevada com resposta de aumento de vazão muito rápido das drenagens. O que se observa em campo nesse período é uma intensa atividade erosiva. Foto: Daniel Corrêa, 2005..... 66
- Figura 26 – Modelo genético para deposição da Formação Xaraiés na Serra das Araras... 70

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Relação entre os ambientes de sedimentação das tufas e a possibilidade de datação por meio da série do Urânio (Garnett <i>et al.</i> , 2004).....	23
Tabela 2 – Comparativo entre as tufas da Serra das Araras. ....	36
Tabela 3 – Contextualização das amostras submetidas à análise por FRX. ....	55
Tabela 4 – Fluorescência de Raios X para elementos maiores e perda ao fogo para amostras de tufas da serra das Araras - dados percentuais (%). ....	58
Tabela 5 - Composição isotópica do Urânio e Tório e idades obtidas para amostras de tufas da serra das Araras, através do ICP/MS. ....	60
Tabela 6 - Sítios e características amostrais. ....	61
Tabela 7 - Distribuição decrescente das idades obtidas correlacionadas à altitude aproximada das amostras.....	63

## **Lista de Anexos**

Anexo I: Mapa 01 – Carta Topográfica e Pontos de Campo.

Anexo II: Mapa 02 – Geologia da Área Investigada e Localização das Amostras Datadas.

Anexo III: Modelo da Ficha de Campo Utilizada.



## Resumo

As tufas calcárias são depósitos carbonáticos secundários freqüentemente encontrados nas zonas exocársticas. São litotipos de grande diversidade faciológica, com níveis variados de dureza, porosidade, quantidade de matéria orgânica, e sem coloração determinante. Depósitos deste tipo são geralmente bastante limitados do ponto de vista areal e as ocorrências normalmente estão associadas com zonas de circulação de água saturada em bicarbonatos; quer no próprio ambiente fluvial, configurando depósitos em barragens e cachoeiras principalmente; quer em vertentes, localizados pontualmente em zonas de descarga de água subterrânea. Depósitos de grandes dimensões areais são extremamente raros, especialmente quando em contextos deposicionais de vertente.

Nessa medida desperta interesse os depósitos tufáceos da Serra das Araras mato-grossense, localizados na face oriental da Província Serrana de Mato Grosso, na região do município de Cáceres (MT). Sobre a escarpa estrutural da Serra das Araras (condicionada pela falha homônima), localizada no extremo sul da Província Serrana ocorrem depósitos tufáceos fósseis de grande extensão e volume, genericamente identificados como Formação Xaraiés. Em uma extensão e largura mínimas de 30 km e 0,8 km respectivamente, com no mínimo 20 m de espessura identifica-se um imenso depósito tufáceo, de grande diversidade deposicional, faciológica, e provavelmente de grande expressão temporal. Além disso, são reconhecidos na área depósitos de tufas fluviais, visivelmente recentes e ainda ativos, ocorrentes na maioria dos cursos de água que drenam essa área.

A Formação Xaraiés é um depósito fóssil onde o processo de sedimentação das tufas calcárias parece ter cessado há algum tempo, provavelmente em período anterior ao Holoceno. Esta formação encontra-se estratigraficamente abaixo da Formação Pantanal, a qual é interpretada como uma unidade essencialmente holocênica em suas camadas superiores, o que serve de indício para reforçar o caráter fóssil das tufas Xaraiés. Além disso, é nítido na paisagem que este depósito vem sendo submetido a um intenso processo de desgaste intempérico.

A relação estratigráfica das tufas Xaraiés com as outras 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.

As observações de campo 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: inexistem tufas Xaraiés sobre os calcários dolomíticos e a porção proximal dos depósitos coincide com o limite entre as duas litologias Cambrianas.

A datação pelo método do  $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$  por ICP/MS aplicada em 11 pares amostrais de tufas apontam na direção de uma deposição multifásica, ocorrente em grande parte do Pleistoceno Médio e principalmente Superior. Apesar da limitação amostral, não foram identificadas amostras com idades inferiores a 100 ka o que poderia indicar para a interrupção do processo de deposição da Formação Xaraiés.

Os depósitos tufáeos da Serra das Araras representam de maneira inequívoca o maior depósito contínuo deste tipo existente no Brasil. É fundamental, portanto, a ampliação do acervo de dados cronológicos na área, bem como a utilização de outros registros *proxy* para possíveis interpretações de gênese paleoclimática, assim como melhor identificação da geologia estrutural no local, certamente forte condicionante em relação à deposição da Formação Xaraiés, e que provavelmente influenciou a configuração geológica e geomorfológica regional, e em especial da Formação Pantanal e unidades limitantes.

## **Abstract**

Calcareous tufas are secondary deposits frequently found in carbonate areas. Tufas are lithotypes, with high faciologic diversity, varying degrees of hardness, porosity, organic content and color. These types of deposits are generally limited in their areal extent, and their occurrence is usually associated with zones of bicarbonate-rich water circulation. Tufa deposits are found at fluvial environments as dams and waterfall deposits or as smaller point-source zones of groundwater discharge. Large tufa deposits are extremely rare, especially in slope environments.

The outstanding Serra das Araras tufa deposits at the eastern face of the Província Serrana near the town of Cáceres (Mato Grosso state) are unique. A very large tufa deposit known as the Xaraiés Formation occurs in the southernmost portion of Serra das Araras Province, marked by a strong structural control by the homonymous fault. At 30 km in length and in average 0.8 km wide with a minimum thickness of 20 m, this vast tufa deposit has a large depositional and faciologic diversity and was possibly deposited over a long time span. Furthermore, the same area also contain active tufa deposits along the major drainage.

The Xaraiés Formation is a fossil deposit in which the tufa sedimentation likely ceased prior to the Holocene. This formation is stratigraphically located below the Pantanal Formation interpreted as being essentially of Holocene age in the upper layers, supporting the fossil character of the Xaraiés' tufas. In addition, the deposit has clearly undergone intense weathering processes.

The stratigraphic relationship between the Xaraiés' tufas and surrounding lithologies unities was strongly influenced by the Araras fault. The limestone tufas are located above the calcitic limestone (a lower member of the Araras Formation), over Puga's paraconglomerate and above the metasediment of Cuiabá's Group as an erosive angular unconformity. These unities are partially covered by the Pantanal Formation and other Holocene deposits.

The genesis of the deposit is interpreted as being due to groundwater discharge associated with paleosprings at the fault zone. Drainage towards the spring is favored by the syncline structure of the carbonate, which helps focusing the discharge of bicarbonate-rich water in a continuous output zone associated with the contact between the lower (calcitic) and upper (dolomitic) members of the Araras formation. This is supported by the absence of Xaraiés' tufas over the dolomitic limestone and the coincidence of the limit of the deposit with the contact zone.

ICP-MS U-series dating of eleven coeval tufa samples indicate an asynchronous deposit ranging from the Medium to Upper Pleistocene. No samples yielded ages younger than 100 kyr, suggesting an interruption of the depositional process of the Xaraiés Formation.

The Serra das Araras tufa deposit clearly represent the most continuous deposit of its kind in Brazil. As such, it is critical to both maximize the amount of chronological data collected from this area and use other *proxy* records for possible paleoclimatology interpretation. It is also important to improve the knowledge on the local structural geology, which appears to have played an important role on the deposition of the Xaraiés Formation, having major implications to regional geology and geomorphology, in particular related to the Pantanal Formation and associated units.

# Capítulo 1

## APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Província Serrana (Almeida, 1964) localizada na porção sudoeste do estado de Mato Grosso é a unidade morfoestrutural que mais se destaca na paisagem. Consiste em um alinhamento estrutural com mais de 300 km de extensão desde o Pantanal, ao sul, até o Planalto dos Parecis, a norte. Nessa unidade morfológica, um espesso pacote de rochas sedimentares foi amplamente dobrado e falhado. As altitudes podem superar os 1000 m, e o contato com as unidades limítrofes do Pantanal, da Depressão Cuiabana e do Rio Paraguai se dá, prioritariamente, na forma de escarpas (Figura 01).



Figura 1 – Contexto morfoestrutural do sudoeste mato-grossense. Em destaque a área de estudo. Adaptado de Almeida (1964).

Este trabalho tem como foco principal uma dessas escarpas, regionalmente denominada de Serra das Araras, localizada na borda sudeste da Província Serrana, marcando a transição desta com a Depressão Cuiabana e o Pantanal, inserida integralmente nos limites dos municípios de Cáceres, Poconé e Porto Estrela (MT).

Em pelo menos 30 km de extensão, sobre a escarpa da Serra das Araras, ocorre um depósito de tufas calcárias de dimensões atípicas e de grande complexidade estratigráfica. As informações existentes de outros depósitos tufáceos no Brasil e no exterior indicam ser este o maior depósito deste litotipo já descrito no Brasil, e provavelmente um dos maiores em extensão areal no mundo, apresentando uma morfologia complexa e intrigante.

Coube a Almeida (1964) o primeiro e, até o presente, único trabalho de identificação e caracterização desse depósito tufáceo, o qual descreveu sob a denominação de Formação Xaraiés, correlacionando-o a depósitos semelhantes existentes no Pantanal sul, no município de Corumbá (MS), conforme Almeida (1945).

Tufas são carbonatos secundários depositados em condições subaéreas, oriundos da ação meteórica da água sobre a rocha carbonática. Por ser formada em superfície essa rocha freqüentemente é composta por uma diversidade de outros materiais não carbonáticos, tais como argilo-minerais, fragmentos de quartzo, além de materiais de origem orgânica. No entanto, análises químicas das tufas têm demonstrado que a parcela carbonática do material é, via de regra, superior a 50%, ocorrendo freqüentemente em níveis muito elevados, podendo representar em alguns casos, quase a totalidade da rocha (Almeida, 1945; Szabo, 1988; Ribeiro *et al.*, 2001).

Depósitos de tufas ocorrem de modo restrito em todo mundo, sob forma de depósitos antigos (inativos) e em formação. Os depósitos mais estudados e destacados na literatura são aqueles do sudoeste americano (Szabo, 1988), Egito (Szabo *et al.*, 1989), Espanha, Itália (Pentecost e Viles, 1994; Ford e Pedley, 1996), além daqueles do centro norte da Austrália (Drysdale e Head, 1994; Carthew *et al.*, 2003). No Brasil são identificados ao menos nove principais depósitos, os quais serão descritos a frente.

Estudos paleobotânicos e arqueológicos muito têm se utilizado das tufas como fonte de informações, justamente em função da característica da rocha de envolver e preservar os materiais da superfície. Ao longo das últimas duas décadas uma série de pesquisadores têm se dedicado também a datar por métodos absolutos os depósitos de tufas, que a princípio possuem o potencial para estabelecer uma cronologia paleoambiental/climática de uma região, sem contar a obtenção da idade de um depósito geológico, e de eventuais processos geomorfológicos associados (Schwarcz, 1990; Latham e Schwarcz, 1992).

Os trabalhos até então desenvolvidos dedicaram-se prioritariamente à utilização das tufas como balizadores cronológicos, através de dados radiométricos e isotópicos, e como indicadores das mudanças ambientais/climáticas ao longo do Quaternário. De modo menos pronunciado procuraram também reunir as características desse material e compreender sua gênese.

No caso das tufas da Serra das Araras as poucas informações disponíveis devem-se, principalmente ao trabalho de Almeida (1964), onde é feita uma caracterização expedita do material e discutida sua gênese de forma preliminar.

Este autor chamou a atenção para semelhança com os depósitos do Pantanal sul, tanto que englobou as tufas da Serra das Araras sob a mesma denominação estratigráfica, reconheceu em escala ampla as relações de contato geológico e topográfico estabelecidas pelo depósito, descreveu algumas características macroscópicas do material, reconheceu a importância dessas tufas em estudos paleoambientais, e mais além definiu a origem da água carbonatada responsável pela formação das tufas, como sendo, supostamente, o espesso pacote de dolomitos da Serra das Araras.

É certo que essa, a principal referência das tufas da Serra da Araras carece de outras informações. A caracterização feita por Almeida foi pautada pela observação em uma única seção de campo, conforme ressaltado pelo próprio autor, o que veio a limitar a identificação, caracterização e a elaboração de uma hipótese que explicasse a gênese e evolução desse depósito.

Os autores que descreveram posteriormente as tufas da Serra das Araras reproduziram de forma sistemática as conclusões feitas por Almeida (1964), como Ribeiro Filho *et al.* (1975), Luz *et al.* (1978), Barros *et al.* (1982) e Trindade *et al.* (1997), o que não permitiu uma continuidade no processo de entendimento desse depósito.

Entende-se que as informações hoje existentes sobre essas tufas são escassas, considerando sua notável extensão areal e volume, e que novos estudos de caracterização são necessários para compreender a gênese do material e os mecanismos envolvidos na sua formação e evolução. Além disso, a utilização do termo estratigráfico “Formação Xaraiés”, tal como aplicado aos depósitos tufáceos da região de Corumbá (MS), suscita dúvidas e deve ser melhor investigada.

A principal característica que chama atenção nesse depósito e que reforça a necessidade de estudos é a extensão na qual ocorre. É incomum a existência de depósitos de tufas tão extensos e contínuos como os da Serra das Araras. Segundo Ford e Pedley

(1996) a deposição das tufas é extremamente localizada, ocorrendo especialmente em sítios de cachoeiras e nascentes.

Tendo em vista a dificuldade de se obter idades absolutas em superfícies de ambiente tropical, e a carência de dados cronológicos nessa região do Mato Grosso, as tufas da Serra das Araras parecem representar, também, uma excelente oportunidade de se datar, por métodos isotópicos, a idade de um depósito sedimentar extremamente representativo da história geológica recente nessa região. As idades obtidas pretendem subsidiar uma reconstrução cronológica dos eventos de deposição/erosão das tufas, que poderão ser úteis para futuras interpretações geomórficas e paleoclimáticas.

## ***1.1 - Objetivos***

Estabelece-se como objetivo principal deste trabalho caracterizar os depósitos de tufas, ocorrentes na face leste da Serra das Araras, e compreender sua gênese. A caracterização abrange a definição da área e do limite do depósito, a sua estratigrafia interna e, no contexto da geologia na qual está inserida, a discriminação faciológica dos litotipos e os processos atuantes sobre o depósito.

Além disso, têm-se como outros objetivos:

Determinação de uma cronologia absoluta para as tufas com base na série do urânio  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ . A utilização desta técnica geocronológica nas tufas da Serra das Araras é importante primeiro, porque investiga sua aplicabilidade a estes depósitos. As datações também irão permitir a obtenção da idade de um depósito geológico, em uma região carente de dados geocronológicos, em especial dados do Quaternário, podendo por fim, vir a representar uma fonte de informações no entendimento da evolução desse depósito.

O presente trabalho também busca comparar esse depósito com as ocorrências amplamente descritas na porção sul do Pantanal, notadamente na região de Corumbá e da Serra da Bodoquena, MS.

## ***1.2 - Localização***

A área em estudo localiza-se na porção sudoeste do estado de Mato Grosso, parcialmente inserida nos municípios de Cáceres, Poconé e Porto Estrela. Corresponde a



uma área irregular medindo em torno de 930km<sup>2</sup>, contida entre os paralelos 15°45` e 16°05` S e os meridianos 57°00` e 57°20` W (Figura 2).

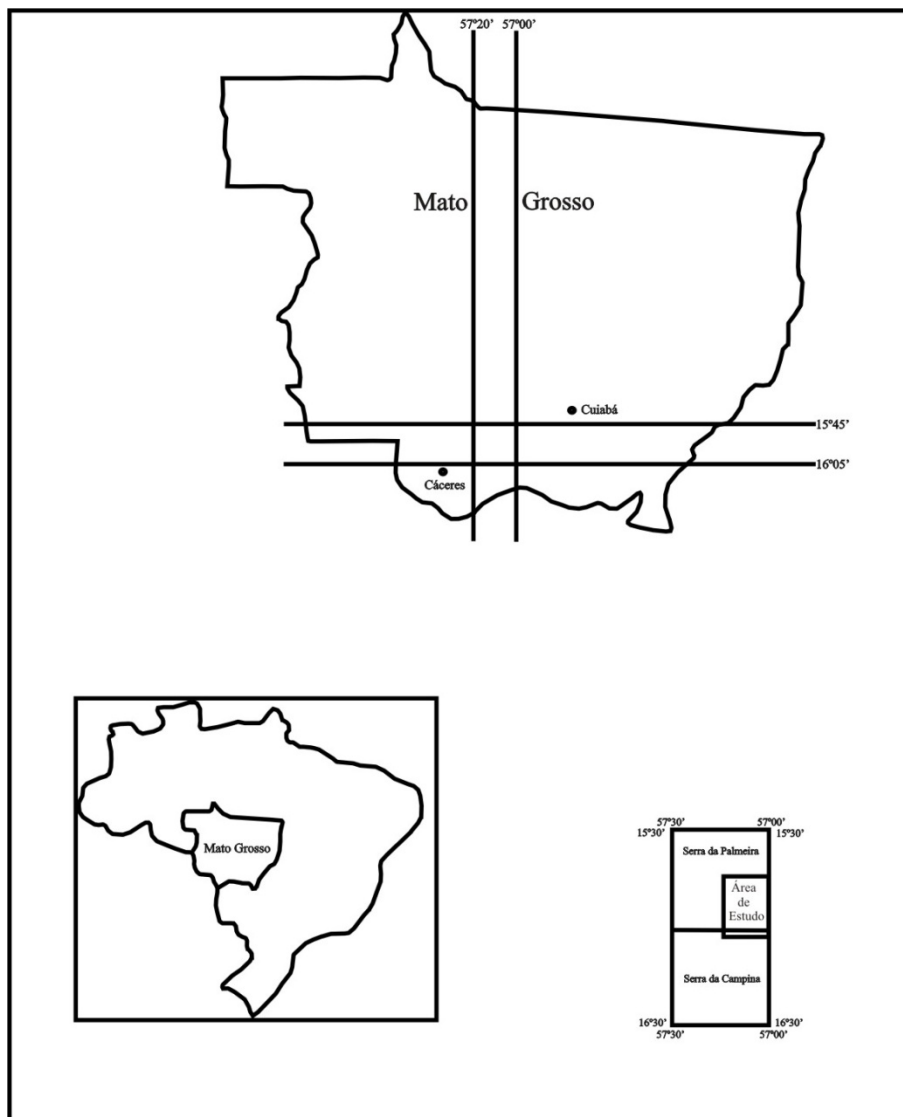


Figura 2 – Localização da área de estudo e articulação das cartas topográficas 1:100.000, BRASIL (1975).

Trata-se de uma região marcada por profunda transição topográfica entre as áreas rebaixadas da baixada cuiabana e do Pantanal, onde a média altimétrica está entorno de 120m e as máximas quase nunca superam os 200 m, e a Serra das Araras, uma das várias Serras que compõem a denominada Província Serrana onde as altitudes podem superar os 900 m (Mapa 1).

A Serra das Araras está localizada no limite sudeste da Província Serrana, e constitui-se em um alinhamento estrutural com cerca de 60 km de comprimento com direção predominantemente SW/NE, compartimentada em diversas seções que recebem

nomes locais. As mais destacadas destas subunidades, nesse trabalho, são o Morro do Meio, o Morro da Sauna, e o Morro do Veado (Mapa 1).

A área em estudo encontra-se completamente inserida na bacia do Alto Paraguai. O córrego Sangradouro é a principal via de escoamento da drenagem nessa porção leste da bacia do Alto Paraguai, captando águas de todos os pequenos tributários que fluem da Serrania, entre eles os córregos Caninana, Sangradourozinho, Salina, e Boi Branco, todos de margem direita. O escoamento da drenagem nas terras mais baixas torna-se difuso, ficando freqüentemente retido em pequenas baías e lagoas.

## Capítulo 2

### METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é padrão e recorrente em estudos semelhantes em Geociências, tendo sido estruturada em pelo menos três grandes etapas, assim definida: (1) Revisão bibliográfica; (2) Trabalho de campo; (3) Trabalho de gabinete e laboratório.

#### *2.1 - Revisão Bibliográfica*

A primeira parte dessa dissertação é fruto de uma revisão bibliográfica ampla, que buscou reunir grande parte dos trabalhos disponíveis, nos quais as tufas calcárias fossem objeto de estudo. Constitui-se em uma revisão detalhada dos depósitos de tufas no mundo e no Brasil, procurando trazer à tona informações básicas deste litotipo, tais como definição, formação, distribuição geográfica, características petrográficas e sedimentares, além de sua utilização como registro sedimentar com enfoque à reconstituição de ambientes, sobretudo do Quaternário.

Foi possível, então, angariar importantes dados acerca do enfoque relacionado com a análise das tufas, as técnicas empregadas, e os problemas derivados da análise dessas rochas.

Em seguida buscou-se obter informações mínimas a respeito das características físicas da região de estudo, tais como geologia, clima e geomorfologia da porção sudoeste do estado de Mato Grosso. Na verdade a revisão da bibliografia, sobretudo geológica, extrapolou em muito a área de estudo, propriamente dita. Mas isso se deu por se suspeitar que a formação das tufas é devida, em parte, a fatores de caráter regional apesar da distribuição espacialmente restrita na qual se apresentam os depósitos. Além do mais o sudoeste matogrossense é uma região já bastante conhecida em termos de estudos geológicos, o que vem a tornar mais fácil e mais eficiente sua caracterização regional.

Deu-se grande enfoque a geologia nesse trabalho já que o objeto maior é o estudo de um depósito sedimentar, buscando caracterizá-lo e compreender sua gênese, e desse modo o contexto geológico no qual foi formado. Assim sendo a identificação das características petrográficas e sedimentares são de suma importância.

Outras informações buscadas na literatura dizem respeito às técnicas normalmente empregadas em análises das tufas, relacionadas aos procedimentos de amostragem, a determinação de relações estratigráficas, significado dos aspectos morfológicos dos depósitos, identificações petrográficas, aspectos mineralógicos, além dos procedimentos e análise de dados geocronológicos.

## ***2.2 - Trabalho de Campo***

Com base no Projeto Província Serrana foi possível delimitar a área de estudo. Este projeto consistiu em um mapeamento geológico da área homônima na escala 1:50.000, resultando em 35 mapas geológicos. Dentre estes, as folhas SD.21-Y-D-VI-4, SD.21-Y-D-VI-3 e SE.21-V-B-III-I, ocupando a porção leste meridional da Província, foram definidas como área de trabalho para essa dissertação, por serem as folhas que apresentam depósitos de tufas.

Dessa forma foram definidos os limites da área a ser investigada, os quais não correspondem integralmente aos limites dessas três cartas geológicas do Projeto Província Serrana, já que algumas partes foram suprimidas e outras extrapoladas, por não estarem contidas neste mapeamento já existente.

A área de ocorrência das tufas é bastante inferior àquela definida como área de estudo, no entanto, a ampliação da área de estudo fez-se necessária devido a necessidade de um conhecimento regional mais abrangente, e a fim de tornar mais homogênea a relação da faixa de ocorrência de tufas em relação às áreas circunvizinhas.

Apesar da delimitação da área de estudo, percorreu-se em campo, na tentativa de reconhecer novas ocorrências de tufas, uma área que extrapola estes limites. O interior da Província Serrana e sua face ocidental foram visitados sem que fosse, contudo, detectadas a presença de novas ocorrências.

Foram realizados cinco trabalhos de campo na região totalizando cerca de 40 dias de campo. Uma área com pouco mais de 900 km<sup>2</sup> foi investigada, em um total de cerca de 120 pontos amostrais (Mapa 1).

Todos os pontos visitados foram registrados através de coordenadas adquiridos por GPS, os quais foram lançados em mapa. A amostragem dos pontos consistiu na coleta de rochas, em especial das tufas, descrição local dos depósitos, e na interpretação estratigráfica da amostra em relação ao depósito na qual se inseria, além da relação dele

com as outras seqüências de rocha, seguindo um padrão definido por uma ficha de campo (Anexo III).

O caminhamento amostral na área de ocorrência das tufas foi feito por meio de transectos transversais ao depósito. Ao longo de 30 km de comprimento foram realizados cerca de seis perfis transversais, com 3 km de extensão em média, deslocando-se de altitudes médias de 150 m até 450 m.

Um caminhamento amostral ao longo de toda a faixa de ocorrência das tufas, nos cerca de 30 km, foi tentado. No entanto, as dificuldades associadas ao deslocamento e o conseqüente dispêndio de tempo e esforço, não permitiram a investigação em toda a faixa de ocorrência das tufas.

Percebeu-se desde a primeira campanha de campo que o mapeamento das tufas executado pela CPRM, no Projeto Província Serrana, apresentava problemas de dimensão, extensão e forma. Dessa maneira procurou-se adquirir em campo pontos de controle em GPS, que permitissem o mapeamento mais preciso da unidade, além de contar com informações das fotos aéreas, em escala 1:60000, e imagens de satélite CBERS (INPE,2005).

A coleta de amostras para datação foi realizada em toda a extensão do depósito percorrido, tendo como base os seguintes princípios: as amostras deveriam ser preferencialmente livres de impurezas, ou seja, desprovidas de significativa impregnação por materiais detríticos; inalterada do ponto de vista físico-químico, logo sem sinais de redissolução e/ou recristalização do mineral; e preferencialmente sem estruturas vegetais. Desse modo optou-se em selecionar amostras com minerais aparentemente maciços e pouco porosos. Foram coletadas amostras tanto *in situ* como alóctones.

É muito comum a presença de precipitados resultantes da alteração das tufas, tendo sido freqüentemente encontrados e amostrados minerais diagenéticos, especialmente espeleotemas formados em pequenas cavidades no corpo do depósito. A datação desse tipo de material deve vir cercada de precauções já que provavelmente correspondem a idades posteriores ao depósito original, sendo o lapso de tempo decorrido de difícil determinação. No entanto, as idades deste material podem talvez apresentar uma significância regional, além de estabelecer idades mínimas para o depósito original de tufas.

A coleta das amostras para datação envolve uma sistemática de campo que venha a possibilitar uma maior chance de se coletar material apropriado à datação. Algumas informações básicas são necessárias para permitir e subsidiar as interpretações

cronológicas futuras, tais como: local de coleta, descrições qualitativas da amostra e relações estratigráficas no contexto geral da deposição.

O controle estratigráfico, ou seja, a relação de uma amostra com o depósito na qual ela se insere e a relação das diversas amostras em relação ao contexto global, mostrou-se extremamente difícil. Em vista disto foi estabelecido o critério altimétrico como o principal elemento de correlação entre as amostras, o que em muitos casos, pode não ser um bom critério. A altimetria só deve ser usada em comparações de amostras de locais diversos, quando se tem certeza da seqüência deposicional já que alto ou baixo são grandezas relativas que dependem de um referencial. E no caso desses depósitos de tufas o referencial seria a sucessão de empilhamento, que não se apresenta de forma clara em campo.

## ***2.3 - Trabalhos de Gabinete e Laboratório***

### **2.3.1 Cartografia: Topografia e Geologia**

Nesta etapa os esforços foram concentrados na sistematização dos documentos cartográficos, por meio da compilação dos mapas geológicos e das cartas topográficas, seguidas pela digitalização e vetorização.

A área de estudo encontra-se inserida nas cartas topográficas Serra da Palmeira e Serra da Campina, escala 1:100.000, pertencentes a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - BRASIL (1975), tendo sido digitalizadas através do programa *Microstation* servindo de base para os trabalhos desenvolvidos.

Os mapas geológicos, já citados, produzidos pela CPRM no Projeto Província Serrana, na escala 1:50.000 foram digitalizados para permitir integração com as cartas topográficas e modificações.

De posse de todo o acervo cartográfico já em modo digital de manipulação foi possível integrar informações diversas (topografia, geologia, hidrografia) e em diferentes escalas, que serviram de suporte para as atividades de campo, e para o mapeamento do depósito em estudo, bem como para a apresentação dos resultados obtidos.

### **2.3.2 Análises Laboratoriais**

#### **Datação**

As amostras coletadas dos depósitos tufáceos da Serra das Araras foram inicialmente transportados até o CPMT/UFMG onde foram previamente preparadas para envio ao laboratório de datação. Nessa primeira etapa laboratorial houve uma seleção mais criteriosa

das amostras levando-se em conta as características macroscópicas do material. As amostras foram cortadas em fragmentos menores (sub-amostras) que representassem seções mais cristalinas.

Foram enviadas, no mínimo, duas sub-amostras de uma mesma camada, denominadas de amostras *coevas*. Estas amostras, ao representarem porções distintas de uma mesma camada, devem apresentar razões isotópicas e idades estatisticamente iguais, caso contrário haveria indícios de alterações posteriores da amostra, e a idade obtida não seria significativa.

Cumprida essa etapa as amostras foram enviadas ao laboratório do Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade de Minnesota, em Minneapolis – EUA, onde foram datadas, através do método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  por ICP/MS. Foi enviado para datação um total de vinte pares de amostras *coevas*.

O instrumental técnico utilizado na datação dessas amostras tem como base a espectrometria de massa, especificamente a técnica denominada de *inductively coupled plasma mass spectrometry* ICP-MS (Shen *et al.*, 2002), denominado no Brasil de Espectrometria de Massa com plasma indutivamente acoplado. Segundo estes autores o ICP-MS apresenta erros de contagem estatística da ordem  $\pm 1\%$ .

O desenvolvimento dessas metodologias tem permitido cada vez mais uma redução no tamanho das amostras requeridas para datação o que, conseqüentemente, permite uma ampliação da resolução temporal dos resultados (Richards e Dorale, 2003).

Técnicas de correção a partir da contagem  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  também foram feitas a partir do ICP-MS (Shen *et al.*, 2002). Tanto maior será o erro quanto menor for a relação isotópica entre  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ . Isto porque o  $^{232}\text{Th}$  é um marcador que fornece a quantidade de  $^{230}\text{Th}$  não radiogênico presente na amostra. O Th não radiogênico deve, logicamente, ser descontado, pois caso contrário produzirá uma idade superior à idade real da amostra.

Além da correção de rotina em laboratório dois outros procedimentos são utilizados para verificar o grau de confiança das idades obtidas: (a) consistência estratigráfica; (b) concordância isotópica.

(a) Consistência estratigráfica: significa verificar se as idades determinadas são consistentes com a posição estratigráfica da amostra, em relação ao perfil vertical da própria amostra ou no contexto deposicional local do sítio amostrado, tal como definido em Richards e Dorale (2003).

(b) Concordância isotópica: é conseguida através da comparação das idades obtidas para diferentes sub-amostras de uma mesma camada (amostras *coevas*), ou seja, amostras

que representem um mesmo momento de deposição, e que, portanto devem apresentar estatisticamente a mesma idade. Isso serve para validar o resultado, já que idades análogas demonstram tanto a eficiência da técnica, quanto a condição inalterada da amostra pós-deposição. Seria improvável que, em condições de alteração isotópica, amostras de uma mesma camada resultassem em uma mesma idade.

### **Análises Litológicas**

O estudo petrográfico das tufas foi efetuado a partir de análises macro e microscópicas dessas rochas. Este estudo teve início em campo, onde as características visuais das rochas são discriminadas estabelecendo-se uma separação faciológica com base em parâmetros como: cor, dureza, porosidade, estruturas sedimentares e material fóssil. As amostras foram submetidas a análises químicas dos elementos maiores e perda ao fogo para verificar sua composição, por meio de Fluorescência de Raios X.

A seleção de amostras submetidas à fluorescência de raios-x obedeceu ao critério de variações macroscópicas, tentando-se verificar a existência de significativas diferenças químicas entre fácies identificadas em campo. Tanto amostras de litotipos pertencentes à Formação Xaraiés, como tufas em formação foram submetidos à análise por fluorescência de raios X.



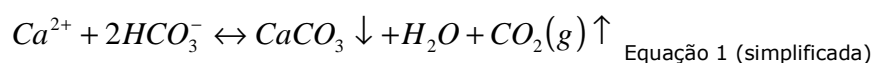
## Capítulo 3

### REVISÃO DO TEMA

#### 3.1 - Tufa: Definição e Aplicações

Tufa é uma rocha sedimentar resultante da precipitação de carbonato de cálcio em superfície, contendo, freqüentemente, os remanescentes de microfilos e macrofilos, invertebrados e bactérias (Ford e Pedley, 1996). É um material de estrutura e dureza variável apresentando-se ora muito friável, ora compacto, sendo formado em regiões de rochas carbonáticas. Os depósitos normalmente apresentam estruturas sedimentares caóticas e pouco homogêneas.

As tufas, assim como os espeleotemas e os travertinos, representam depósitos carbonáticos secundários (Figura 3). Resultam da interação da água ácida (presença de  $\text{CO}_2$ ) com a rocha carbonatada. Dois processos iniciais condicionam a formação dos carbonatos secundários: a dissolução e a precipitação e/ou evaporação. A água ácida em contato com a rocha conduz ao processo de dissolução e à formação de um composto solúvel de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – bicarbonato de cálcio, que passa a ser transportado em solução. A repetição desse processo conduz à saturação em bicarbonato de cálcio e conseqüente precipitação do mineral, freqüentemente calcita (equação 01). De acordo com Hill e Forti (1997) a calcita representa o principal mineral de depósitos secundários em regiões cársticas carbonáticas.



A formação dos depósitos de tufas depende do fornecimento de água e de elevados níveis de dióxido de carbono no solo, e deste modo os períodos úmidos e quentes tendem a ser associados com a deposição desse material (Latham e Schwarcz, 1992; Ford e Pedley, 1996). O conhecimento dessa assertiva tem permitido que as tufas sejam utilizadas como fonte de dados *proxy* em estudos paleoclimáticos. Assim a datação desse material tem possibilitado a identificação de épocas nas quais as condições climáticas deveriam ter sido necessariamente úmidas de modo a propiciar a formação dos depósitos (Szabo, 1988;

Drysdale e Head, 1994; Auler, 1999; Auler e Smart, 2001; Wang *et al.*, 2004; Auler *et al.*, 2004).

### Tufa versus outros carbonatos terrestres/água doce

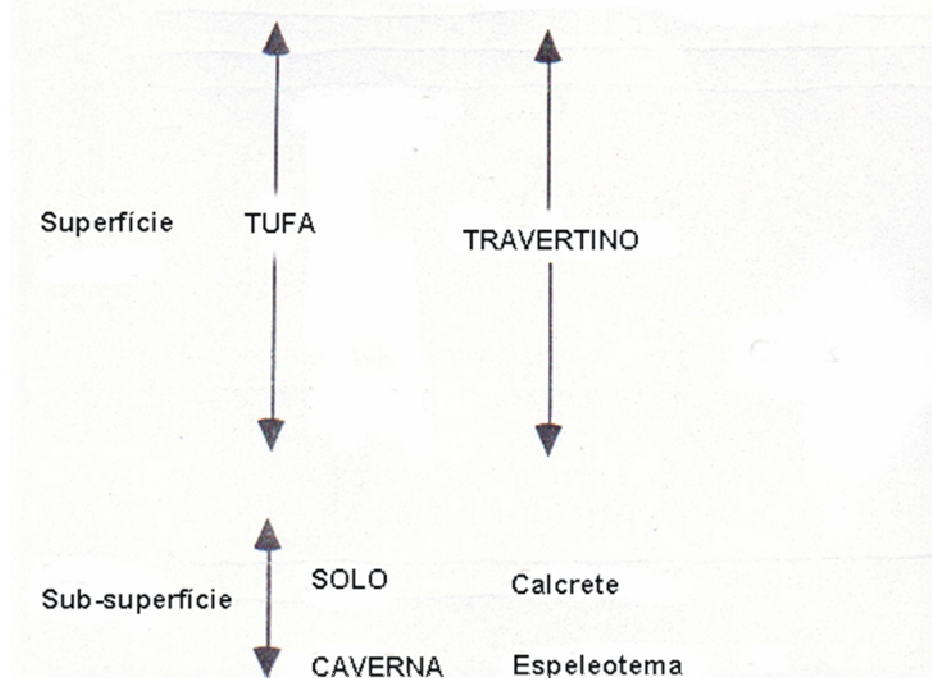


Figura 3 - Esquema comparativo entre tufa e outros carbonatos continentais de água doce. (Adaptado de Pentecost e Viles, 1994).

Além disso, as tufas são amplamente utilizadas em estudos paleobotânicos devido à freqüente preservação de espécimes de fauna e flora sobre as quais foram depositadas (Cristalli *et al.*, 2003; Petri *et al.*, 2003; Duarte e Nogueira, 1983).

Os mecanismos responsáveis pela deposição das tufas ou pela interrupção desse processo podem ser divididos em dois grupos: os de ordem climática, e os de natureza hidro(geo)lógica. Os trabalhos, de um modo geral, têm seguido uma linha climática para explicar as fases de formação dessa rocha. A outra linha de pensamento, muito pouco desenvolvida, mencionada de modo discreto nos trabalhos de Szabo (1988) e Latham e Schwarcz (1992), sugerem que alterações no comportamento do fluxo de água, especialmente condicionado por rearranjos do sistema de água subterrânea, seriam os responsáveis pela interrupção na formação das tufas.

Acredita-se que a ampliação de dados cronológicos dos depósitos seja uma forma de dirimir essa questão. O estabelecimento de idades consistentes para essas rochas, associada a informações de caráter estratigráfico, botânico e geomorfológico, tem conduzido os

pesquisadores a afirmar que alterações climáticas são os principais condicionantes na formação das tufas.

O critério da multiplicidade temporal dos depósitos tem sido o mais utilizado na defesa de uma causa climática para a formação dessas rochas. Esse critério diz respeito ao registro cronológico múltiplo para um mesmo depósito. Seria improvável que causas hidro(geo)lógicas que por ventura interrompessem a deposição de tufas em certo local, em dada época, fossem novamente alteradas retornando em outro momento, neste mesmo local, às mesmas condições permissivas à formação da rocha (Szabo, 1988).

### **3.2 - Terminologia**

Uma série de “confusões” de caráter ortográfico e petrográfico têm permeado a terminologia de tufas calcárias na literatura geológica dos últimos anos. A confusão deriva do emprego indiscriminado dos termos tufa, tufo, travertino, utilizados às vezes como sinônimos, ora não (Corrêa, 2004).

Buscando por fim à discussão terminológica é interessante a sugestão ortográfica de Ford e Pedley (1996) além das proposições conceituais de Pentecost e Viles (1994) para os diversos litotipos envolvidos nessa discussão. Segundo estes autores, o termo tufo refere-se exclusivamente aos depósitos derivados de projeções vulcânicas consolidadas; travertino - travertine por sua vez referindo-se aos depósitos de origem termal; enquanto tufa englobaria aqueles depósitos originados da ação meteórica da água em terrenos cársticos, seguidos por precipitação em superfície. É adequado que essas terminologias sejam utilizadas tanto em língua portuguesa, como inglesa.

Os dicionários especializados em geociências na língua portuguesa, tais como Guerra e Guerra (2001) e Suguio (1998) reconhecem os termos travertino – travertine, e tufo – tuff ou tufa como sendo sinônimos, referindo uma sutil diferença entre os dois com base na compactação do material. Ainda segundo estes autores “tufo” também poderia ser usado como depósitos vulcânicos: volcanic tuff. Na língua portuguesa o termo “travertino” também assume uma outra acepção, quando é utilizado para se referir aos depósitos espélicos sob a denominação de “represa de travertino”. Na língua inglesa “travertine” não se aplica aos depósitos de caverna, que recebem o nome de *rimstone dam*.

Mesmo tendo ciência que estes dicionários reconheçam o termo escrito em língua portuguesa como “tufo”, assim como Almeida (1945, 1964), optou-se, no entanto por utilizar a grafia inglesa “tufa”. Isso se deve principalmente ao fato de Boggiani *et al.*

(1999) utilizar-se dessa mesma grafia para se referir aos depósitos carbonáticos superficiais na região de Bonito (MS) e também por perceber que dessa maneira a confusão vocabular com os materiais piroclásticos (tufo vulcânico) se torna menor.

A grande diferença entre tufas e travertinos é de caráter geoquímico e tem como princípio a origem do dióxido de carbono transportado pela água, e secundariamente a temperatura da água envolvida no processo. As tufas têm o CO<sub>2</sub> originado no solo e na faixa subaérea, sendo formados principalmente em áreas calcárias. As águas envolvidas no processo de formação estão próximas da temperatura ambiente.

Os travertinos, por sua vez, têm o dióxido de carbono originado em condições hipogênicas, o que confere ao fluido uma riqueza de CO<sub>2</sub>, aumentando a capacidade de dissolução dos carbonatos. A formação dos travertinos está ligada às áreas de recente atividade vulcânica. Fluidos ricos em CO<sub>2</sub> em contato direto com a rocha e posteriormente, quando da chegada à superfície, sofrem uma rápida desgaseificação e um rápido resfriamento contribuindo para uma maior precipitação. Os travertinos normalmente não exibem marcas de atividade biológica como as tufas, devido muitas vezes, a presença de substâncias inibidoras comuns em ambientes vulcânicos (Pentecost e Viles, 1994).

### ***3.3 - Mecanismos e modelos para formação das tufas***

A principal causa atribuída à formação das tufas é a supersaturação da solução em bicarbonato de cálcio, fruto da remoção do CO<sub>2</sub> da água. Estudos têm se referido que as causas da desgaseificação em CO<sub>2</sub> podem ser fruto da turbulência de fluxo, da mistura de águas com temperaturas e densidade diferentes, ou da absorção metabólica pelos organismos vivos (Viles e Goudie, 1990; Latham e Schwarcz, 1992; Ford e Pedley, 1996; Carthew *et al.*, 2003).

Dentre as causas para remoção de CO<sub>2</sub> da água, aquela que parece ser mais importante é a turbulência do fluxo. Inequivocamente as áreas com condições de maior agitação da água são aquelas onde se observa maior vigor para formação de depósitos tufáceos. As quedas d'água (cascatas, cachoeiras) constituem-se nos sítios onde a ocorrência das tufas é mais desenvolvida (Chen *et al.*, 2004).

No entanto, os outros mecanismos não podem ser negligenciados, já que exercem papel acessório nas áreas de grande turbulência da água e certamente condicionam a liberação de CO<sub>2</sub>, com conseqüente precipitação mineral, em áreas de fluxo estagnado.

Os sólidos, elementos fixadores sobre os quais se deposita a tufa - sejam eles clastos de rochas, estruturas da fauna e flora e até mesmo bactérias, constituem condição básica para a formação dos depósitos. Sem a interface água-sólido todos os precipitados seriam levados pela corrente, sem a formação do depósito (Chen *et al.*, 2004). A relação entre o precipitado e a superfície local, além de ser uma condição obrigatória para formação das tufas, condiciona muitas das características da nova rocha e tipifica a fácies sedimentar resultante.

O principal e melhor estabelecido modelo para formação das tufas tem como base o caráter morfogênético. Neste caso leva-se em conta a situação morfológica sobre qual essa rocha foi formada. Nesse contexto o esquema de classificação das tufas pode ser dividido em: fluvial, em vertente, lacustre e paludial, de acordo com a Figura 4 (Pedley, 1990; Pentecost e Viles, 1994; Ford e Pedley, 1996).

No ambiente fluvial são sugeridos dois tipos deposicionais: o de canal entrelaçado e o sistema de barragem. O primeiro ocorre em cursos d'água rasos e entrelaçados, dominado por estruturas orgânicas do tipo cianolíticas e oncóides, além de pequenos corpos vegetais que suportam o crescimento de bactérias estromatolíticas. O sistema de barragem é descrito como ocorrente em drenagens estreitas onde uma série de corpos sedimentares e vegetais encontram-se aglutinados interpondo parcialmente o fluxo e permitindo a precipitação da tufa.

A deposição em vertentes é definida por dois tipos, a proximal e distal, tendo como referência a distância percorrida da origem da solução até a precipitação, e sobretudo, o modelado da vertente. Neste contexto forma-se ao longo da vertente uma variedade de morfotipos deposicionais.

A margem de lagos tem sido identificada também, por esses autores, como um ambiente comum para a formação das tufas. Nesses locais a presença de atividade biológica, de algas e bactérias, é muito comum, o que estimula a precipitação em pequenas lentes carbonáticas, com a formação de tufas estromatolíticas e oncóides (Carthew *et al.*, 2003). Não devem ser confundidos com estruturas formadas em lagos hiper-salinos e submetidos a elevadas taxas de evaporação, do tipo *salar* (Latham e Schwarcz, 1992).

Pântanos são marcados pela grande densidade de vegetação e pela manutenção de um corpo de água estagnado. Tem sido observada a ocorrência de finas camadas carbonáticas nesses ambientes, associado a organismos aquáticos. Neste esquema de classificação descrito o ambiente de pântano é certamente aquele onde se pode inferir a maior participação biogênica, já que a movimentação da água é muito reduzida.

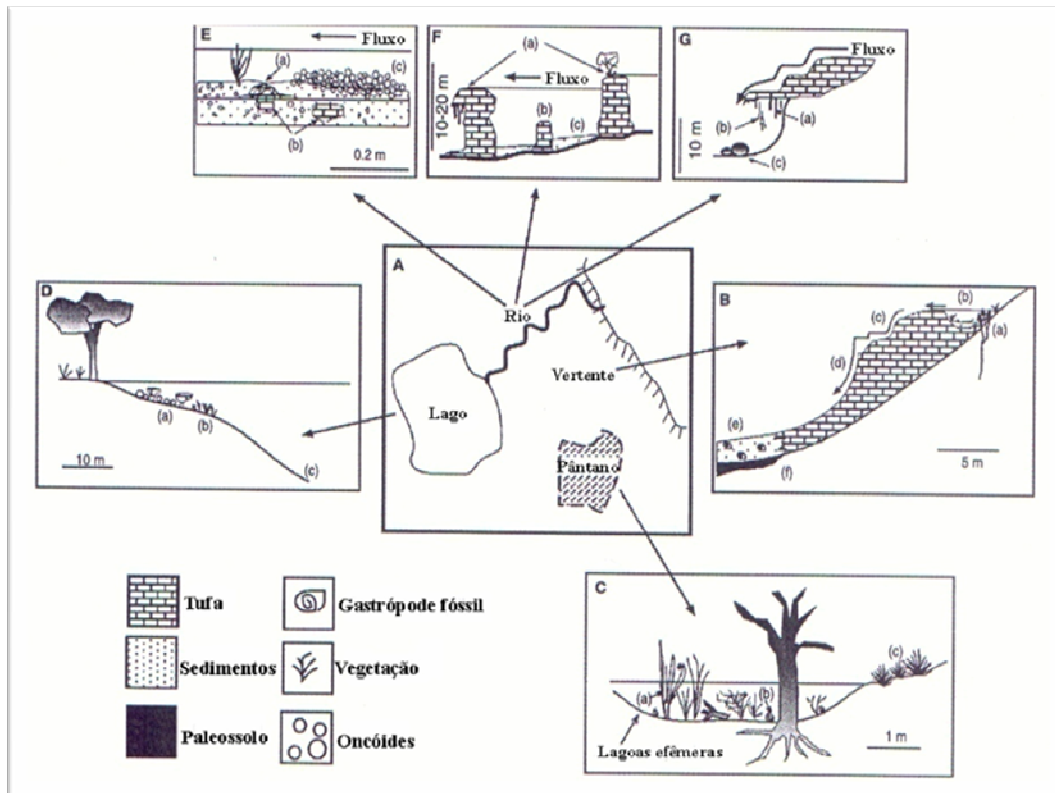


Figura 4 - Ambiente de sedimentação das tufas (Carthew *et al.*, 2003).

(A) Podem ser formados em vertente, rios, lagos, e pântanos. (B) Vertente, a) ponto de origem da água carbonatada, b) superfície plana com drenagem estagnada – condições de sedimentação paludial, c) área plana com fluxo corrente e difuso – sedimentação restrita e lobular, d) trecho declivoso multilobular formando cascatas e cachoeiras – sedimentação acelerada, e) tálus – dominado por tufas detríticas de caráter alóctone fruto de erosão a montante, f) possível paleossolo soterrado. (C) Paludiais, formadas em áreas úmidas e mal drenadas. (D) Lagos, formação de tufas em corpos de água rasa, dominados por estromatólitos e oncóides. (E) Rios entrelaçados formam estruturas do tipo oncóides e estromatolíticas. (F) Formação de tufas em drenagem através de um sistema de barragens. (G) Pequenas cascatas, originam normalmente tufas cristalinas e puras que assumem formas verticais e alongadas (Carthew *et al.*, 2003).

Apesar das tufas formadas em ambientes pantanosos representarem depósitos de espessura muito reduzida (milimétrico), é descrito na literatura pacotes em torno de 50 m de espessura (Buccino *et al.*, 1978; Heimann e Sass, 1989).

Acredita-se que estes modelos morfogenéticos acima descritos não sejam suficientes e sejam por vezes pouco aplicáveis aos depósitos tufáceos da Serra das Araras. Parece mais significativo definir um esquema de classificação para estas rochas que tenha como base suas características faciológicas. Em função disso espera-se que este trabalho contribua na direção de uma classificação das tufas com base na petrografia e na associação de fácies dessas rochas, tal como sugerido preliminarmente por Ordoñez e Garcia del Cura (1983) e Pedley (1990).

### ***3.4 - Depósitos de tufas no Brasil***

Os depósitos de tufas, sejam eles ativos ou inativos, ocorrem em vários pontos do território nacional. Embora depósitos pontuais possam ser identificados na maior parte das áreas cársticas do Brasil, ocorrências de maior importância foram descritas em: Bacia Potiguar na divisa dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, centro-norte da Bahia, região de Umbuzeiro/Surubim (PB/PE), norte fluminense, Monjolos (MG), Corumbá (MS), Serra da Bodoquena (MS), e Serra das Araras (MT) (Figura 5). São, em sua maioria, depósitos fósseis formados em condições distintas das atuais, exceção feita aos três últimos depósitos onde, além de camadas inativas exibem também deposição atual de tufas.

As tufas da Bacia Potiguar ocorrem em pelo menos três grandes depósitos, quais sejam Olho d'Água da Bica e Quixeré (CE) e Apodi (RN). Estes depósitos foram submetidos até o momento a pesquisas de geometria deposicional com fins à reconstrução paleogeográfica. As principais técnicas empregadas nesse estudo foram de caráter petrográfico e geofísico, por meio de *Ground Penetrating Radar* (GPR), permitindo a identificação preliminar da geometria sedimentar das tufas (Reyes-Pérez *et al.*, 2003).

Os depósitos encontrados no centro-norte da Bahia ocorrem nos vales do Jacaré e Salitre e na serra da Borracha. Os dois primeiros foram bastante utilizados como fonte de registros paleoclimáticos e botânicos e possuem o melhor acervo de dados cronológicos para tufas em todo país (Duarte e Nogueira, 1983; Auler, 1999; Petri *et al.*, 2003; Auler *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004).

As tufas nessa região ocorrem ao longo dos vales de modo descontínuo e bastante restrito, tendo sido formadas em um regime de maior disponibilidade hídrica, no qual a água fluía intensamente pelas vertentes. Os depósitos apresentam-se fortemente erodidos restando apenas afloramentos reliquiais. Barragens e cascatas de tufas representam a principal morfologia dos depósitos frequentemente encontradas. As tufas nessa região são ricas em material fóssil, em especial folhas, troncos, raízes e moluscos.

As informações disponíveis a respeito dos depósitos tufáceos de Umbuzeiro/Surubim são restritas e dizem respeito à morfologia deposicional e vestígios fósseis, indicando uma semelhança com outros depósitos do semi-árido brasileiro, expressando possivelmente um significado regional para formação dessas unidades (Muniz e Ramirez, 1971).

As serras das Águas Quentes e do Cândido, localizadas respectivamente nos limites dos municípios de Cândido e Itaocara (RJ), correspondem a depósitos de tufas descontínuos, os quais se apresentam ora na forma de degraus isolados posicionados no

sopé das íngremes vertentes serranas; ora na forma de cortinas de tufas progradantes que recobrem parcialmente as vertentes. São depósitos inativos, onde a precipitação do material é praticamente inexistente, os quais vem sendo submetidos a intenso processo de erosão (Ramos *et al.*, 2005).

Na região de Curvelo (MG), mais especificamente no município de Monjolos, são identificados depósitos praticamente contínuos em uma extensão de cerca de 3km. São depósitos também fósseis, em franco processo de degradação. Ocorrem acoplados em uma ampla e contínua vertente e parecem resultar de um processo de deposição gravitacional do fluído carbonático sobre a vertente. Ocorrem entre ampla variedade faciológica, com exemplares extremamente maciços, e outros muito porosos ricos em materiais não carbonáticos.

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).

Existe na literatura menção de que estas tufas não seriam produto de soluções ricas em carbonatos precipitando em superfície, mas sim resultado de processos pedogenéticos marcados pela concentração em sais, assemelhando-se a calcretes (Boggiani *et al.*, 1999). Aqui deve ser dada uma explicação antecipada a respeito das conclusões de Almeida (1945) a cerca das tufas de Corumbá. No local o autor identificou quatro tipos de tufas, que são: *tufa calcária com vegetais fósseis*, *tufa calcária leve muito esponjoso*, *travertino com gasterópodes*, *conglomerado com cimento calcáreo* (utilizada a grafia original do autor). Estes são os tipos eminentemente tufáceos de Corumbá e representantes da Formação Xaraiés nessa região.

O problema surge quando o mesmo autor identifica um tipo de rocha, não tufáceo, localizado na barranca do rio Paraguai e a submete a mesma denominação de Formação Xaraiés. E justamente por ser este o depósito mais extenso e de melhor localização, foi sempre visto como o depósito tipo das conclusões feitas por Almeida (1945), a respeito das tufas de Corumbá.

Sem dúvida a rocha encontrada na barranca do rio Paraguai não é uma tufa, mas sim um produto de substituição pedogenética típica de ambientes secos, concordante com as conclusões de Boggiani *et al.* (1999) especificamente para este tipo de rocha.



Outro depósito de importância no Brasil é o da Serra da Bodoquena, onde são encontrados 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 reliquiária (Boggiani *et al.*, 2002).

Estes mesmos autores obtiveram datações através do  $^{14}\text{C}$  para as micritas inconsolidadas, resultando em idades muito recentes para os depósitos inativos, as quais ficam entre 2130 e 3410 anos A.P. A tentativa de datação pela série do urânio falhou nas tufas da região já que existe uma condição de troca geoquímica entre os elementos radioativos, tal como exposto por Ribeiro *et al.* (2001) e ratificado nas investigações de Sallum Filho (2005).

### Principais Depósitos de Tufa no Brasil



Figura 5 - Distribuição dos principais depósitos de tufa no Brasil.

### 3.5 - Aspectos Geocronológicos

A datação absoluta tem por base a utilização de métodos isotópicos ou radiométricos, onde o conceito de meia-vida dos elementos é o principal mecanismo utilizado na determinação da idade do material datado. Meia-vida é o tempo necessário para que a massa inicial de um elemento radioativo seja reduzida à metade, por efeito da desintegração atômica. Deste decaimento surgem os “elementos filhos”, definidos pelos pares isotópicos que indicam qual novo elemento surge do decaimento radioativo dos núcleos primários. Como exemplos de pares isotópicos pode-se citar:  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ ,  $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$  e muitos outros (Schwarcz, 1990).

Segundo este autor as seguintes técnicas de datação absoluta podem ser empregadas nas tufas: radicarbono ( $^{14}\text{C}$ ), ressonância paramagnética eletrônica, paleomagnetismo, e a série do urânio. Radiocarbono e a série do urânio têm sido as duas técnicas mais comumente usadas na datação das tufas (Drysdale e Head, 1994). A datação pelo método isotópico do  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  é utilizada neste trabalho.

A aplicação da série do urânio (U) para datação de minerais carbonáticos é possível devido à solubilidade do urânio em água. Este elemento é transportado em água na forma de um composto hexavalente, que garante uma solubilidade em água semelhante aos tradicionais complexos solúveis, como fosfatos, carbonatos e sulfatos.

Por outro lado, o tório (Th) é completamente insolúvel em água. Dessa forma os precipitados de calcita e de outros minerais apresentarão alguma quantidade de urânio, mas serão virtualmente desprovidos de tório (Latham e Schwarcz, 1992). Sendo assim  $^{230}\text{Th}$  presente nos precipitados é fruto do posterior decaimento radioativo do  $^{234}\text{U}$ , e a comparação radioativa entre os isótopos permite obter a idade dos depósitos.

A utilização do método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  na datação de minerais carbonáticos já está bem estabelecida e este método parece ser o mais indicado na datação destes materiais, por fornecer uma amplitude temporal elevada com uma confiabilidade razoável. Os recentes avanços na espectrometria de massa ampliaram o limite temporal deste método para até 600 ka (Richards e Dorale, 2003).

A espectrometria de massa é uma técnica que emprega a fragmentação física da matéria e detecção da massa e de sua abundância para deduzir a composição do material. Na datação das amostras deste trabalho se fez uso da espectrometria de massa associada a uma fonte de ionização por plasma, chamado de ICP-MS (“Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry”), denominado no Brasil de “Espectrometria de Massa com Plasma

Indutivamente Acoplado”, ou simplesmente “espectrômetro plasma-massa” (Shen *et al.*, 2002). Segundo estes autores, com esta técnica tornou-se possível reduzir o tamanho das amostras necessárias, utilizar amostras de maior dureza, e analisar amostras com baixos teores de Th.

Assim como em todas as técnicas de datação absoluta a do  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  ICP/MS apresenta limitações e está sujeita a erros. Para datação em tufas os problemas resultam normalmente da condição do próprio material. Por terem sido depositadas em superfície as tufas estão sujeitas a contaminações pelo vento, pelos cursos d’água, e pelo transporte coluvial. Além disso, uma estrutura muitas vezes porosa como destas rochas é uma excelente armadilha para sedimentos clásticos. Outro tipo de contaminação que pode ocorrer é quando a água saturada de  $\text{CaCO}_3$  percola em direção aos depósitos mais velhos de carbonato, permitindo a entrada (ou saída) de U e Th (Latham e Schwarcz, 1992).

Garnett *et al.* (2004) avaliaram a utilização da série do Urânio em tufas paludiais do sudeste da Inglaterra, e concluíram que a aplicação desta técnica é profundamente limitada. Isto se deve a grande contaminação detrítica, a baixa concentração inicial de U, e o tempo reduzido para o enriquecimento radiogênico do  $^{230}\text{Th}$ .

O ambiente pantanoso, no qual estas tufas foram depositadas, é sem dúvida o menos indicado para aplicação das técnicas da série do Urânio, justamente por reunir todas as condições que limitam este tipo de datação. Isso é admitido por Garnett *et al.* (2004) que estabelecem a princípio os melhores ambientes tufáceos para a datação, e colocam os de natureza paludial como os mais limitantes (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação entre os ambientes de sedimentação das tufas e a possibilidade de datação por meio da série do Urânio (Garnett *et al.*, 2004).

<b>Ambientes</b>	<b>Características que interferem na datação pela série do U</b>
1 – Cachoeira	Normalmente livre de detritos. Depósitos porosos susceptíveis a cimentação e lixiviados com o tempo.
2 – Nascente/ Vertente	Também podem ser livres de detritos
3 – Lagos	Possibilidade de amostras livres de detritos
4 – Barragem	Potencial para baixa contaminação detrítica, porém rico em orgânicos.
5 – Margem fluvial	Contaminação de detritos não carbonáticos comum.
6 – Paludial	Contaminação de detritos não carbonáticos comum.

Ribeiro *et al.* (2001) estudando as tufas da serra da Bodoquena (MS) concluíram sobre a inviabilidade da datação por meio das técnicas de Urânio nessas rochas e notaram

que além da baixa concentração inicial de U, e da repetida dissolução e reprecipitação, os depósitos se encontram em constante troca geoquímica, com mobilização de U e Th.

Conforme mencionado, cristalizações puras de calcita têm, quando da sua deposição apenas U, sendo o Th encontrado um resultado do processo de decaimento radioativo ao longo tempo. No entanto em amostras contaminadas por materiais detríticos existe a introdução de Th não radiogênico, o que acarretará erros no estabelecimento de idades a partir da relação  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ , levando a superestimação da idade real (Schwarcz, 1990). Ainda de acordo com este autor as tufas também não devem apresentar sinais de diagênese, ou de recristalização posterior à deposição.

Tendo em vista tais aspectos é imprescindível uma seleção criteriosa para coleta. Amostras com sinais de recristalização e redissolução devem ser evitadas, bem como aquelas impregnadas por argilas e detritos entremeados às camadas da rocha. Optar por amostras que exibam uma cristalização mais maciça é uma tática funcional para evitar algumas incertezas posteriores. Cristais mais consolidados dificultam contaminações e evidenciam, normalmente, não terem sofrido alterações pós-deposicionais.

Além disso, outras técnicas de controle são utilizadas, em especial a da concordância isotópica e da consistência estratigráfica, as quais serão melhores descritas na metodologia, de acordo com as sugestões de Richards e Dorale (2003).

Afirma-se aqui que as tufas da serra das Araras, apesar das limitações amostrais, apresentam potencial cronológico e são confiáveis do ponto de vista geoquímico e isotópico.

## Capítulo 4

### FISIOGRAFIA REGIONAL

#### *4.1 - Geologia e Geomorfologia*

##### **4.1.1 Estratigrafia e Litologia**

A região sudoeste de Mato Grosso é definida aqui como a área que se estende, em perfil leste-oeste, desde a cidade de Cuiabá até as proximidades da fronteira do Brasil com a Bolívia, estando completamente inserida na bacia do Alto Paraguai. É limitada a norte pelo Planalto dos Parecis e a sul pelo Pantanal Mato-grossense (Figura 1).

Esta região vem sendo alvo de estudos científicos a pouco mais de um século, tendo no trabalho de Evans (1893) sua principal e mais antiga referência. Este autor foi o primeiro a realizar um levantamento geológico sistemático, ainda que preliminar, da área.

Evans (1893) propôs as seguintes unidades estratigráficas para a região: Cuyabá Slates (filitos e quartzitos fortemente dobrados ocupando grande parte da baixada cuiabana); Corumbá e Arara Limestones (extenso pacote carbonático encontrado nas serranias da área); Rizama Sandstone (arenitos feldspáticos que se sobrepõem aos carbonatos); e Matto Shales (pelitos largamente expostos nas terras baixas do alto Paraguai). Estas unidades englobam a maioria das rochas encontradas na porção sudoeste de Mato Grosso.

As rochas de idade mais recente identificadas por Evans, e definidas por ele como Quaternárias, são as concreções ferro-magnesianas distribuídas de forma irregular em toda região, além dos depósitos aluviais (Evans, 1893). Este mesmo autor menciona também, a existência de conchas e moluscos terrestres envolvidos por uma matriz carbonática, encontrados nas escarpas a leste da cidade de Cáceres, onde ocorrem as exposições das rochas do calcário Araras, em uma clara referência aos litotipos atualmente incluídos sob a denominação de Formação Xaraiés.

Após esse trabalho pouco se publicou sobre a geologia regional do sudoeste mato-grossense até o trabalho de Almeida (1964) que revisa as principais informações até então existentes, propondo modificações e sugerindo novas interpretações. Constitui-se em uma

obra de referência em geociências nessa porção de Mato Grosso, já que aborda aspectos da estratigrafia, geologia estrutural, geomorfologia, entre outros.

A série Cuiabá corresponde a primeira unidade descrita por Almeida (1964), depositadas sobre as rochas do embasamento cristalino, equivalente ao Cuyabá Slates de Evans (1983). Essa série, composta em sua maior parte por pelitos e secundariamente por arenitos, encontra-se francamente dobrada e metamorfizada. Filitos são as rochas mais expressivas dessa série seguidas pelos quartzitos, grauvacas e metaconglomerados. Os quartzitos sustentam as escassas elevações topográficas que se destacam na ampla e arrasada superfície da baixada cuiabana.

O Grupo Jangada é representado principalmente por conglomerados de origem glacial francamente metamorfizados, distribuídos amplamente na área de estudo, sobretudo na Província Serrana (Almeida, 1964), ocupando posição estratigráfica intermediária entre a Série Cuiabá e os carbonatos Araras.

O Grupo Araras é definido por espessa seqüência carbonática, representada por calcários na base, com espessura em torno de 200 m, associados a sedimentos pelíticos. Sobrepõe-se aí um pacote dolomítico com mais de 500 m de espessura, onde é rara a existência de fácies detríticas. Rochas desse grupo encontram-se sobretudo nas áreas serranas, onde exibem os efeitos dos dobramentos ao qual foram submetidas (Almeida, 1964).

Sobre as rochas do Grupo Araras encontra-se espesso pacote de sedimentos detríticos, de grande variedade faciológica, agrupados sob a denominação de Grupo Alto Paraguai. As seguintes formações compõem este grupo: Formação Raizama (arenitos com siltitos e folhelhos subordinados); Formação Sepotuba (folhelhos argilosos com siltitos, arenitos e calcários subordinados); Formação Diamantino (arcózios, siltitos e folhelhos com calcários subordinados) (Almeida, 1964). A Formação Sepotuba é coincidente com o Matto Shales definido por Evans (1893) do ponto de vista litológico e de distribuição espacial.

Nos limites norte-noroeste do sudoeste mato-grossense encontram-se os basaltos da serra de Tapirapuã, provavelmente do Triássico Superior. Também afloram nessa área os Arenitos dos Parecis, datados do Cretáceo Superior (Almeida, 1964).

Neste mesmo trabalho o autor define quatro depósitos Quaternários: a Formação Pantanal, os Leques aluviais, os Lateritos ferruginosos e a Formação Xaraiés. O Pantanal constitui-se em uma das maiores áreas de sedimentação continental do interior da América do Sul. Almeida (1964) definiu a Formação Pantanal como camadas arenosas finas e

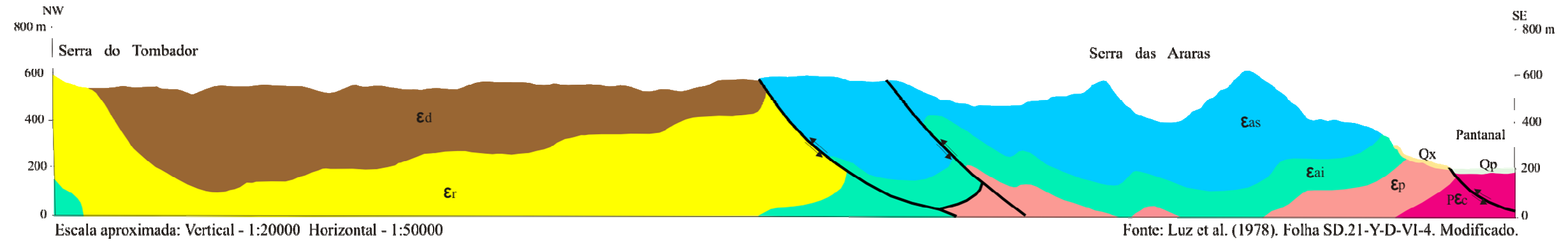
síltico-argilosa, onde são raros os conglomerados. Sua ocorrência se dá na borda sul da região em análise, nos vales dos rios Paraguai e Cuiabá, penetrando de forma restrita para norte. Os leques aluviais estão representados pelas formações conglomeráticas depositadas nas bordas das serras areníticas em condições climáticas diferentes das atuais. Os lateritos ferruginosos constituem as concreções ferruginosas ocorrentes de modo amplo e difuso na região.

A Formação Xaraiés, anteriormente estabelecida por Almeida (1945) na região de Corumbá (MS), é definida por tufas calcárias, onde restos vegetais, carcaças de moluscos e impressões de folhas são amplamente envoltas por matriz carbonática. Esses depósitos ocorrem de modo restrito em pelo menos 50 km de extensão com espessura máxima de 100 m, por sobre o Grupo Araras e/ou Grupo Jangada (Almeida, 1964). Esses depósitos aparentam corresponder aqueles sumariamente descritos por Evans (1893).

Os trabalhos que se seguiram nessa região, em especial aqueles realizados pela CPRM e DNPM, adotaram em grande parte as colunas estratigráficas anteriormente propostas.

A principal modificação se deu no Grupo Alto Paraguai, no qual foram incluídos os carbonatos Araras, sob a denominação de Formação Araras, subdivido em membros inferior (calcítico) e superior (dolomítico). A base desse grupo é representada pela Formação Puga, dominada por paraconglomerados grauvaqueanos. Para o topo do Grupo Alto Paraguai são descritas a Formação Raizama e a Formação Diamantino. A Série Cuiabá passa a ser definida como um Grupo, englobando a Formação Bauxi (Figueiredo e Olivatti, 1974). Ribeiro Filho *et al.* (1975) e Luz *et al.* (1978) que também trabalharam na porção sudoeste de Mato Grosso adotam igualmente em seus trabalhos essa coluna estratigráfica (Figura 6 e Figura 7).

## PERFIL GEOLÓGICO



Idade		Grupo	Formação	Membro	Símbolo	Litologia
Era	Período					
C E N O Z O I C A	Quaternário		Aluviões Recentes		Qr	Sedimentos areno-argilosos e/ ou conglomeráticos.
			Pantanal		Qp	Sedimentos areno-argilosos, semi laterizados nos platôs.
	Xaraiés			Qx	Tufas calcárias com vegetais fósseis.	
	Terciário				Tqdl	Lateritas maduras e zonadas.
P A L E O Z O I C A	Cambriano	A l t o  P a r a g u a i	Diamantino		Ed	Folhelhos, argilitos e siltitos (cinza a vermelho-arroxeados) finamente estratificados com intercalações de arcóseos.
			Raizama		Er	Arenitos ortoquartzíticos, arenitos feldspáticos, arcóseos brancos ou amarelados, com níveis conglomeráticos.
			Araras	Superior	Eas	Dolomitos cinza esbranquiçados, com intercalações de arenitos, e siltitos.
				Inferior	Eai	Calcários e calcários dolomíticos, cinza escuro e laminado.
			Puga		ep	Paraconglomerados.
P R O T E R O Z O I C O	Pré-Cambriano Superior	C u i a b á	Bauxi		pεbx	Metapelitos e metarenitos.
			Cuiabá		pεc	Xistos, filitos e metagrauvas.

Figura 6 (Acima) - Perfil geológico transversal a área de estudo. Modificado de Luz *et al.* (1978).  
 Figura 7 (Esquerda) - Coluna estratigráfica do sudoeste de Mato Grosso (Luz *et al.*, 1978).



### **4.1.2 Geologia Estrutural**

As rochas do Grupo Cuiabá e Alto Paraguai distribuem-se sobre um arco orogênico definido por Almeida (1964) como geossinclíneo Paraguaio. A faixa Paraguai, como é conhecida, localiza-se a sudeste do cráton do Guaporé estendendo-se até a margem oriental do cráton do Rio Apa. Grande parte das rochas que ocupam essa área encontra-se hoje encobertas pelos sedimentos pós-ordovicianos das bacias do Paraná, dos Parecis e do Pantanal (Figura 8), (Alvarenga e Trompette, 1993, 1994).

Segundo estes autores, os efeitos da tectônica nessa região diminuem de leste para oeste, sendo reduzida, nesse sentido a intensidade tanto dos dobramentos, quanto do metamorfismo e dos falhamentos.

De acordo com a intensidade da orogênese Brasileira Alvarenga e Trompette (1993, 1994) compartimentaram a faixa Paraguai e o cráton vizinho em três unidades: a zona interna metamórfica, representada em grande parte pelas rochas do Grupo Cuiabá atingidas por metamorfismo de baixo grau, fortemente dobradas, cortadas por falhas inversas de alto ângulo; a zona externa que atingiu a maioria das seqüências de rochas da região, as quais se apresentam em grandes eixos de dobras, raramente metamórficas e freqüentemente truncadas por falhas inversas; e a zona de cobertura sedimentar de plataforma cratônica, que engloba também a maioria das seqüências litológicas da região pouco afetadas pela tectônica.

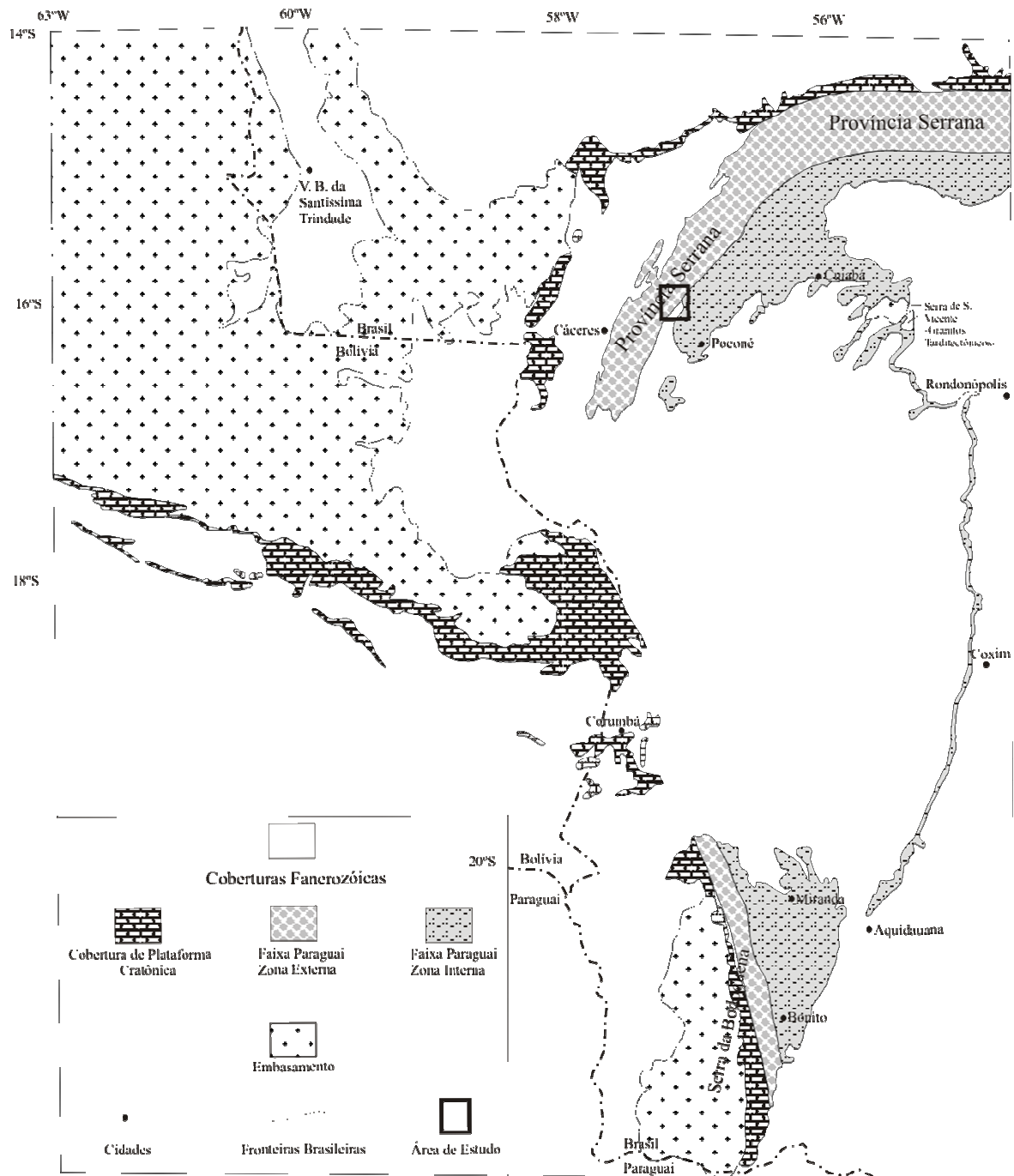


Figura 8 - Faixa Paraguai e as coberturas cratônicas adjacentes. Em destaque a área de estudo (Alvarenga e Trompette, 1993).

### 4.1.3 Geomorfologia

Para a região do sudoeste mato-grossense Almeida (1964) reconhece as seguintes unidades morfológicas: Baixada do Alto Paraguai, Serra de Tapirapuã, Província Serrana, Baixada Cuiabana, Planalto dos Parecis (figura 01). A proposta deste autor para a

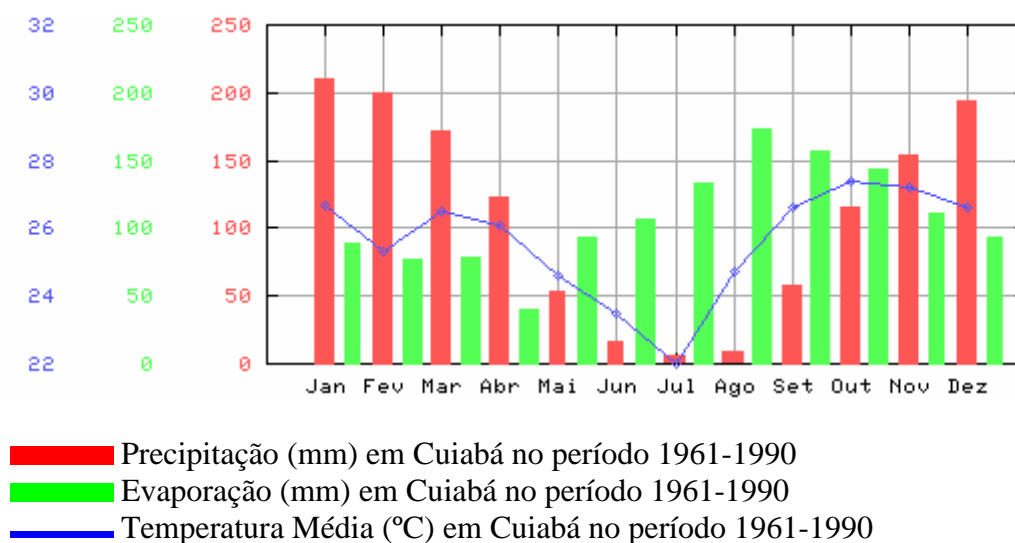
geomorfologia da região foi mantida pelos autores que o sucederam sem alterações significativas (Ross e Santos, 1982; Ross, 1991).

O papel das estruturas geológicas no desenvolvimento do relevo nessa região é algo marcante na Baixada Cuiabana e do Alto Paraguai, e, sobretudo na Província Serrana, onde as movimentações tectônicas antigas e recentes parecem ter sido a principal causa do seu modelado (Almeida, 1964). O forte controle estrutural sobre o qual a geomorfologia dessa região se desenvolveu é também observado em grande parte dos seus cursos d'água.

Em termos gerais, a Província Serrana destaca-se como a principal unidade geomorfológica nessa região, estendendo-se por mais de 300 km de extensão desde o norte do Pantanal até o Planalto dos Parecis. Caracteriza-se por um conjunto de serras estruturadas em anticlinais ou sinclinais alçados, fortemente comprimidos, onde as altitudes podem atingir quase 2000 m. Ergue-se topograficamente entre as áreas rebaixadas dos rios Paraguai e Cuiabá, a oeste e a leste respectivamente, onde as altitudes raramente superam 400 m (Figura 01).

## 4.2 - Clima

O clima do sudoeste mato-grossense é notadamente sazonal marcado por duas estações bem definidas, uma seca (de maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). As maiores temperaturas são observadas no período chuvoso, enquanto as menores ocorrem no período da seca, sem, contudo, ser marcada por grandes diferenças térmicas anuais, que estão em torno de 4°C (Figura 9).



Fonte: Inmet (2005). [http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo\\_climatologia\\_I.html](http://www.inmet.gov.br/climatologia/combo_climatologia_I.html)

Figura 9 – Indicadores climáticos da estação de Cuiabá, referentes ao período 1961-1990.

A precipitação média anual varia de 800 a 1.600 mm, sendo fortemente condicionada pelo relevo nessa região. Os maiores valores de precipitação são encontrados nas serranias onde o total anual está entre 1.400 e 1.600 mm. Na extensa área deprimida que circunda as serras da região a precipitação anual fica em torno de 800 a 1.200 mm (Campelo Júnior *et al.*, 1997).

Outro fator que exerce forte controle sobre a precipitação nessa região é a variação latitudinal. A precipitação anual aumenta intensamente de sul para norte, na cidade de Cáceres a pluviosidade anual é de 1270mm, enquanto Diamantino, cerca de 100 km a norte, registra uma precipitação anual em torno de 1787mm (Almeida, 1964).

Com temperaturas médias anuais em torno de 25°C a região registra alguns picos em torno de 40°C nos meses mais quentes, enquanto nos meses mais frios a região pode experimentar temperaturas em torno de 10°C (Durão, 1999).

Nos meses de seca a região apresenta um elevado déficit hídrico, marcado pela drástica redução da precipitação e aumento da evaporação. Nos meses úmidos a precipitação é muito superior a evaporação, havendo um saldo hídrico positivo no balanço anual. Segundo Durão (1999) nos períodos de intensa precipitação os valores podem chegar a 70 mm/dia, o que assegura a manutenção dos aquíferos e a perenização da drenagem durante todo o ano. Os cursos de água das áreas serranas sem alimentação de base passam por períodos de seca durante a estiagem.

## Capítulo 5

# CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS DE TUFAS DA SERRA DAS ARARAS

### *5.1 - O contexto geológico do depósito*

Com base nas informações da bibliografia disponível e das prospecções de campo pode-se afirmar que os depósitos tufáceos incluídos sob a denominação de Formação Xaraiés no estado de Mato Grosso, estão restritos à porção sudeste da Província Serrana, na escarpa da Serra das Araras, inteiramente contidos na área de estudo dessa dissertação. A Serra das Araras é definida pelo branquissinclinal das Araras, que consiste em uma estrutura de duplo caimento, suave a oeste, e profundamente inclinada à leste sobre a falha das Araras (Figura 6). Essa feição estrutural, com cerca de 110 km de extensão por 10 km de largura, guarda a maior parte das rochas do Grupo Alto Paraguai.

A geometria estrutural e as características sedimentares existentes neste sistema afeta diretamente o comportamento hidrogeológico, determinando uma tendência de fluxos subterrâneos alimentados por zonas de recarga a oeste extravasados em pontos de descarga a leste, sobre a escarpa das Araras.

Os mecanismos de recarga estão ligados provavelmente a descontinuidades estruturais significativas existentes na porção oeste do pacote carbonático da Formação Araras, e no limite desta com a Formação Diamantino e Raizama, bem como, supostamente em outros pontos de permeabilidade sobre os calcários dolomíticos da Formação Araras. A zona de descarga por sua vez é condicionada, em parte pelo menos, por faixas de percolação de oeste para leste determinadas pela baixa permeabilidade dos calcários do Membro Inferior da Formação Araras e dos paraconglomerados da Formação Puga, ainda que estudos detalhados da porosidade primária destes litotipos sejam inexistentes.

O limite leste do branquissinclinal Araras é feito, ao menos no setor da serra das Araras, pela falha das Araras, e é no seu plano de falha onde se encontra a maior parte das rochas da Formação Xaraiés. Esta falha condiciona o contato das rochas do branquissinclinal Araras (grupo Alto Paraguai) com as rochas do grupo Cuiabá e rochas das formações Xaraiés e do Pantanal.

Segundo Barros (1982) a falha das Araras é um elemento estrutural com direção predominantemente N40°-45°E e com extensão aproximada de cerca 250km, recoberta, em sua maior parte, por sedimentos recentes. É na Serra Araras que a falha homônima imprimiu com maior vigor sua marca, e onde pode ser melhor entendido o controle por ela exercido.

Na Serra das Araras podem ser observados com clareza os efeitos da linearidade condicionados pela falha ao longo da serra. Em pelo menos 90 km de extensão, entre a Serra das Araras e a vizinha setentrional Serra Azul, a falha das Araras marcou a paisagem por uma ruptura de geologia e topografia bastante brusca, representada por paredões extremamente retilíneos e escarpados (Figura 10).

A falha das Araras é responsável também por estabelecer uma divisão clara entre duas grandes unidades litológicas e estruturais, a do branquissinclinal Araras compreendendo as rochas do grupo Alto Paraguai, e as litologias e estruturas a sudeste, dominadas pelos metassedimentos do grupo Cuiabá localizadas na zona interna de tectônica da faixa Paraguai.

Apesar de ser uma falha bastante antiga, reflexo do último evento tectônico, resultantes de esforços compressivos de sudeste para noroeste em escala regional, a falha das Araras foi o principal elemento condicionante da evolução geológica na área, e responsável pela conformação geomorfológica. O caráter morfoestrutural do relevo é fato notório em toda a Província Serrana, e redundante na área de estudo.

Brechas de falhas identificadas nessa área com planos orientados para sudeste são indicativos da existência de uma movimentação pretérita entre os blocos, cujo sentido indica uma movimentação de sudeste para noroeste, o que caracteriza a falha das Araras, como uma falha originalmente de empurrão (Barros, 1982).

Alguns autores, no entanto, têm chamado atenção, em um modelo explicativo para sedimentação da Formação Pantanal, para um sistema de reativamento de falhas de idade plio-pleistocênica (o que seria muito recente para a magnitude do evento), em resposta ao dobramento andino (Luz *et al.*, 1978).

Nesta perspectiva é assumida a possibilidade de antigos sistemas de falhamento da faixa Paraguai, normalmente inversos ou de empurrão, terem sido reativados dando origem a movimentos entre blocos do tipo normal, criando um sistema de “abaciamento” permissiva a sedimentação. Mudanças estruturais dessa natureza alterariam o nível de base conduzindo a um rearranjo hidrológico do sistema, com aumento da capacidade erosiva e

maior oferta de sedimentos, dando teoricamente origem a Formação Pantanal de idade Quaternária Tardia.

O depósito de tufas Xaraiés da serra das Araras ocorre, como já mencionado, em sua maior parte sobre a falha das Araras, desenvolvendo-se sobre calcários calcíticos pertencentes ao Membro Inferior da Formação Araras, mas também sobre paraconglomerados da Formação Puga, e sobre os metassedimentos do Grupo Cuiabá. As tufas Xaraiés parecem também estarem recobertas em alguns setores por rochas mais recentes como as da Formação Pantanal além de coberturas holocênicas.



Figura 10 – A escarpa em primeiro plano é formada pelo depósito de tufas da Formação Xaraiés. O comportamento linear demonstrado pela escarpa e os topos alinhados vistos nesta secção (vista para o Morro do Veado) ocorrem ao longo de toda Serra das Araras. Foto: Daniel Corrêa, 2005.

## ***5.2 - Os depósitos tufáceos da serra das Araras***

Do ponto de vista regional os depósitos da serra das Araras podem ser divididos em dois grandes grupos: (a) tufas em formação; (b) depósitos fósseis, atribuídos à Formação Xaraiés (Tabela 2). Ambos ocorrem principalmente na face leste do branquissinclinal Araras, sendo os litotipos referentes ao segundo grupo exclusivos desta área.

Tabela 2 – Comparativo entre as tufas da Serra das Araras.

<b>Grupo (Idade)</b>	<b>Tipo (Ambiente)</b>	<b>Variante (Forma)</b>	<b>Principais Características</b>
Tufas em Formação ou Recém Formadas	Fluvial	Barragem Cascata Cachoeiras Margem Fluvial	- Ocorre na maioria dos cursos de água da área; - Sucessão de camadas estratificadas; - Presença significativa de materiais detríticos e orgânicos; - Espessura média inferior a 40 cm.
	Vertente	-	- Distribuição restrita; - Formadas em períodos de pluviosidade extrema.
	Fluxo Lento	-	- Distribuição restrita; - Condições de fluxo lento ou estagnado; - Estrutura maciça.
Depósitos Fósseis Formação Xaraiés	Vertente	-	- Ampla distribuição na área, cerca de 30 km de extensão, com espessura máxima de 20 m; - Componentes detríticos e fósseis varia entre amplos limites; - Visivelmente submetido a processo intenso de intemperismo e erosão; - Praticamente ausente de estratificação – estrutura maciça.

### (a) Tufas em Formação

Tufas recém formadas ou em formação ocorrem, de maneira geral, nos canais de drenagem, exibindo uma deposição ativa e intensa. Identificou-se, também, a formação em alguns trechos da escarpa e em áreas alagadiças da baixada, porém de maneira bastante restrita (Figuras 11,12,13).





Figura 11 – Leito do Córrego Caninana onde se observa ao menos dois morfotipos deposicionais das tufas em drenagem: em primeiro plano, as barragens de tufas, em segundo plano a morfologia do tipo cascata. Foto: Marília F. Gomes, 2004.



Figura 12 – Exemplo raro de tufas em formação ocorrendo em vertente na Serra das Araras, próximo à subida do local denominado de Mata Cachorro. Foi identificada em porção ligeiramente menos escarpada da serra e demonstrou estar associada a um evento pluvial quando da visita (início de abril de 2005). Foto: Daniel Corrêa, 2005.





Figura 13 – Nas terras baixas da Depressão Cuiabana exemplo único de formação de tufas em áreas afastada, cerca de 1 km, da escarpa da serra das Araras. As tufas são observadas no leito da drenagem. Foto: Augusto Auler, 2005.

O grupo das tufas recém formadas é composto por tufas calcárias com estruturas concrecionárias tubiformes, bastante porosas ou não, com impressões de folha do tipo angiospermas e abundantes orifícios e tubos ocos constituídos pelos moldes de galhos e caules de plantas. A estrutura do material mostra-se, em geral, estratificada em delgadas camadas recobrindo o sólido sobre a qual se depositou. Alguns depósitos ainda apresentam consistência bastante friável. É comum a existência de material orgânico ainda em estado de decomposição, indicando que o recobrimento é um processo recente e rápido. A estratificação observada reflete o comportamento do fluido sobre a estrutura de suporte deposicional e a existência de uma sazonalidade atual na formação desses depósitos (Figura 14).



Figura 14 – Fragmento de tufa de depósito jovem já erodido às margens do Córrego Caninana, já na Depressão Cuiabana. Observem a estrutura concêntrica recobrimdo o tronco da árvore. Percebe-se a deposição de diversas camadas distintas de carbonato em um processo de formação acelerado – o tronco preserva ainda suas características orgânicas. Foto: Daniel Corrêa, 2004.

Raros são os exemplos de tufas, incluídas no grupo daquelas em formação, que não apresentem a sucessão de camadas estratificadas como principal feição estrutural dessas rochas recém formadas. Em áreas de drenagem ativa, é uma feição marcante, ao passo que em áreas de fluxo estagnado, pântanos, foram observados tufas neoformadas com aspecto maciço e sem estratificação.

Tufas em barragem representam a morfologia dominante nos depósitos ativos, sustentadas por troncos de árvores e clastos de rochas (Figura 11). As rochas aí formadas estão estruturadas em camadas milimétricas a centimétricas, normalmente orientadas a partir do substrato que serviu de base à precipitação, e quase sempre interdigitadas por parcelas detríticas e orgânicas. Exibem, via de regra, estruturas muito friáveis, sujeitas a

redissolução pelo atrito simples e ação da água corrente. A espessura dos depósitos é normalmente inferior a 40 cm.

Nas áreas encachoeiradas também ocorre a formação de tufas. Em pelo menos uma cachoeira do rio Caninana, localizada na ruptura da morraria para a planície, com quase 50 m de altura observa-se a deposição contínua do material, onde as camadas mostram-se orientadas verticalmente apresentando uma espessura inferida máxima de 3 m. É muito comum a presença de folhas nesse tipo depósito já que são retidas, em grande parte, no processo de precipitação do carbonato (Figura 15).



Figura 15 – É comum devido à abrupta transição representada pela escarpa de falha a ocorrência de uma série de cachoeiras. Nesse ambiente é muito freqüente a formação de tufas, que ocorrem de modo bastante acelerado, com envolvimento de folhas no perfil da queda. Foto: Marília F. Gomes, 2004.

Outro ambiente comum de sedimentação das tufas nas áreas de drenagem ativa é aquele que ocorre às margens do leito, em uma condição de menor energia do fluxo e largamente associada a organismos vivos. São depósitos muito finos marcados por grande parcela detrítica e freqüentemente entremeados a muita matéria orgânica, como folhas e gastrópodes (Figura 16).





Figura 16 – Fragmento retirado de um depósito de tufas neoformado na margem de leito fluvial, onde é possível observar a diversidade de materiais que compõem esta rocha. Na foto são identificadas estruturas de plantas e algumas carcaças de molusco, as quais foram envoltas por uma massa carbonática associada a grandes parcelas de material detrítico. Foto: Daniel Corrêa, 2004.

Os depósitos em atividade ocorrem de modo contínuo ao longo das drenagens da área serrana desaparecendo bruscamente nas áreas mais deprimidas. O limite da deposição atual é de modo geral as cachoeiras que transpõem estas unidades de relevo, salvo algumas raras exceções identificadas (Figura 13).

É freqüente ainda, entre o grupo de tufas recém formadas, a identificação de amostras e sítios de materiais jovens já submetidos a eventos erosivos, desagregados e transportados pelas drenagens. A Figura 14 exemplifica uma amostra desse tipo de sítio de tufas alóctone, recém formadas e já exposta a pelo menos um evento erosivo. Apesar de ser desconhecida a idade do material é de supor sua juventude haja vista a estrutura orgânica do tronco ainda preservada.

O grupo das tufas neoformadas não foi incluído sob nenhuma nomenclatura estratigráfica, nem mesmo da Formação Xaraiés, o que nos pareceu mais adequado. Isto se justifica, inicialmente, pelo fato destes serem depósitos extremamente mutantes, largamente susceptíveis a erosão e bastantes restritos em área - estão limitados principalmente ao leito dos cursos d'água. Também, são muito distintos das *tufas-tipo* da

Formação Xaraiés nessa área, diferem-se no tempo, no espaço, e no modo como evoluíram.

## **(b) Depósitos Fósseis – Formação Xaraiés**

Os depósitos tufáceos da serra das Araras, incluídos sob a denominação de Formação Xaraiés, ocorrem em uma extensão mínima de 30 km, em uma largura máxima de 800 m, e com altura nunca superior a 100 m. A altura do depósito no plano da escarpa é ligeiramente constante, não havendo muita variação nesse aspecto ao longo da faixa de ocorrência do depósito. No mapeamento desses depósitos a CPRM, Luz *et al.* (1978), através do projeto Província Serrana, subestimou as dimensões reais do depósito.

Originalmente 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 de fotos aéreas e também imagens de satélite levam às mesmas conclusões obtidas pela CPRM em relação às dimensões do depósito. Na verdade, com uso exclusivo dessas ferramentas tende-se a associar os depósitos tufáceos às projeções do relevo. Na metodologia adotada pela CPRM, as *saias* da escarpa haviam sido definidas como as únicas áreas de deposição das tufas.

O depósito de tufas da Formação Xaraiés não está restrito 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 (Mapa 02). 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.

É evidente que se tomando como base a ocorrência de depósitos de tufas roladas ao longo de todo o sopé da escarpa, tende-se a afirmar que os depósitos atualmente *in situ* são remanescentes de um depósito muito mais extenso, que vem sendo paulatinamente eliminado.

A Formação Xaraiés é um depósito fóssil onde o processo de sedimentação das tufas calcárias parece ter cessado há algum tempo, no mínimo em período anterior ao Holoceno.

Esta formação encontra-se estratigraficamente abaixo da Formação Pantanal, interpretada por Luz *et al.* (1978) e Barros (1982), como uma unidade essencialmente holocênica em suas camadas superiores, o que serve de indício para reforçar o caráter fóssil das tufas Xaraiés. Além disso, é nítido na paisagem que este depósito vem sendo submetido a um intenso processo de desgaste intempérico.

A relação estratigráfica das tufas Xaraiés com unidade 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 remanescentes foram e têm sido expostas 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 pode ser confirmado apesar das inúmeras tentativas em campo.

Cem metros são aproximadamente a distância entre a superfície da depressão cuiabana, ou também do pantanal, 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, significaria assumir uma geometria deposicional que não pode ser confirmada pelos trabalhos por nós efetuados.

A espessura definida e largamente defendida na literatura (100 m) sugere uma geometria deposicional na qual as tufas estariam empilhadas sub-horizontalmente e que, portanto, o perfil vertical do depósito observado atualmente na escarpa seria uma seção transversal à seqüência deposicional, expondo um depósito com espessura coincidente com a altura, ou seja, cerca de 100 m. No entanto, há fortes indícios que a geometria do depósito seja essencialmente verticalizada, acompanhando o plano da escarpa.

A dificuldade em dirimir a dúvida quanto à geometria deposicional, a qual permitiria que fosse determinada com clareza a espessura do depósito, está ligada ao caráter maciço

dos litotipos, nos quais não se observa estratificação; ao desmonte que o depósito vem sofrendo; e a ocorrência de fases de precipitação mais novas recobrando o maciço.

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 (Figura 17).

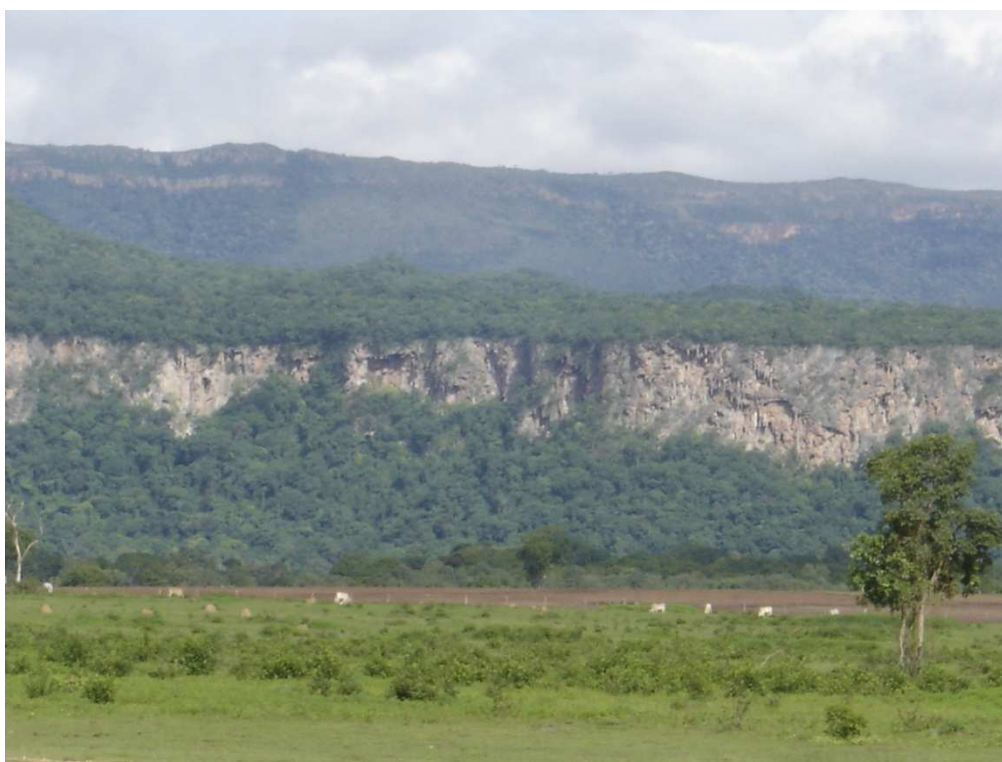


Figura 17 – Vista do depósito na altura do morro da Sauna. O comportamento “encachoeirado” observado pelas camadas verticais sobre a escarpa – verdadeiros espeleotemas pendentes – é o principal componente direcional identificado. Foto: Daniel Corrêa, 2005.

Apenas assumindo a possibilidade de geometria deposicional – de orientação plano-paralela ou sub-horizontalizada em função do plano da escarpa – poder-se-ia de fato afirmar a existência de um depósito tufáceo 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, identificada em uma seção de entalhamento da drenagem, onde se observou o contato da tufas com os paraconglomerados Puga.



## Variedade Faciológica dos Depósitos

Com base em uma divisão de fácies sedimentar foi possível identificar ao menos três distintas fácies propriamente ditas e mais uma classe de materiais alóctones. Para isso utilizou-se como critério de discriminação faciológica algumas características macroscópicas dos materiais identificados em campo, sendo as seguintes: dureza, cor, presença de material fóssil, e condição erosiva (*in situ* ou rolado). É certo que condição erosiva não é a rigor um critério de diferenciação faciológica, mas foi utilizada por ser adequada na caracterização de um tipo tufáceo da Serra das Araras.

A primeira fácies é praticamente afossilífera, ainda que eventualmente fragmentos de gastrópodes sejam encontrados, possui coloração esbranquiçada a rosada, é bastante maciça e dotada de pequenas cavidades preenchidas por calcita ou quartzo, por vezes com seixos de quartzo e calcário (Figura 18). Ocorre sistematicamente na parte basal do depósito, repousando sobre os tilitos da formação Puga.



Figura 18 – Na parte basal do depósito de tufas, a rocha apresenta um aspecto maciço com frequentes incrustações de seixos, e presença de minerais de calcita. Assemelha-se muito ao tipo 4 definido por Almeida (1945) em Corumbá (MS). Foto: Augusto Auler, 2005.

Este litotipo causou bastante dúvida em campo, suscitando a possibilidade de que ele não fosse uma tufa, já que apresenta características bastante diversas. Encontra-se exposta no leito da drenagem resultando da escavação de um perfil vertical de cerca de 20 m de

altura sobre o depósito. Almeida (1945) na identificação dos tipos tufáceos de Corumbá descreve material bastante semelhante a estes da serra das Araras, o qual denominou de conglomerado de cimento calcário, e que de maneira análoga ao tipo mato-grossense encontra-se em porção basal do depósito em contato discordante erosivo sobre os folhelhos da Formação Tamengo.

Outra fácies bastante semelhante a essa primeira é marrom esbranquiçada, não menos vulgar, onde o componente fóssil é restrito, mas não ausente, ocorrendo de modo dominante em toda a escarpa. A diferença entre as duas fácies parece estar ligada a exposição atmosférica, que permitiu maior alteração da segunda fácies, imprimindo uma coloração amarronzada. Em ambas inexistem qualquer estrutura sedimentar. Constituem-se em corpos de calcita micrítica maciços e uniformes.

A terceira fácies identificada é rica em fósseis representada principalmente por assembléia de folhas, galhos e moluscos calcificados (Figura 19). Nesta fácies a componente detrítica é muito marcante, sendo observada sempre sua interdigitação com as camadas carbonáticas. Esta fácies foi identificada com maior frequência no topo do depósito – na porção mais proximal – mas não parece estar restrita a esta condição topográfica.



Figura 19 – Exemplo de tufa rica em material fóssil, extremamente friável composta por grande parcela de material detrítico. Foto: Daniel Corrêa, 2004.

Tem-se como última “fácies” identificada àquela correspondente aos depósitos alóctones, largamente assentados no pé da escarpa, formando um extenso tálus. Nesta podem ser encontradas todas aquelas fácies anteriormente descritas, no entanto, existe a concentração de fragmentos puramente cristalinos. Isto é devido, muito provavelmente, à seleção de amostras onde o material mais friável é erodido e redissolvido, sobrando apenas o material mais endurecido. Muito por isto a obtenção das amostras de calcita aptas à datação foi bem mais fácil nesses locais.

### **5.3 - Carstificação**

A carstificação, ou seja, o desenvolvimento de morfologias eminentemente cársticas é um processo que marca estes depósitos de tufas. A presença de pequenas cavernas, em sua maioria com cerca de 50 m de desenvolvimento, é muito freqüente (Figuras 20,21). A formação de espeleotemas é outro processo bastante desenvolvido nos depósitos de tufas, principalmente recobrando os depósitos, tal como largamente ocorre em praticamente toda a extensão da serra (Figura 22).



Figura 20 – Vista da entrada de uma caverna desenvolvida nas tufas na escarpa do Morro da Sauna. Cavidades de pequenas dimensões são muito comuns no depósito. Foto: Augusto Auler, 2005.

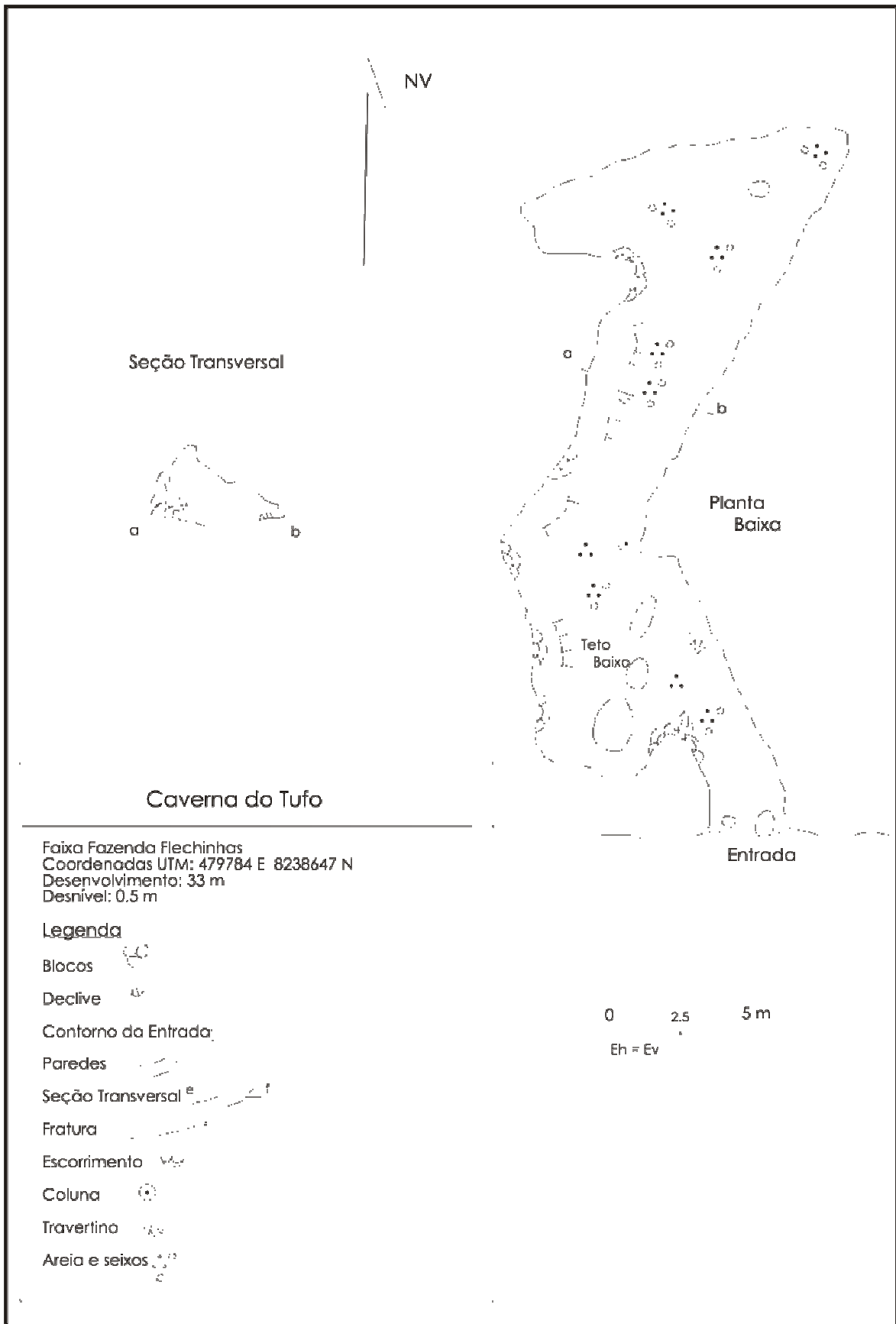


Figura 21 – Mapa de uma caverna desenvolvida em tufas na serra das Araras. Fonte: Geoklock, 2001.



Figura 22 – Abrigo formado dentro do depósito tufáceo próximo de Mata Cachorro, exibindo variedade de estalactites e cortinas. Resulta de um processo de evolução do depósito. Fonte: Daniel Corrêa, 2005.

Os espeleotemas formados sobre a escarpa resultam de um processo de evolução do depósito de tufas, através da redissolução do material tufáceo original e posterior precipitação sobre o maciço, principalmente na forma de cortinas de recobrimento, e estalactites.

A formação das cavernas parece estar ligada tanto a um processo sindeposicional, concomitante a formação do depósito, como também a uma evolução do depósito. Os abrigos são formados também a partir dessa evolução do depósito, onde grandes blocos tufáceos vão se desprendendo do paredão, dando origem a enormes vazios na escarpa, que por vezes, são recobertos por enormes estalactites.

Cavidades sindeposicionais exibem uma morfologia geralmente retilínea, desenvolvida a partir de espaços vazios existentes na rocha que serviu de base à formação da tufa, em especial o calcário calcítico (Figura 23). Estes vazios foram parcialmente preenchidos pela tufa, a qual está sendo paulatinamente eliminada. As cavernas essencialmente pós-deposicionais encontradas exibem uma morfologia curvilínea, e desenvolveram-se integralmente no maciço tufáceo. Resultam, normalmente, da ação da água corrente que se aproveitando de zonas de fraqueza do maciço foram escavando e dando origem à cavidade. Cavernas pós-deposicionais são, em geral, bastante

ornamentadas por espeleotemas, ao passo que àquelas sindeposicionais, desenvolvidas em calcários calcíticos, não.

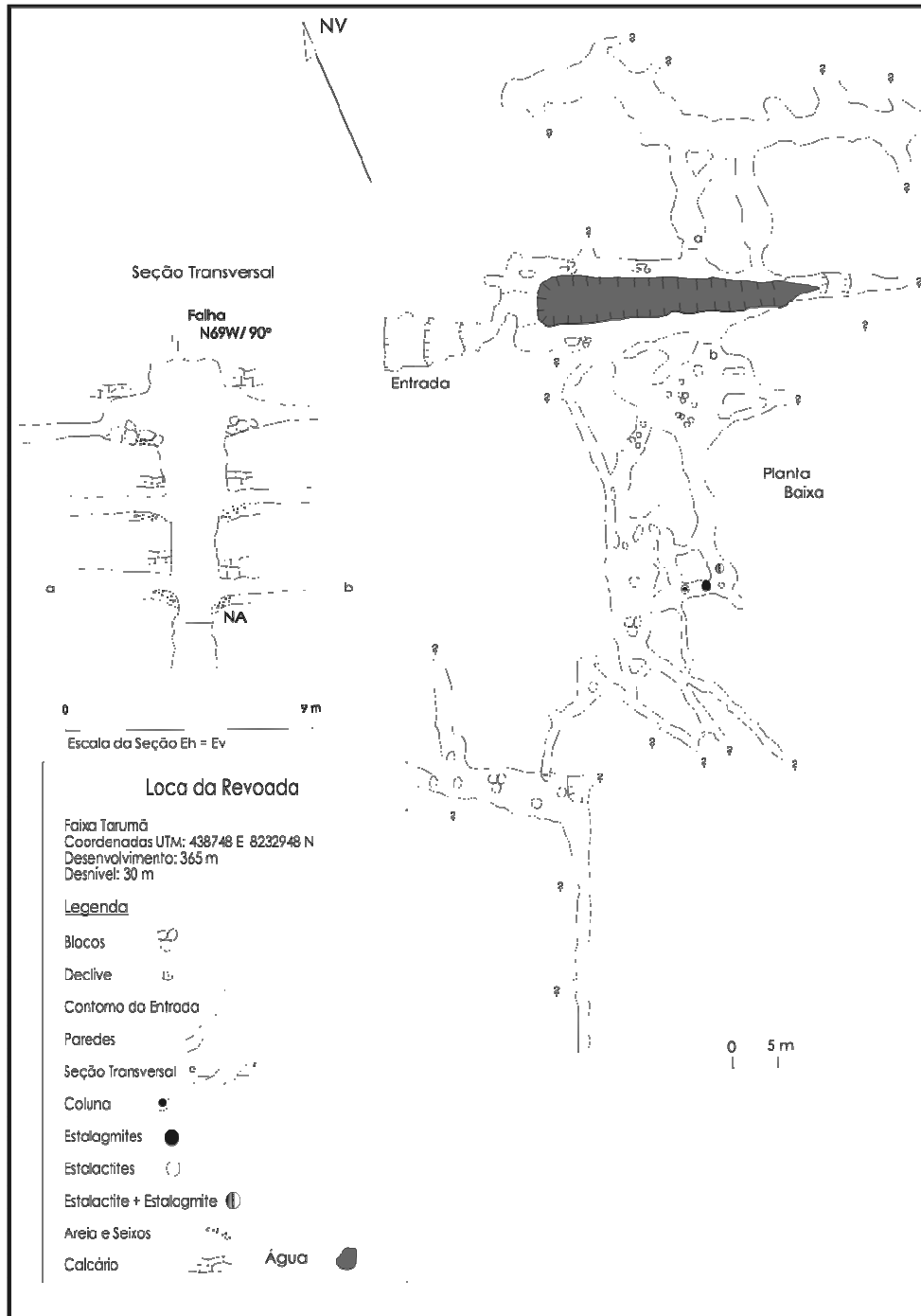


Figura 23 – Caverna desenvolvida a partir das fraturas no calcário, parcialmente entupidas por tufas. Fonte: Geoklock, 2001.

De um modo geral a carstificação nessa porção da Província Serrana é bastante limitada sobre os carbonatos Cambrianos e extremamente pronunciada nos carbonatos Quaternários da Formação Xaraiés. A carstificação nos terrenos de litologia cambriana,

representada principalmente por cavernas e dolinas, está vinculada em especial a espaços vazios deixados pelas fraturas.

#### ***5.4 - A questão da terminologia estratigráfica da Formação Xaraiés***

Existe uma série de questionamentos com relação à aplicabilidade do termo “Formação Xaraiés” no contexto dos variados depósitos tufáceos matogrossenses e sul-mato-grossenses. Este termo foi utilizado pela primeira vez por Almeida (1945) ao descrever litotipos carbonáticos que ocorrem de forma irregular na região entre as cidades de Corumbá e Ladário (MS). O referido autor propôs a distinção de pelo menos quatro tipos de rochas sob essa denominação: (1) Tufo calcáreo com vegetais fósseis; (2) Tufo calcáreo, leve, muito esponjoso; (3) Travertino com gasterópodos; e (4) conglomerados com cimento calcáreo. Além destes, o autor inclui sob a denominação de Formação Xaraiés, rochas maciças e estratificadas, com leve mergulho para norte, resultado da substituição dos folhelhos da Formação Tamengo, pelos calcários Xaraiés (Figura 24).

Almeida (1964) voltou a se utilizar da denominação de Formação Xaraiés para os depósitos calcários da Serra das Araras (MT). Os trabalhos geológicos posteriores mantiveram a utilização dessa nomenclatura, denominando indiscriminadamente todas as ocorrências de tufas calcárias aí localizadas sob o nome de Formação Xaraiés (Ribeiro Filho *et al.* 1975; Luz *et al.* 1978; Durão, 1999).



Figura 24 – Escadaria do porto de Corumbá (MS) com vista à secção dos folhelhos da Formação Tamengo, parcialmente substituídos por carbonatos quaternários. Foto: Augusto Auler, 2005.

A despeito dos tipos propostos por Almeida (1945) não foram identificados durante nossos trabalhos de campo na região de Corumbá, litotipos que se incluem nos tipos 1 e 2 por ele descritos. Rochas maciças de cor predominantemente creme-clara, constituída por uma matriz carbonática e dominadas por seixos principalmente calcários, onde o material fóssil é virtualmente ausente, representam grande parte das rochas Quaternárias identificadas na escarpa fluvial do rio Paraguai, incluídas no tipo 4 definido pelo autor.

No entanto são aquelas rochas descritas em Corumbá como resultantes de um processo de substituição dos folhelhos da Formação Tamengo, pelos calcários Xaraiés, que compõem a maior parte dos afloramentos calcários de idade supostamente Quaternária nessa região. Parece-nos, contudo, que sem considerar a cronologia, essas rochas não devem ser incluídas sob a denominação de Formação Xaraiés, tendo em vista que sua gênese difere das outras litologias calcárias aí encontradas, já que aparenta estar ligada a um processo de evolução pedogenética.

Almeida (1965) aplica mais uma vez o nome Formação Xaraiés a depósitos calcários recentes localizados na região da Serra da Bodoquena (MS), onde descreve a ocorrência de tufas e travertinos (tufas maciças e afossilíferas), presentes principalmente em antigos terraços fluviais, ou em locais sem relação com a drenagem fluvial atual.



No caso das ocorrências sul-matogrossenses alguns autores optaram por restringir a utilização da Formação Xaraiés exclusivamente para as rochas carbonáticas resultantes da substituição do folhelhos da Formação Tamengo, distribuídos na escarpa do rio Paraguai na região de Corumbá, propondo novas nomenclaturas aos tipos eminentemente tufáceos da região da serra da Bodoquena, denominados de Calcário Pantanal do Miranda e Tufas da Serra da Bodoquena (Boggiani e Coimbra, 1995; Ribeiro *et al.* 2001).

O Calcário Pantanal do Miranda caracteriza-se por lentes carbonáticas depositadas sobre areias holocênicas, onde freqüentemente são encontrados conchas de moluscos fluviais. Ocorrem também na forma de nódulos de concreção ao redor de troncos de árvore. Boggiani e Coimbra (1995) sugerem que estas rochas foram formadas em um ambiente de sedimentação lacustre, através da elevação do nível de água das drenagens que fluíam com baixo gradiente hidráulico.

As tufas da Serra da Bodoquena foram agrupadas em dois grupos principais: (1) repesas e cachoeiras de tufas; (2) micritas inconsolidadas. O primeiro provem de um ambiente fluvial onde a sedimentação é atualmente presente, e o outro se caracteriza por um calcário pulvulento originado em um ambiente pretérito, submetido hoje a intenso processo intempérico (Boggiani *et al.* 2002).

Acredita-se que o termo Formação Xaraiés seja o mais adequado, pelo menos neste momento, para se referir a grande variedade de tipos carbonáticos, genericamente denominados de tufas, presentes tanto na Serra das Araras, como na região da Serra da Bodoquena, além daqueles essencialmente tufáceos da região de Corumbá, excluindo-se aqueles oriundos da substituição dos folhelhos da Formação Tamengo.

O referido Calcário Pantanal do Miranda possui algumas características, tais como presença de estruturas fósseis, calcificação de troncos, matriz essencialmente carbonática com material detrítico subordinado, as quais qualificam essa rocha como uma tufa. Desta forma acredita-se que a utilização desse termo recentemente proposto deva ocorrer, se necessário, subordinado a Formação Xaraiés, do ponto de vista da nomenclatura geológica. Da mesma forma Tufas da Serra da Bodoquena poderia ser utilizada como outra especialização da Formação Xaraiés.

É nossa opinião também que os calcários Quaternários de Corumbá definidos nos quatro tipos originalmente estabelecidos por Almeida (1945), devem permanecer sob a denominação original do autor de Formação Xaraiés, já que representam os exemplos tipo da maioria das ocorrências tufáceas do centro oeste brasileiro, bem como as tufas encontradas na porção oriental da Serra das Araras, excluindo-se as tufas recém formadas.

Os depósitos fósseis de tufas calcárias do centro oeste brasileiro, excluindo-se as tufas em formação ou recém formadas, sempre estiveram agrupadas sobre a denominação de Formação Xaraiés, primeiro na região de Corumbá e duas décadas depois na Serra das Araras e da Bodoquena (Almeida, 1945, 1964, 1965), sendo um termo extremamente representativo dos depósitos a que se refere, ou seja litotipos carbonáticos bastante recentes e de ocorrência freqüente nas morrarias que bordejam o Pantanal.

Somente a ampliação dos estudos destes depósitos, especialmente no que diz respeito a petrografia, fácies sedimentares e cronologia irão permitir a criação de outras nomenclaturas de identificação dessas tufas calcárias da região peripantaneira, talvez em futuras categorias de membros da Formação Xaraiés, enquanto isso não houver permanece a nomenclatura mais genérica.

## Capítulo 6

# RESULTADO DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

### 6.1 - Fluorescência de Raios-X

Vinte e três amostras de tufas, exemplares das mais diversas feições macroscópicas assumidas por essa rocha incluído amostras de tufas neoformadas, 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 (Tabela 3).

Tabela 3 – Contextualização das amostras submetidas à análise por FRX.

Identificação da amostra	Ponto de campo	Vinculação da amostra	Contextualização da amostra
TUF011104	018	Formação Xaraiés	Coletada sobre o platô do Morro do Meio (setor nordeste do depósito), em porção proximal do depósito. Retirada de um “campo” de tufas erodidas e bastante alteradas, aparentemente <i>in situ</i> . A amostra em si exibe uma sucessão de camadas cristalinas e detríticas.
TUF021104	019	Formação Xaraiés	Amostra rolada coletada em porção distal cerca de 400 m da amostra anterior, e bastante alterada.
TUF061104	022	Formação Xaraiés	Amostra coletada de depósito <i>in situ</i> na escarpa do Morro do Meio e também bastante alterada.
TUF071104	036	Formação Xaraiés	Amostra coletada em porção frontal do depósito, entre Morro do Veado e da Sauna (setor central do depósito). Amostra alterada e <i>in situ</i> .
TUF081104	008	Formação Xaraiés	Amostra rolada bastante endurecida com camadas de calcita bastante preservadas. Coletada no sopé do Morro do Veado (setor sudoeste do depósito).
TUF020305	026	Formação Xaraiés	Amostra coletada de depósito <i>in situ</i> em perfil de escavação da drenagem no Morro do Meio.

TUF030305	027	Formação Xaraiés	Amostra coletada no mesmo perfil anterior em ponto mais baixo, no contato das tufas com os tilitos Puga. Corresponde ao tipo tufáceo conglomerático.
TUF050305	029	Formação Xaraiés	Amostra coletada na escarpa do Morro do Meio, próximo ao córrego Caninana. Corresponde ao segundo tipo descrito nesse trabalho e mais comum no depósito.
TUF070305	031	Formação Xaraiés	A amostra foi coletada no sopé do Morro do Meio, cerca de 10m do córrego Caninana. Um colossal bloco de calcita parcialmente enterrado, onde não se sabe a condição <i>in situ</i> .
TUF090305	033	Formação Xaraiés	Amostra semelhante a anterior, porém de conteúdo cristalino mais alterado coletado nas proximidades da área anterior.
TUF100305	034	Formação Xaraiés	Amostra coletada rolada no sopé da fazenda Santa Angelina. Exibia camadas bastante endurecidas e cristalinas
TUF120305	035	Formação Xaraiés	Coletada cerca de 200 m do ponto anterior, em depósito <i>in situ</i> de escarpa. Exibia camadas cristalinas milimétricas e não raras impressões botânicas.
TUF130305	035	Formação Xaraiés	Coletada <i>in situ</i> bem próxima da amostra anterior, sendo bastante vugular e de conteúdo fóssil não observável.
TUF140305	035	Formação Xaraiés	Amostra localizada nas imediações da anterior e com características bastante semelhante a TUF120305.
TUF170305	037	Formação Xaraiés	Coletada a meia encosta na área da fazenda Boi Branco. Era uma amostra extremamente maciça, com discretas camadas deposicionais e afossilífera.
TUF180305	039	Formação Xaraiés	Amostra coletada na área da fazenda Sangradouro – Morro da Sauna. Coletada <i>in situ</i> na transição tálus-escarpa.
TUF240305	042	Recém Formada	Amostra coletada em drenagem estagnada de planície na área da fazenda Sangradouro. Corresponde ao tipo tufáceo recém formado em área não serrana.

TUF260305	043	Recém Formada	Amostra com as mesmas características e coletada cerca de 15 m da anterior.
TUF010705	053	Formação Xaraiés	Amostra coletada <i>in situ</i> da porção terminal a nordeste do depósito. Amostra bastante alterada, com parcela cristalina reduzida, e bastante impressões botânicas.
TUF020705	100	Formação Xaraiés	Amostra rolada coletada na área denominada de Mata Cachorro (entre Morro do Meio e Morro da Sauna), no sopé da escarpa. Amostra bastante alterada, afossilífera, na qual é observada bastante geodos.
TUF011104podre	018	Formação Xaraiés	Camada detrítica de TUF011104.
TUF050604A	007	Recém Formada	Amostra extraída de um depósito jovem já erodido, envolto em um tronco de árvore. “A” indica o topo das camadas do depósito.
TUF050604B	007	Recém Formada	Idem ao anterior, sendo “B” a base do depósito.

A análise dos resultados dos elementos maiores e perda ao fogo (Tabela 4) 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 TUF050604B, 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.

Tabela 4 – Fluorescência de Raios X para elementos maiores e perda ao fogo para amostras de tufas da serra das Araras - dados percentuais (%).

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

A submissão à fluorescência de raios X para as amostras selecionadas não contribuiu na diferenciação macroscópica dos materiais tal como identificadas em campo. Do ponto de vista da composição química as amostras analisadas são muito semelhantes, inclusive quando comparadas as amostras fósseis e aquelas recém formadas.

Houve grande perda ao fogo para todas as amostras, o que é, de certa maneira, surpreendente, já que se esperava 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.

Parece prudente imaginar que as principais diferenças observadas entre os tipos tufáceos da Serra das Araras estejam ligadas ao nível de exposição e alteração a que tem 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 fácies da Formação Xaraiés observadas seriam fruto, sobremaneira, de alterações pós-deposicionais, a exceção do conteúdoossilífero.

## ***6.2 - Datação U/Th das tufas da Serra das Araras***

Foi enviado um total de 20 pares de amostras *coevas* de tufas da Serra das Araras para datação, sendo obtido idades em 11 desses pares de amostras (Tabela 5). Os outros nove 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. A Tabela 6 apresenta uma síntese das principais características dos sítios de coleta e das amostras das quais foram obtidas idades.

Tabela 5 - Composição isotópica do Urânio e Tório e idades obtidas para amostras de tufas da serra das Araras, através do ICP/MS.

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

Amostra ID	Ponto de campo	Peso g	<sup>238</sup> U ppb	<sup>232</sup> Th ppt	d <sup>234</sup> U medido	[ <sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U] atividade	[ <sup>230</sup> Th/ <sup>232</sup> Th] ppm <sup>d</sup>	Idade sem correção	Idade corrigida <sup>c,e</sup>	d <sup>234</sup> U <sub>inicial</sub> corrigida
TUF03A	027	0,4612	34,9 ± 0,1	9583 ± 31	30,9 ± 5,4	1,03576 ± 0,00808	62 ± 0	535.403 ± 232050	528.150 ± 195471	137,5
TUF03B		0,2921	30,5 ± 0,1	4267 ± 20	20,4 ± 9,8	1,02610 ± 0,00831	121 ± 1	638.580 muito velha	634.892	122,7
TUF07A	031	0,6266	118,1 ± 0,3	142 ± 7	39,3 ± 2,3	1,05361 ± 0,00445	14427 ± 754	662.249 muito velha	662.221	255,2
TUF07B		0,6493	175,4 ± 0,3	152 ± 7	39,4 ± 1,8	1,05333 ± 0,00430	20117 ± 954	645.207 muito velha	645.187	244,1
TUF11A	035	0,2741	22,8 ± 0,1	323 ± 17	303,8 ± 10,2	1,39458 ± 0,01160	1624 ± 86	440.335 ± 55934	440.134 ± 55850	1053,8 ± 214,9
TUF11B		0,2267	21,3 ± 0,1	270 ± 20	290,7 ± 9,1	1,30481 ± 0,01252	1693 ± 129	312.153 ± 18978	311.936 ± 18947	701,9 ± 46,5
TUF15A	036	0,2134	27,0 ± 0,1	5315 ± 26	492,6 ± 11,5	1,41642 ± 0,01177	119 ± 1	226.226 ± 7740	223.219 ± 7687	925,7 ± 30,0
TUF15B		0,1798	36,3 ± 0,1	1514 ± 26	498,7 ± 10,4	1,42771 ± 0,01196	565 ± 11	228.284 ± 7507	227.660 ± 7473	949,0 ± 28,7
TUF16A	036	0,1759	17,2 ± 0,1	15606 ± 49	437,5 ± 15,1	1,00150 ± 0,01537	18 ± 0	119.578 ± 3897	101.629 ± 10409	583,1 ± 26,1
TUF16B		0,1424	19,9 ± 0,1	7286 ± 40	497,5 ± 14,9	1,03699 ± 0,01454	47 ± 1	117.569 ± 3491	111.051 ± 4690	680,9 ± 22,4
TUF20A	040	0,3255	2877,8 ± 6,1	2423 ± 15	261,4 ± 2,4	1,35637 ± 0,00651	26602 ± 204	525.054 ± 46950	525.042 ± 46946	1153,0 ± 189,0
TUF20B		0,2294	2955,8 ± 5,9	1513 ± 21	261,3 ± 2,5	1,35617 ± 0,00571	43739 ± 616	524.835 ± 42321	524.828 ± 42318	1151,8 ± 166,1
TUF22A	040	0,4229	4340,9 ± 10,4	1121 ± 11	332,3 ± 2,2	1,44757 ± 0,00572	92579 ± 966	488.992 ± 27000	488.989 ± 26999	1323,6 ± 114,2
TUF22B		0,1120	2929,9 ± 8,9	2132 ± 42	333,9 ± 2,7	1,44379 ± 0,00660	32754 ± 649	466.522 ± 26604	466.513 ± 26602	1248,0 ± 106,0
TUF27A	041	0,7503	29,5 ± 0,1	275 ± 6	1186,6 ± 10,0	1,14966 ± 0,00890	2037 ± 49	75.356 ± 922	75.246 ± 922	1467,8 ± 12,9
TUF27B		0,4262	31,0 ± 0,1	915 ± 12	1158,8 ± 13,6	1,13607 ± 0,01052	634 ± 10	75.506 ± 1155	75.152 ± 1164	1433,0 ± 17,4
TUF29A	047	0,6215	29,7 ± 0,1	3 ± 7	11,7 ± 4,2	1,01596 ± 0,00617	164717 ± 406935	767.621 muito velha	767.618	102,8
TUF29B		0,6426	26,7 ± 0,1	9 ± 7	14,4 ± 5,9	1,01900 ± 0,00665	49759 ± 39753	704.061 muito velha	704.052	105,3
TUF 30A	023	0,2285	28,4 ± 0,1	188 ± 20	363,3 ± 6,7	1,36545 ± 0,00944	3404 ± 368	284.963 ± 10209	284.857 ± 10202	812,7 ± 28,8
TUF 30B		0,6008	25,0 ± 0,1	824 ± 8	283,4 ± 5,4	1,27301 ± 0,00808	637 ± 7	288.737 ± 9743	288.150 ± 9701	640,0 ± 22,0
TUF 31A	024	0,5809	7,7 ± 0,0	836 ± 8	272,3 ± 9,7	1,17222 ± 0,01072	177 ± 2	225.273 ± 8579	223.154 ± 8489	511,7 ± 22,2
TUF 31B		0,8471	9,8 ± 0,0	937 ± 6	276,7 ± 6,7	1,18257 ± 0,00906	205 ± 2	228.442 ± 6783	226.608 ± 6743	525,0 ± 16,4

Erros analíticos são de 2s em média.

$$^a d^{234}U = ([^{234}U/^{238}U]_{atividade} - 1) \times 1000.$$

$$^b d^{234}U_{inicial} corrigida foi calculada com base na idade <sup>230</sup>Th (T), ou seja.,  $d^{234}U_{inicial} = d^{234}U_{medida} X e^{1234 * T}$ , e T é a idade corrigida.$$

$$^c [^{230}Th/^{238}U]_{atividade} = 1 - e^{-\lambda_{230}T} + (d^{234}U_{medido}/1000)[(I_{230}/(I_{230} - I_{234}))(1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})T})], \text{ onde } T \text{ é a idade.}$$

A constante de decaimento é de  $9.1577 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$  para <sup>230</sup>Th,  $2.8263 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$  para <sup>234</sup>U, e  $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  para <sup>238</sup>U (Cheng et al., 2000).

<sup>d</sup> O grau de contaminação detrítica <sup>230</sup>Th é indicado pela razão atômica [<sup>230</sup>Th/<sup>232</sup>Th] no lugar da razão de atividade.

<sup>e</sup> Correção das idades foram calculadas usando uma média crustal <sup>230</sup>Th/<sup>232</sup>Th com razão atômica of  $4.4 \times 10^{-6} \pm 2.2 \times 10^{-6}$ .



Tabela 6 - Sítios e características amostrais.

<b>Amostra (ID)</b>	<b>Ponto de campo</b>	<b>Características e contextualização</b>
TUF 03A/03B (Formação Xaraiés)	027	Base do depósito de tufas sobre os tilitos Puga exposto pela drenagem no setor nordeste da escarpa, coletado <i>in situ</i> . Corresponde a primeira fácies descrita para a Formação Xaraiés, de conteúdoossilífero reduzido, de aspecto conglomerático, e dotada normalmente de geodos de calcita ou quartzo.
TUF 07A/07B (Formação Xaraiés)	031	Fragmento de calcita bastante cristalino coletado <i>in situ</i> na margem direita do córrego Caninana, aparentemente próximo da base do depósito nessa seção.
TUF 11A/11B (Formação Xaraiés)	035	Coletada de um dos diversos blocos de grande porte isolados no sopé do depósito na área da faz. Santa Angelina. Amostra de conteúdoossilífero reduzido, bastante maciça e sem estratificação aparente.
TUF 15A/15B (Formação Xaraiés)	036	Coletado <i>in situ</i> na descontinuidade tálus/escarpa também na área da faz. Santa Angelina. Amostra corresponde a fragmentos de calcita bastante cristalinos extraídos da tufa.
TUF 16A/16B (Formação Xaraiés)	036	Coletado <i>in situ</i> cerca de 5 m acima da descontinuidade referida no ponto anterior. Correspondem igualmente a fragmentos de calcita bastante cristalinos extraídos da tufa.
TUF 20A/20B (Formação Xaraiés)	040	Coletado na escarpa do Morro da Sauna <i>in situ</i> . Do depósito foi extraído uma amostra de mão, bastante escurecida, da qual extraiu-se em laboratório porções mais cristalinas de calcita para datação.
TUF 22A/22B (Formação Xaraiés)	040	Fragmento de uma capa entremeada ao maciço de tufa no Morro da Sauna.
TUF 27A/27B (Espeleotema de recobrimento)	041	Espeleotema (cortinas) recobrindo as tufas na região de Mata Cachorro. Uma excelente amostra onde a feição cristalina mostrava-se bastante preservada.
TUF 29A/29B (Formação Xaraiés)	047	Fragmentos muito bem preservados de calcita na área do córrego Caninana, e aparentemente bem próximos da base do depósito. Não se sabe exatamente a condição <i>in situ</i> ou rolada da amostra.
TUF 30A/30B (Formação Xaraiés)	021	Coletada <i>in situ</i> a meia encosta na fazenda Santa Angelina. Amostra de mão bastante escurecida, estratificada em delgadas camadas ora essencialmente cristalinas, outras bastante detríticas. Em laboratório as porções mais cristalinas foram extraídas e enviadas ao laboratório de datação.
TUF 31A/31B (Formação Xaraiés)	024	Amostra coletada de um grande bloco ao pé da escarpa na fazenda Boi Branco. Exibia uma sucessão de camadas bastante semelhante a anterior, e mostrava-se igualmente escurecida.

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 um deles. Este par amostral, apesar de serem *coevas* de uma mesma camada, demonstrou desequilíbrio isotópico, especialmente confirmado pelos valores da quantidade de  $^{234}\text{U}_{\text{inicial}}$  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.

As amostras *coevas* TUF03,07,29 são amostras bastante antigas que praticamente extrapolam o limite do método de datação empregado, no entanto, a antiguidade representada por essas amostras é um dado que justifica sua utilização apesar dos erros associados. As três amostras foram coletadas nas porções basais do depósito e correspondem justamente àquelas amostras que apresentaram as idades mais antigas. Não se pode correlacionar em definitivo o início da deposição das tufas da Formação Xaraiés na Serra das Araras à estas idades, já que os erros associados ao limite da técnica podem levar os valores ao infinito, ou seja, as amostras com idades em torno de 600 mil anos, poderiam representar amostras muito mais antigas.

As idades obtidas foram organizadas em ordem decrescente (Tabela 7) levando a crer em uma deposição multifásica que, a princípio ocupou grande parte do pleistoceno médio e principalmente superior. Do ponto de vista crono-topográfico as idades obtidas também são consistentes, já que de modo geral as idades obtidas decrescem com a altitude, as amostras mais velhas são aquelas da base do depósito, e as mais novas das porções superiores da escarpa.

Esta relação entre idades obtidas e a altitude não é uniforme em todo o depósito, já que a altitude basal do depósito parece variar ao longo da faixa de deposição. Portanto as relações sugeridas entre essas duas variáveis, expressa na tabela 7, só são procedentes quando analisadas amostras de uma mesma seção do depósito, além disso, as amostras roladas, ou que a condição *in situ* não esteja esclarecida não podem ser correlacionadas sob este aspecto. Certamente é uma comparação preliminar tendo em vista a grande dimensão do depósito e a reduzida base de dados cronológicos.

Tabela 7 - Distribuição decrescente das idades obtidas correlacionadas à altitude aproximada das amostras.

Amostra	Idade	Altitude aproximada (m)
TUF29A	767.618	195
TUF29B	704.052	
TUF07A	662.221	220
TUF07B	645.187	
TUF03B	634.892	230
TUF03A	528.150 ± 195471	
TUF20A	525.042 ± 46946	240
TUF20B	524.828 ± 42318	
TUF22A	488.989 ± 26999	240
TUF22B	466.513 ± 26602	
TUF11A	440.134 ± 55850	250
TUF11B	311.936 ± 18947	
TUF 30B	288.150 ± 9701	200
TUF 30A	284.857 ± 10202	
TUF 31B	226.608 ± 6743	180
TUF 31A	223.154 ± 8489	
TUF15B	227.660 ± 7473	220
TUF15A	223.219 ± 7687	
TUF16B	111.051 ± 4690	230
TUF16A	101.629 ± 10409	
TUF27A	75.246 ± 922	310
TUF27B	75.152 ± 1164	

A aplicação da técnica de datação utilizada mostrou-se eficiente nas tufas calcárias da Serra das Araras, inicialmente do ponto de vista isotópico, já que as amostras *coevas* exibiram valores de elementos radiogênicos muito semelhantes e, levando em conta os erros associados, apresentaram idades estatisticamente idênticas, exceção feita a amostra TUF-11, como explicado anteriormente.

Na perspectiva de concordância estratigráfica, a despeito das dúvidas com relação a estratigrafia do depósito, os resultados também demonstraram confiabilidade, já que valores extremos foram encontrados em posições estratigráficas indubitavelmente opostas. As amostras TUF03 coletadas diretamente da base do depósito tufáceo são muito antigas, ao passo que as amostras mais recentes TUF27, que são justamente espeleotemas de recobrimento sobre o maciço principal, de maneira esperada um produto mais novo resultaram em idades mais novas.

O estabelecimento de uma relação crono-estratigráfica entre o conjunto de idades obtidas não é possível, primeiro porque a amostragem é limitada, sobretudo quando observadas as dimensões do depósito, e também porque não há boa definição da estratigrafia.

No entanto algumas comparações parecem ser indicativas dessa relação entre estratos deposicionais e idade, por exemplo, as amostras TUF16, com idade em torno de 100 mil anos, está posicionada em um pacote cerca de 5 m acima de TUF15, com idade em torno de 220 mil anos. Outra relação que pode ser destacada é entre as amostras TUF20 e TUF22, a primeira coletada de um depósito de tufas *in situ* com idade obtida em torno de 520 mil anos, mostra-se recoberta por TUF22 – uma capa calcítica, com cerca 480 mil anos.

A condição atual do depósito, marcada por uma evolução complexa, alternando entre sucessivas fases de sedimentação química e erosão de tufas, dificulta a utilização dos dados geocronológicos em maior detalhe. Muitas amostras coletadas provêm de depósitos onde a condição *in situ* é duvidosa, tais como TUF11 e TUF31 e até mesmo TUF30. Blocos de tufa gigantes ocupam a base da escarpa em um grande trecho e não há indícios que permitam reconstruir sua condição original, se alteradas e individualizadas no mesmo local ou roladas, provenientes de porções mais elevadas do depósito.

A despeito desses problemas, a obtenção de idades absolutas e confiáveis para as tufas da Serra das Araras constitui um importante avanço, pois consiste no primeiro programa sistemático de datação desse material na Serra das Araras, sendo também as primeiras datações U/Th bem sucedidas empregadas em tufas nessa região.

As idades apuradas serviram como indicativo de uma deposição muti-temporal e também levam a crer, levando em consideração limitações amostrais, em um limite deposicional em torno de 100 mil anos. A amostragem de materiais para datação seguiu, a exceção de depósitos exumados pela drenagem, um padrão de coleta em superfície. Este padrão amostral sugere que as idades obtidas correspondam às porções mais jovens do depósito e que, portanto haveria de se esperar registros de idades (inferiores a 100 mil anos) de tufa Xaraiés caso tivessem sido formadas. Sem dúvida é uma suposição, que precisa ser melhor investigada, e que carece de um maior acervo cronológico. Exemplares da Formação Xaraiés com idades inferiores a 100 mil anos podem não ter sido amostradas, ou já foram eliminadas da superfície nesse processo de desmonte do depósito.

A única amostra mais recente é um espeleotema de recobrimento, formado pela ação simples de uma solução saturada em  $\text{CaCO}_3$ , possível de ser formada a qualquer tempo com uma disponibilidade hídrica mínima.

## Capítulo 7

# GÊNESE DAS TUFAS DA SERRA DAS ARARAS

### *7.1 - Tufas recém formadas ou em formação*

As tufas recém formadas, como anteriormente já mencionado, ocorrem majoritariamente associadas aos canais de drenagem ativa localizados no setor serrano da área de estudo, sendo absolutamente restritas nas terras baixas. É uma constatação que atesta a importância da turbulência como um fator determinante na liberação do CO<sub>2</sub>, para precipitação de calcita e formação de tufa. São nas áreas elevadas em que o fluxo apresenta maior turbulência devido ao elevado gradiente hidráulico resultante da diferença altimétrica existente. A captação orgânica de CO<sub>2</sub> nas áreas de fluxo acelerado torna-se bastante reduzida especialmente pelo fato de ser um ambiente que limita a fixação dos organismos.

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 tufácea em áreas de drenagem estagnada 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 recém é indicativo de um comportamento cíclico na formação dessas rochas, e provavelmente ligado aos intervalos sazonais, representando os intervalos entre condições ótimas a sedimentação química e outros que restringem esse processo. Não foi empregada nenhuma metodologia específica para compreender os efeitos da sazonalidade na formação dessas tufas recentes, mas as observações em campo levam a concluir que o período de inverno (menor precipitação) seja o mais propício ao desenvolvimento dos depósitos.

Seria esperado um maior potencial de formação no verão, onde a precipitação é maior e, portanto há mais água no sistema permitindo acentuada precipitação da rocha. No entanto, 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 (Figura 25).



Figura 25 – A mesma cachoeira da figura 15 vista de longe. A foto é do período de chuvas onde a taxa de precipitação é bastante elevada com resposta de aumento de vazão muito rápido das drenagens. O que se observa em campo nesse período é uma intensa atividade erosiva. Foto: Daniel Corrêa, 2005.

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 (Figura 14).

## 7.2 - Formação Xaraiés

As dimensões do depósito referentes à Formação Xaraiés na Serra das Araras é sem dúvida um fato notável. Ainda que este trabalho tenha apontado para uma espessura do depósito menor daquela consagrada na literatura, ou seja, 20 m confirmados em discordância aos 100 m anteriormente definidos, isto não retira o caráter de excepcionalidade das tufas calcárias da Serra das Araras. Na verdade, este levantamento das reais dimensões da Formação Xaraiés na área, com base na condição atual de depósitos *in situ*, permitiu ratificar a notabilidade do depósito, presente numa extensão de 30 km sobre as faldas da Serra da Araras, uma ocorrência linear para este litotipo sem comparação na literatura.

Identificado as dimensões do depósito, caracterizado minimamente as fácies sedimentares presentes e obtido uma cronologia mínima de formação é o momento para analisar os elementos disponíveis e propor um modelo genético teórico para a deposição da Formação Xaraiés (Figura 26).

As idades obtidas permitiram indubitavelmente atestar o caráter fóssil do depósito e sua antiguidade, se estendendo desde grande parte do Pleistoceno médio até o limite inferior do Pleistoceno superior. Não é possível limitar, no entanto, a esta faixa do tempo, tendo em vista os seguintes: 1-pode-se supor uma antiguidade ainda maior se levado em conta as amostras datadas com idades encontradas no limite do método (600 ka); 2-a amostragem foi limitada a superfície do depósito e a materiais em condições de datação; 3-o depósito foi exposto ao longo do tempo a desmontes e alterações físico-químicas.

Se as idades obtidas não permitiram uma interpretação detalhada de ciclos ou eventos deposicionais, foram suficientes para confirmar a antiguidade do depósito (>600 ka) e a deposição em um intervalo de no mínimo 500 ka, do qual não se pode precisar um contínuo ou ciclos deposicionais, ainda que seja pouco provável uma deposição contínua durante todo esse tempo, especialmente se considerarmos que a formação de tufas é fortemente condicionada pelo clima, disponibilidade hídrica e elevados níveis de CO<sub>2</sub> no solo, e o Pleistoceno é reconhecido por suas variações climáticas freqüentes alterando significativamente as condições ambientais.

A análise por fácies sedimentares das tufas da Serra das Araras não permitiram diferenciações significativas intra-depósito, ratificadas inclusive pelos resultados obtidos em fluorescência de raios X, o que a princípio poderia limitar sua utilização como elemento de interpretação de gênese do depósito, ainda que seja bastante significativo do

ponto de vista evolutivo. Mas na verdade é uma informação muito importante no entendimento da gênese desse depósito.

A constatação que as características macroscópicas observadas são fruto de condições pós-deposicionais, especialmente ligados a exposição atmosférica, ratificados pelas análises químicas, demonstram a reincidência de condições de deposição muito semelhantes para as tufas formadas em diferentes momentos do tempo. Estas condições seriam principalmente ligadas às propriedades químicas do fluxo, a morfologia sobre a qual se depositou, a disponibilidade de sedimentos detríticos, entre outros fatores.

As dimensões do depósito, morfologia atualmente observada, e as relações de contato com outras litologias são os elementos que mais contribuíram na construção de um modelo genético daquelas tufas. É latente a linearidade do depósito de tufas e sua acoplagem sobre a escarpa da Serra das Araras.

A origem do depósito 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 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 indicar 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: inexistem tufas Xaraiés sobre os calcários dolomíticos e a porção proximal dos depósitos coincide com o limite entre as duas litologias cambrianas.

A relação estabelecida entre os membros da Formação Araras não é uniforme ao longo de toda a serra, dessa maneira as porções proximais do depósito variam sobre a serra. Nas seções onde o membro dolomítico encontra-se projetado, ou seja, avança sobre o



membro inferior calcítico, o depósito tufáceo é mais estreito, quando o membro superior apresenta-se mais recuado, maior a largura do depósito tufáceo.

Esta condição geológica e topográfica existente permitia a saída de água em grande quantidade e bastante rica em bicarbonato de cálcio, bem como determinava a existência de um forte gradiente hidráulico. Fluidos supersaturados em bicarbonato de cálcio, devido sua condição hidrogeológica, eram descarregados sobre a vertente e em uma condição de turbulência elevada determinavam a precipitação da calcita e a formação do depósito.

Este modelo genético reforça, mesmo que não esclareça em definitivo, a idéia de uma geometria deposicional essencialmente verticalizada acompanhado o substrato que serviu de base a deposição, rechaçando aquela geometria plana paralela, supostamente transversal ao plano da escarpa e, por conseguinte recusando a espessura de 100 m para o depósito.

O arcabouço estrutural condicionado naquela faixa da Província Serrana de Mato Grosso moldado a partir de estruturas dobradas, interceptado por sistemas de falhas e fraturas Cambrianas, parece ter sido o elemento determinante para a formação de depósito de tamanha dimensão, absolutamente linear, e de expressiva representatividade temporal no Quaternário.

Ainda que o aspecto da geologia estrutural tenha conformado e determinado as condições permissivas ao desenvolvimento do depósito, as mudanças climáticas devem ter servido como mecanismo de controle para formação, interrompendo ou mantendo o fornecimento de água no sistema. Não é possível estabelecer uma significativa correlação entre as idades obtidas para amostras do depósito e variações climáticas associadas, mas há de se supor algum padrão deposicional cíclico condicionado por mudanças climáticas Pleistocênicas. Se partirmos do princípio que o Pleistoceno foi marcado pela freqüência de mudanças climáticas globais, com diferentes reverberações regionais e locais, seria difícil defender a hipótese que para o lapso de tempo datado no depósito Xaraiés (>500 ka) haveria um contínuo climático e por conseguinte deposicional, ainda que as condições estruturais permanecessem as mesmas.

Sendo assim acredita-se que o intervalo de tempo conhecido para os depósitos da Formação Xaraiés represente um período no qual o arcabouço estrutural mantinha condições hidrogeológicas de carga e descarga permissivas a formação dos depósitos, sendo iniciada ou cessada pela disponibilidade de água vinculada a condição do clima, sugerindo então um processo de formação multifásico ocupando no mínimo grande parte do Pleistoceno médio e o limite inferior do Pleistoceno superior.

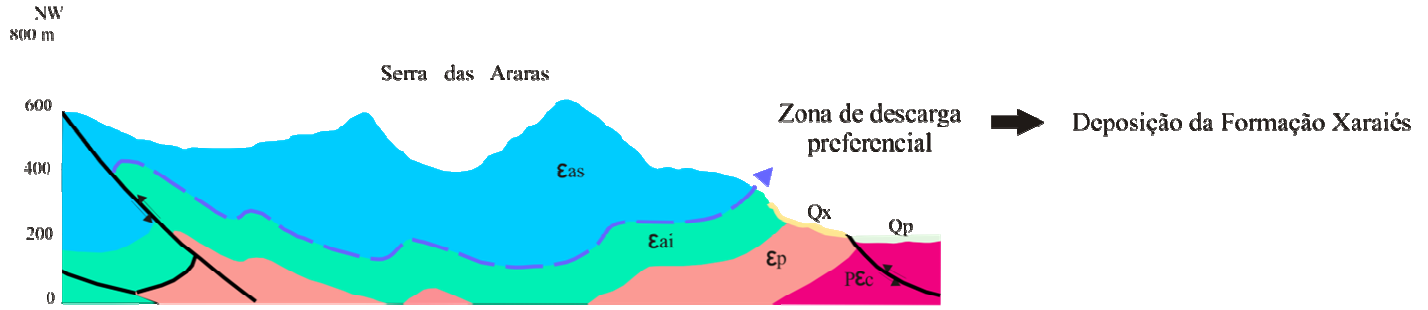
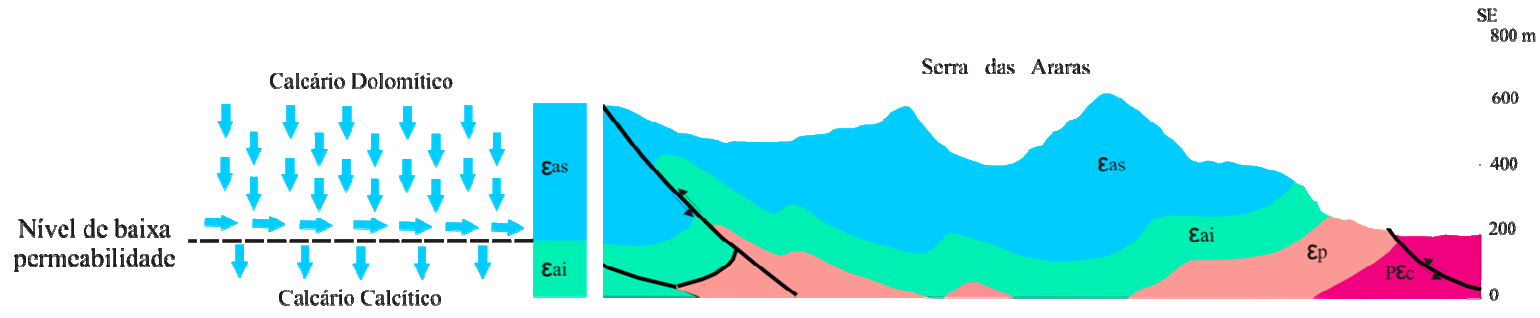
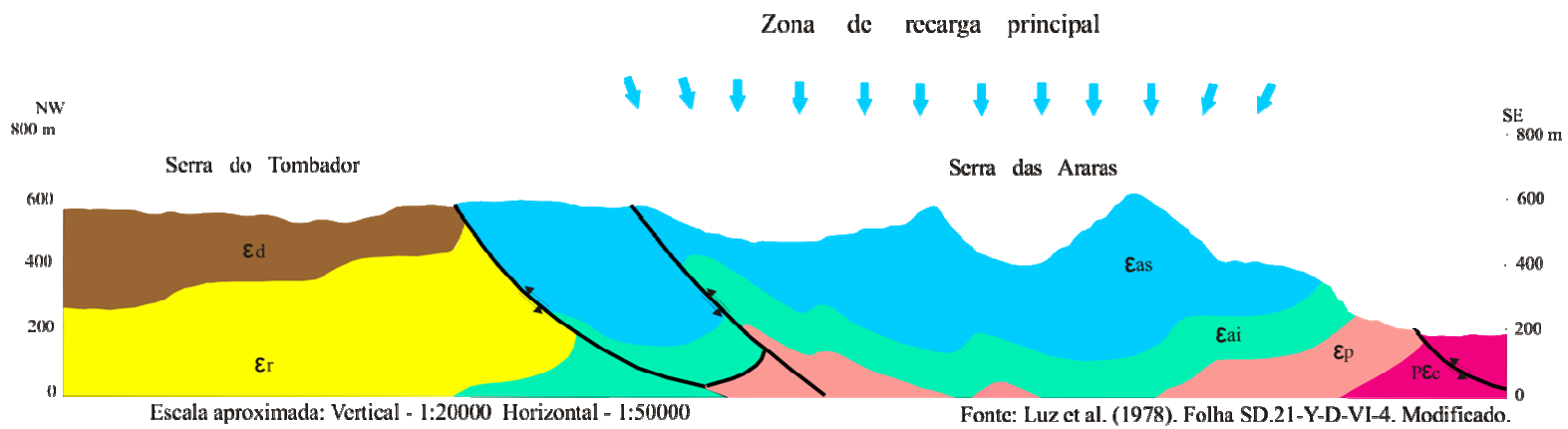


Figura 26 – Modelo genético para deposição da Formação Xaraiés na Serra das Araras.

## Capítulo 8

# CONCLUSÕES

Os depósitos tufáceos da Serra das Araras apresentam-se, como já discutido, em dois principais grupos, tufas em formação ou recém formada e a Formação Xaraiés. São dois grupos distintos, 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 junto ao material rochoso.

Os litotipos de tufas recém formadas 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, ditas neoformadas ou em formação, representem uma nova fase deposicional no mesmo contexto em que ocorreram as fases deposicionais datadas referentes à Formação Xaraiés.

Ocorrem, diferentemente das tufas Xaraiés, também sobre os dolomitos, membro superior da Formação Araras. A água de origem das tufas recém formadas não parecem neste caso ter um ponto de saída tão marcado como a dos litotipos mais antigos. A sua gênese parece ligada à participação de águas de origem autogênica e alogênica.

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), sem dúvida diferentes das atuais. A Formação Xaraiés é um depósito eminentemente de vertente, praticamente contínuo ao longo de 30 km de extensão, ocorrido em função de uma estrutura geológica específica e fases temporais de muita disponibilidade de água. As condições que permitiram sua formação não existem atualmente, já que é virtualmente inexistente a formação de tufas nos dias atuais em condições extra-fluviais; a formação de tufas em ambiente de vertente é absolutamente restrita.

Tal como já exposto acredita-se que a água bicarbonatada responsável pela formação dessas rochas originou-se do contato entre os membros inferior e superior da Formação

Araras, com base nas informações de campo que não reconhecem a presença de tufas Xaraiés acima do contato das litologias calcíticas Cambrianas. Portanto entende-se que a origem das rochas desta formação sobre o plano de falha das Araras e sobre os lajedos de calcário (membro inferior) está ligada à existência de surgências de água autogênica supersaturada em  $\text{CaCO}_3$ , a qual extravasava no contato dos membros calcíticos e dolomíticos depositando-se ao atingir a superfície.

As informações estruturais e de petrografia dos litotipos carbonáticos que permitiriam um melhor entendimento sobre o comportamento hidrogeológico dessas rochas é bastante restrita. No entanto, de acordo com Luz *et al.* (1978) e Barros (1982), as características descritas para essas litologias contribuem para sustentar a idéia apresentada, na qual os calcários dolomíticos (membro superior da Formação Araras) funcionariam como excelentes pontos de recarga de água, enquanto o membro inferior determinaria uma zona de acúmulo e percolação tendendo na direção da escarpa da Serra das Araras, onde foram formadas as tufas da Formação Xaraiés.

Os dolomitos, posicionados no topo da seqüência, são maciços, sem estratificação aparente, de granulação fina, e de porosidade primária elevada, o que garantiria, a princípio, a infiltração das águas meteóricas em direção ao membro inferior calcítico. Este por sua vez apresenta características distintas, sendo também maciços e de granulação fina, porém bastante estratificados, alternando entre camadas silicosas e outras mais ricas  $\text{CaO}$ , garantindo uma porosidade primária baixa, reduzindo a capacidade de infiltração e facilitando o escoamento lateral.

Infelizmente inexitem dados sobre porosidade secundária dessas rochas, especialmente sobre o membro dolomítico, o que poderia reforçar a hipótese da mobilidade vertical do fluxo sobre esta litologia, através da existência de falhas e sistemas de fraturamento, ajudando em um melhor entendimento também das tufas recém formadas. Mas a própria estruturação das rochas em um sistema de sinclinal parece ser um fator que contribuiu na conformação de um sistema de recarga e extravasamento de água. A unidade supostamente impermeável (membro calcítico) exibe uma geometria em arco côncavo que ofereceria condições para a existência de um sistema reservatório de água.

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.

Seria muito difícil compreender a gênese dessas rochas sem a participação de um forte condicionante estrutural que permitisse e orientasse a saída de água para a formação da rocha nos 30 km de extensão na qual ocorre. De um modo geral as tufas, quando não formadas ao longo das drenagens, estão restritas a sítios de pequenas dimensões, em consonância aos pontos de saída de água. Nascentes, olhos d'água, responsáveis pela formação das tufas em vertente, normalmente são pequenas e pontuais, resultando em depósito de dimensões compatíveis e também pontuais.

Rejeitar a princípio a possibilidade do fator paleoclimático na explicação dos períodos de formação das tufas, torna mais difícil o entendimento da gênese e evolução do depósito. Como explicar a existência de múltiplas fases deposicionais que não por períodos mais úmidos e outros mais secos, alternando entre momentos de sedimentação e erosão respectivamente. A afirmação da existência de múltiplas fases deposicionais é feita assumindo-se o pressuposto que em tão longo período decorrido seria inadmissível a existência de um sistema deposicional contínuo. As modificações paleoclimáticas em larga escala já identificadas ao longo do Pleistoceno, certamente alteraram as variáveis envolvidas na formação de tufas, inibindo ou potencializando a formação do depósito.

Diferentemente de outros trabalhos que utilizaram a datação em tufa como um registro *proxy* para interpretações paleoclimáticas, este trabalho não pode seguir nesta linha. Ainda não há como associar as idades obtidas para o depósito com os paleoclimas. Mas é aceitável a influência destes para a formação do depósito Xaraiés em conjunto com os condicionantes hidro(geo)lógicos da Serra das Araras.

É fundamental para o entendimento mais detalhado da Formação Xaraiés um estudo mais aprofundado de petrografia desse litotipo, bem como, um melhor conhecimento da geologia estrutural da região. Com vistas ao melhor entendimento paleoclimático um projeto sistemático de datação na região poderia ser implantado, ampliando o número de

datações absolutas e refinando o tipo de amostragem (amostras de sondagem, por exemplo) dos carbonatos, utilização de outros registros *proxy*, como a partir das informações de flora e fauna fóssil presente no depósito, e datação por  $^{14}\text{C}$  de estruturas orgânicas presentes.

É fundamental que trabalhos futuros sobre a Formação Xaraiés busquem uma análise integrada em todo centro-oeste brasileiro, a partir de estudos das tufas Xaraiés da Serra das Araras, das morrarias de Corumbá e Ladário e da Serra da Bodoquena. Parece muito evidente um processo correlato entre a formação de tufas entre essas áreas.

Todos os depósitos apresentam em comum a localização relativa, marginais a áreas deprimidas ou de planície pantaneira, acoplados ou depositados sobre áreas elevadas e de morraria, em contexto peripantaneiro (Peri = perto, aquilo que bordeja). Os estudos dos efeitos da formação dos Andes sobre esta porção central da América do Sul são sugeridos, mas ainda pouco avançaram, e acredita-se que seja este um caminho importante para plena compreensão da formação desses depósitos de tufas.

Um simples exercício intelectual nos faz aventar a possibilidade que a coincidência de localização dos depósitos tufáceos peripantaneiros no Brasil sejam reflexo de atividade neotectônica, com o reativamento de antigas falhas em atuais sistemas normais, o que criaria condições topográficas e talvez hidrogeológicas a formação de tufas. Isto são suposições, mas que futuramente, com maior oferta de informações geofísicas desta porção oeste do Brasil, devem ser mais bem exploradas.

## Capítulo 9

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. 1945. Geologia do sudoeste mato-grossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 116, 118p.
- ALMEIDA, F. F. M. de. 1964. Geologia do centro-oeste mato-grossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 215, 133 p.
- ALMEIDA, F. F. M. de. 1965. Geologia da Serra da Bodoquena. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 219, 96p.
- ALVARENGA, C. J. S.; TROMPETTE, R. 1993. Evolução tectônica brasileira da faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 23, n.1, p. 18-30.
- ALVARENGA, C. J. S.; TROMPETTE, R. 1994. A faixa Paraguai e sua compartimentação estratigráfica e tectônica. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 38, Camburiú, 1994. Anais, Camburiú, SBG, p. 239-240.
- AULER, A. 1999. Karst Evolution and Paleoclimate of Eastern Brazil. 268 p. Tese de doutorado - School of Geographical Sciences, University of Bristol, Bristol.
- AULER, A.; Smart, P. 2001. Late Quaternary paleoclimate in semiarid Northeastern Brazil from U-series dating travertines and water table speleothems. *Quaternary Research*, n. 55, p. 159-167.
- AULER, A. S., WANG, X., EDWARDS, R. L., CHENG, H., CRISTALLI, P. S., SMART, P. L. and RICHARDS, D. A. 2004. Quaternary ecological and geomorphic changes associated with rainfall events in presently semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, v. 19 p. 693–701.
- BARROS, A. M., *et al.* 1982. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Folha Cuiabá SD-21. In: Brasil, Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radambrasil*, Rio de Janeiro, v.26, 540p.
- BOGGIANI, P. C.; COIMBRA, A. M.; GESICKI, A. L.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; RIBEIRO, F. B.; FLEXOR, J. M. 1999. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet no endereço: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio034/sitio034.htm>.
- BARROS, A. M.; SILVA, R. H.; CARDOSO, O. R. F. A. et al. 1982. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Folha Cuiabá SD-21. In: Brasil, MME. *Projeto Radambrasil*, Rio de Janeiro, v. 26, 540p.
- BRASIL. 1975. Carta Topográfica – Serra da Palmeira, escala 1:100.000. Ministério do Exército/DSG.

- BRASIL. 1975. Carta Topográfica – Serra da Campina, escala 1:100.000. Ministério do Exército/DSG.
- BUCCINO, G.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; BRANCACCIO, L.; FERRERI, M.; PANICHI, C.; STANZIONE, D. 1978. I travertini della bassa valle del Tanagro (Campania). Studio geomorphologia, sedimentologia e geochimico. *Bollettino della Societa Geologica Italiana*, v. 97, p. 617-646.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H.; SANDANIELO, A.; CANEPPELE, C. et al. 1997. *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)*. MMA: Diagnóstico dos meio físico e biótico, v. 2, cap. 4.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. 2003. Are current models of tufa sedimentary environments applicable to tropical system? A case of study from the Gregory river. *Sedimentary Geology*, v. 162, p. 199-218.
- CHEN, J.; ZHANG, D. D.; WANG, S.; XIAO, T.; HUANG, R. 2004. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology*, v. 166, p. 353-366.
- CORRÊA, D. 2004. Geocronologia dos Depósitos de Tufa dos Vales dos Rios Salitre e Jacaré - centro norte da Bahia: Uma Abordagem Paleoclimática. Monografia de graduação em Geografia. IGC/UFMG. (Inédito).
- CRISTALLI, P. S.; PETRI, S.; AULER, A. S.; CRUZ JUNIOR, F. W.; DURAN, C. ; SILVA, N. P. 2003. Evidência de vegetação florestal durante o último máximo glacial no município de Campo Formoso, norte da Bahia, Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 2003, Brasília. Boletim de Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia.
- DRYSDALE, R.; HEAD, J. 1994. Geomorphology, Stratigraphy and <sup>14</sup>C-Chronology of Ancient Tufas at Louie Creek, Nortwest Queensland, Australia. *Géographie physique et Quaternaire*, v. 48, n. 3, p. 285-295.
- DUARTE, L.; NOGUEIRA, M. 1983. Vegetais do Quaternário do Brasil III: Flórula do Morro do Chapéu – BA. In: DNPM. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos do 8º Congresso Brasileiro de Paleontologia.
- DURÃO, A. M. 1999. Aspectos da morfologia cárstica e geosespeleologia da formação Araras, no setor centro-sul da Província Serrana – MT. Dissertação de mestrado, UNESP – Rio Claro.
- EVANS, J. W. 1893. The geology of Matto Grosso. *Bulletin of the Geological Society of London*, v. 50, p. 85-104.
- FIGUEIREDO, A. J. A.; OLIVATTI, O. 1974. *Projeto Alto Guaporé*. Goiânia, DNPM/CPRM. v. 11, 173 p.
- FORD, T. D.; PEDLEY H. M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Science Reviews*, n. 41, p. 117-175.



- GARNETT, E. R.; GILMOUR, M. A.; ROWE, P. J.; ANDREWS, J. E.; PREECE, R. C. 2004.  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of Holocene tufas: possibilities and problems. *Quaternary Science Reviews*, v. 23, p. 947-958.
- GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. 2001. *Novo Dicionário Geológico Geomorfológico*. 2º ed. Rio de Janeiro: ed. Bertrand Brasil, 652 p.
- HEIMANN, A.; SASS, E. 1989. Travertines in the northern Hula Valey, *Israel. Sedimentology*, v. 36, p. 95-108.
- HILL, C. A.; FORTI, P. 1997. Cave minerals of the world. *National Speleological Society*, 463 p.
- INPE. 1995. CBERS China-Brazil Earth Resources Satellite. São José dos Campos, INPE.
- LATHAM, A. G.; SCHWARCZ, H. P. 1992. Carbonate and Sulphate Precipitates. In: IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. *Uranium Series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*. Oxford: Clarendon Press, cap. 12.
- LUZ, J. da S.; OLIVEIRA, A. M.; LEMOS, D. B.; ARGOLO, J. L.; SOUZA, N. B.; ABREU FILHO, W. 1978. *Projeto Província Serrana*. Goiânia, DNPM/CPRM. v. 1, 105 p.
- MUNIZ, G.C.B.; RAMIREZ, L.V.O. 1971. Tufo calcário (tufa) Quaternário com moluscos, nos estados da Paraíba e Pernambuco. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* n. 43, p. 611-618.
- ORDÓÑES, S.; GARCIA DEL CURA, M. A. 1983. Recent and Tertiary fluvial carbonates in central Spain. In: COLLINSON, J. D.; LEWIN, J. *Ancient and Modern Fluvial Systems*. v. 6, p. 485-497.
- PEDLEY, H. M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, v. 68, p. 143-154.
- PENTECOST, A.; VILES, H. 1994. A review and reassessment of travertine classification. *Géographie physique et Quaternaire*, v. 48, n. 3, p. 305-314.
- PETRI, S.; CRISTALLI, P.; AULER, A.; RIBEIRO, M.; GALINDO, F.; CANOVA, F.; CRUZ-JUNIOR, F. 2003. Microfósseis em tufos em calcários referentes ao último glacial provenientes do município de Campo Formoso, norte da Bahia, Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2003*, Brasília. Boletim de Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia.
- RAMOS, R. R. C.; COSTA BRAGA, da M. V.; OZANICK, C.; JATOBÁ, L. A.; ALENCAR CASTRO, de J. W. 2005. Primeiro registro de tufas calcárias Quaternárias no estado do Rio de Janeiro. *Anais do Congresso Brasileiro dos Estudos do Quaternário – ABEQUA*.
- REYES-PÉREZ, Y. A.; LIMA-FILHO, F. P.; SANT'ANNA, L. G.; BEZERRA, F.H.R.; CÓRDOBA, VC, MENEZES L.; SOUZA, A. M. 2003. Tufas calcárias na bacia

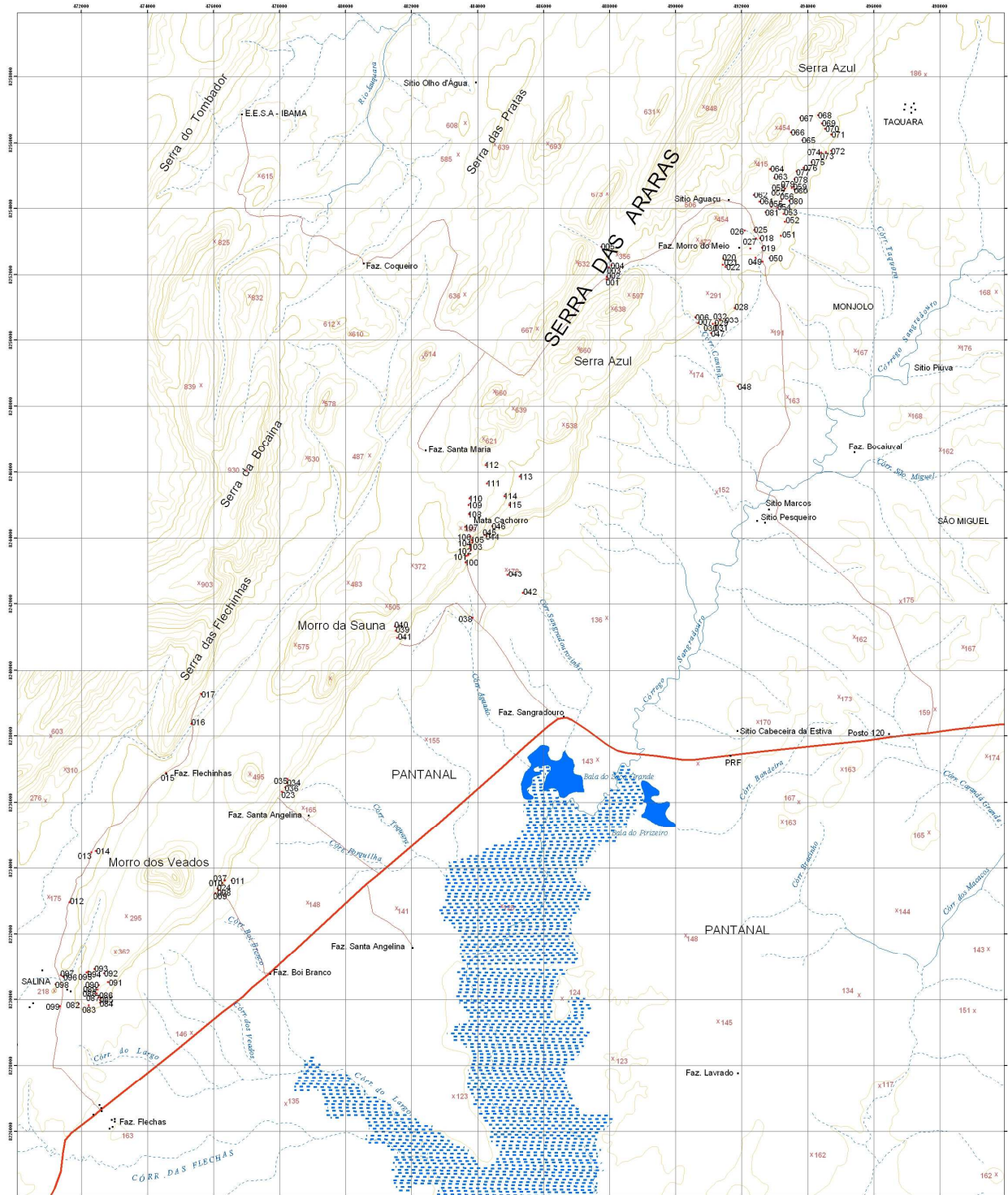
Potiguar, nordeste do Brasil. *Resumo do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, v. 41.

- RIBEIRO FILHO, W.; LUZ, J. S.; ABREU FILHO, W. 1975. *Projeto Serra Azul*. Goiânia, DNPM/CPRM. v. 1, 104p.
- RIBEIRO, F. B.; ROQUE A.; BOGGIANI P. C.; FLEXOR JEAN-M. 2001. Uranium and thorium series disequilibrium in quaternary carbonate from the Serra da Bodoquena and Pantanal do Miranda, Mato Grosso do Sul State, central Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, n. 54, p. 153-173.
- RICHARDS, D.; DORALE, J. 2003. Uranium-series Chronology and Environmental Applications of Speleothems. *Mineralogy and Geochemistry*, v.52, p. 407-460.
- ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. 1982. Geomorfologia da folha SD.21 – Cuiabá, In: Levantamentos dos Recursos Naturais – MME – *Projeto Radambrasil*, v. 26, Rio de Janeiro.
- ROSS, J. L. S. 1991. O contexto geotectônico e a morfogênese da Província Serrana de Mato Grosso. *Revista IG/USP*, v. 12, p. 21-37.
- SALLUM FILHO, W. 2005. Geomorfologia e geoespeleologia do carste da serra da Bodoquena. Instituto de Geociências da USP, São Paulo.
- SCHWARCZ, H. P. 1990. Dating Travertine. *Travertine – Marl: Stream Deposits in Virgínia*, n. 101, p.113-115.
- SHEN, C.; EDWARDS, R.; CHENG, H.; DORALE, J.; THOMAS, R.; MORAN, S.; WEINSTEIN, S.; EDMONDS, H. 2002. Uranium and thorium isotopic and concentrations measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Chemical Geology*, n. 185, p. 165-178.
- SUGUIO, K. 1998. Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins. *Editora Bertrand Brasil*, 1217 p.
- SZABO, B. J.; MCHUGH, W.; SCABER, G. G.; HAYNES, C. V.; BREED, C. S. 1989. Uranium-series dated authigenic carbonates and Acheulian sites in southern Egypt. *Science*, v. 243, p. 1053-1056.
- SZABO, B. J. 1988. Age of travertine deposits in eastern Grand Canyon National Park, Arizona. *Quaternary Research*, v. 34, p. 24-32.
- TRINDADE, C. A. H.; TARAPANOFF, I.; POTIGUAR, L. A. T. 1997. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal). MMA: Diagnóstico dos meio físico e biótico, v. 2, cap. 1.
- USAF. 1969. Programa de Levantamento Aerofotogramétrico do Brasil
- VILES, H. A.; GOUDIE, A. S. 1990. Reconnaissance Studies of the Tufa Deposits of the Napier Range, N.W. Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 15, p. 425-443.

WANG, X.; AULER, A.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; CRISTALLI, P. S.; SMART, P. L.; RICHARDS, D. A.; SHEN, C. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, v. 432, p. 740-743.

# **ANEXOS**

## Carta Topográfica da Porção Sudeste da Província Serrana e Áreas Adjacentes, Mato Grosso - Distribuição dos Pontos de Campo.



Legenda	
<span style="color: red;">•</span>	Pontos de Campo
<span style="color: red;">—</span>	Rodovia
<span style="color: brown;">—</span>	Estrada Secundária
<span style="color: blue;">—</span>	Rio Perene
<span style="color: blue;">- - -</span>	Rio Intermitente
<span style="color: blue;">- - -</span>	Lago Intermitente
<span style="color: blue;">■</span>	Lago Perene

ESCALA 1:50.000



EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 40 METROS  
DATUM VERTICAL: IMBITUBA - SANTA CATARINA

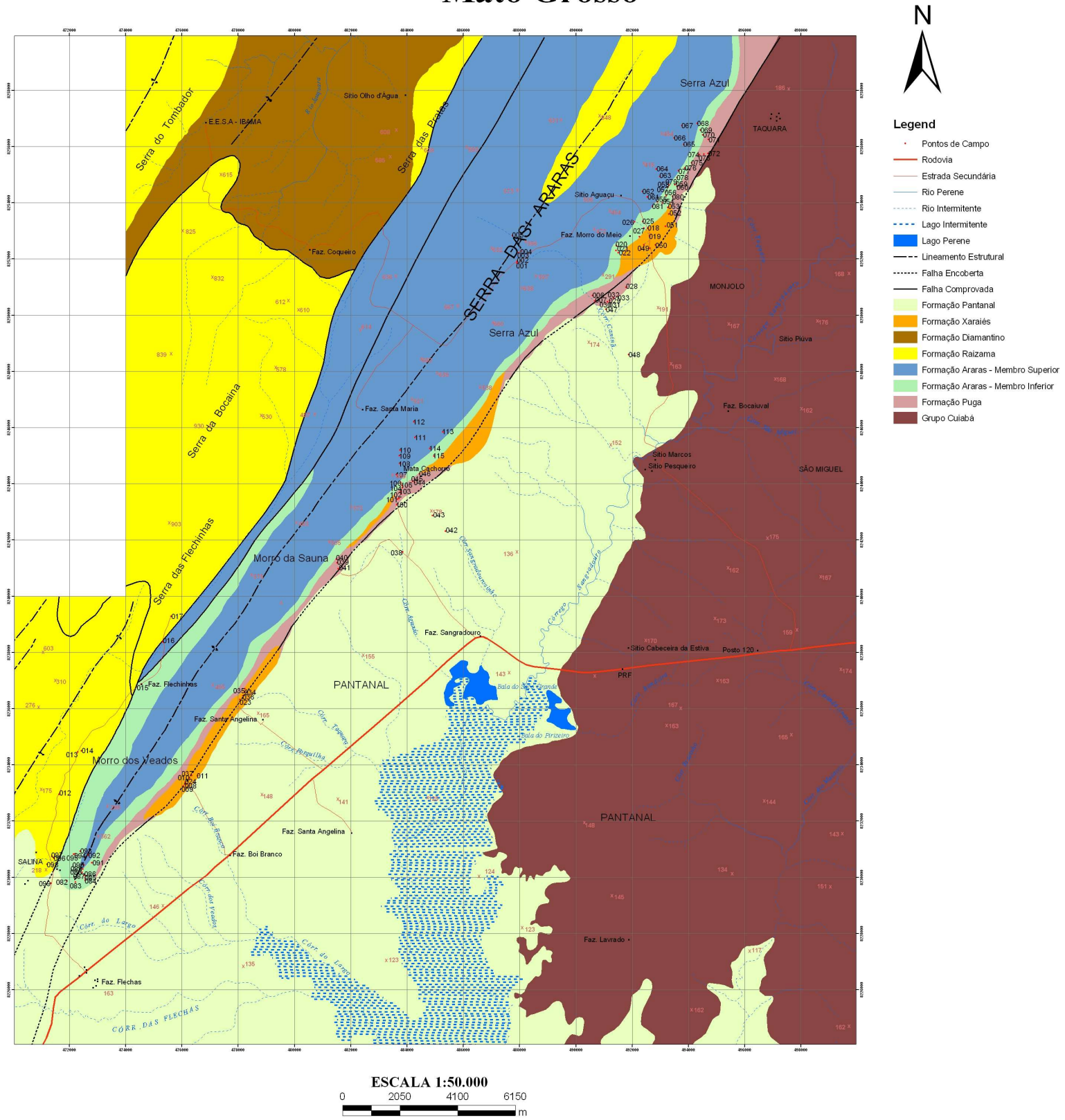
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM HORIZONTAL: CORRÊGO ALEGRE - MINAS GERAIS

Fonte: Compilado das Cartas Topográficas Serra da Campina e Serra da Palmeira, na escala 1:100 000, editadas pelo DSG/ Exército Brasileiro, 1975.

CORRÊA, D. (2006) Caracterização, Cronologia e Gênese das Tufas da Serra das Araras - MT. Dissertação de Mestrado. Carta Topográfica da Porção Sudeste da Província Serrana e Áreas Adjacentes, Mato Grosso. Distribuição dos Pontos de Campo.



## Mapa Geológico da Porção Sudeste da Província Serrana e Áreas Adjacentes Mato Grosso



CORRÊA, D. (2006) Caracterização, Cronologia e Gênese das Tufas da Serra das Araras - MT. Dissertação de Mestrado. Mapa Geológico da Porção Sudeste da Província Serrana e Áreas Adjacentes, Mato Grosso.

Fonte: LUZ et al. (1978). Projeto Província Serrana, CPRM. Folhas SD.21-Y-D-VI-4, SD.21-Y-D-VI-3 e SE.21-V-B-III-1.

Anexo III: Modelo da ficha de campo utilizada.

### Ficha de Campo

Data do Campo:

Ponto de Campo:

Localização:

UTM:

Descrição:

ID Amostra:

Descrição: