

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL



## RELATÓRIO DE VIAGEM À BOLÍVIA



### *PARTICIPAÇÃO NO XVII CONGRESSO GEOLÓGICO BOLIVIANO*

Geólogo Gilmar José Rizzotto  
Assistente de Produção da Diretoria de Geologia e  
Recursos Minerais - DGM  
Residência de Porto Velho/RO

Outubro / 2006

## ÍNDICE

I-	Introdução	1
II-	Objetivos da Viagem	1
III-	Programa da viagem	2
IV-	Descrição e Análise dos Assuntos Tratados	4
V-	Conclusões	7
VI-	Recomendações	7
VII-	Agradecimentos	8
VIII-	Anexos	
	1- Memórias (Anais) do Congresso (*)	
	2- Ponto de Vista - Revista com vários artigos do Presidente do Colégio de Geólogos da Bolívia (*)	
	3- Separata dos Artigos Apresentados no Congresso	
	4- Fotos	
	(*) Disponível na CPRM – Residência de Porto Velho	

## **I- INTRODUÇÃO**

A partir do recebimento do convite para a participação no XVII Congresso Geológico Boliviano, pelo Colégio de Geólogos da Bolívia, tendo em vista a nossa colaboração com trabalhos de mapeamento anteriormente desenvolvidos no oriente daquele país, e que atualmente estamos em atividade de mapeamento geológico no extremo sudeste de Rondônia, fronteira com a Bolívia, percebemos que a nossa participação no referido evento seria de grande importância para a atualização do conhecimento geológico do sudoeste do Cráton Amazônico, mais especificamente, tratando-se da evolução geológica e dos recursos minerais.

O autor deste relatório esteve por duas vezes no oriente boliviano (área do pré-cambriano) em trabalhos de mapeamento geológico em parceria com o Serviço Geológico da Bolívia - SERGEOMIN - onde na oportunidade pode constatar a forte similaridade do contexto geológico boliviano com este do setor sudeste de Rondônia, onde, atualmente, está sendo executado o levantamento geológico-geoquímico de duas folhas na escala 1:250.000. Portanto, seria relevante o debate com os demais pesquisadores que trabalham nessas áreas sobre os assuntos relativos ao contexto tectônico-geológico, bem como o conhecimento do potencial mineral da região e, assim sendo, a realização do congresso era a oportunidade ímpar para a discussão desses assuntos. Por conseguinte, enviamos ao comitê do congresso, três trabalhos técnico-científicos, os quais apresentam novos dados, alguns inéditos, sobre o conhecimento geológico do sudoeste do Cráton Amazônico. Portanto, os referidos trabalhos foram apresentados no XVII Congresso Geológico Boliviano, que aconteceu no período de 10 a 14 de outubro na cidade de Sucre-Bolívia.

A autorização da viagem foi publicada no Diário Oficial da União, nº 187, seção 2, de 28 de setembro de 2006, através do despacho do Ministro de Minas e Energia.

## **II- OBJETIVOS DA VIAGEM**

O objetivo da viagem foi a da participação em eventos internacionais, mais especificamente, no XVII Congresso Geológico Boliviano (fig. 1), onde foram expostos três artigos de interesse científico, os quais tratam sobre a evolução geotectônica do sudoeste do Cráton Amazônico. Além disso, a viagem teve caráter institucional e de estudo e onde foram efetuadas visitas a sítios geológicos e paleontológicos, além de

transferência e absorção de tecnologia e conhecimento com técnicos de instituições estrangeiras e de universidades.

### III- PROGRAMA DA VIAGEM

O período programado da viagem era de 09 a 15 de outubro de 2006.

Entretanto, o retorno foi somente no dia 17 de outubro, conforme discriminado no roteiro abaixo:

09-10-2006: Saída de Porto Velho a São Paulo. De São Paulo, tomou-se o vôo internacional até a cidade de Santa Cruz de La Sierra, onde pernoitou-se, partindo no dia seguinte para a cidade de Sucre, sede do evento;

10-10-2006: Chegada em Sucre e hospedagem no Hostal Libertad. Abertura do congresso à noite;

11 a 14-10-2006: Apresentação dos trabalhos e exposições no congresso que teve lugar no Centro de Estudios de Post Grado e Investigacion de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre;

13-10-2006: Visita aos sítios geológicos nos arredores de Sucre, acompanhado com o geólogo da EquiPetrol, Edwin Barroso, ex-funcionário do Serviço Geológico da Bolívia (SERGEOMIN), em observação da estratigrafia da cordilheira Andina e visita ao sítio arqueológico do cerro Cal Orck'o, onde se encontra as exposições paleontológicas mais extensas do mundo;

14-10-2006: Visita aos museus históricos, catedrais, parques e castelos.

Os aspectos sócio-econômicos e culturais da Bolívia, sob o nosso ponto de vista, diferem grandemente em relação ao Brasil. Primeiramente, a economia boliviana gira em torno da produção de gás e petróleo de onde se obtém as principais divisas para o país. O setor mineral também contribui expressivamente para a balança comercial, principalmente as atividades mineiras que se desenvolvem ao longo da cordilheira Andina têm produzido quantidades elevadas de ouro (estimativas de produção histórica de ouro de até 33 milhões de onças) e que há um potencial

semelhante ainda para ser explorado. No que se refere à prata, a Bolívia já foi o maior produtor mundial, entretanto, ainda detém 40% da reserva de prata da América Latina e em torno de 25% da reserva mundial. Atualmente, três projetos mineiros estão em atividade: San Cristóbal, San Bartolomé e Cobrizos, os quais totalizam mais de 700 milhões de onças de prata. A produção de estanho não fica atrás, pois existem reservas de 180.000 toneladas, onde a mina de Huanuni (Oruro) é o principal depósito com produção média anual de 16.000 toneladas. Por fim, diversos jazimentos de sais de lítio, potássio e boro conferem a geologia da cordilheira Andina Boliviana como uma das maiores potencialidades minerais da América Latina. Em contraste, a geologia do Pré-Cambriano no setor oriental da Bolívia apresenta, até agora, um baixo potencial mineral, talvez pelo incipiente conhecimento geológico existente daquela vasta região.

No que tange aos aspectos turísticos e culturais, a cidade de Sucre (fig. 2) fornece vários e excelentes atrativos. A cidade foi fundada em 1538-1540 pelo capitão Pedro Anzures Marques de Campo Redondo. Recebeu o primeiro nome de Villa de la Plata, posteriormente denominada de Charcas, Chuquisaca e finalmente Sucre em homenagem ao Marechal de Ayacucho. Sucre é a capital Constitucional da Bolívia, sede de importantes instituições do tempo colonial como o Bispado de la Plata que em 1609 se elevou a categoria de Arcebispado, a Real Audiência de Charcas e a Universidade Maior, Real e Pontifícia de San Francisco Xavier. O nascimento da República da Bolívia e a independência iniciou-se em 25 de maio de 1809, na cidade de Sucre. Este acúmulo de história, tradições e costumes são observados nos monumentos das praças, nas ruas de construções e prédios brancos, suas antigas edificações, festas e celebrações (fig. 3 a 5).

A cidade em si é hospitaleira, de clima agradável nesta época do ano, com ruas quase sempre abarrotadas de turistas, táxis, micro-ônibus, os quais promovem uma poluição sonora persistente, que dura todo o dia em função da utilização incessante de buzina em todos os cruzamentos de ruas.

Sucre detém o título de Patrimônio Cultural da Humanidade, outorgado pela UNESCO em 1991. Dentre as atrações turísticas destacam-se a Catedral Metropolitana, edificada em 1559, com elementos neoclássicos e de arquitetura barroca, símbolo do poderio da igreja no século XVI (fig. 6); o Museu Casa de la Libertad, templo onde se assinou a Ata da Independência, em 1825, e que guarda documentos históricos memoráveis; a casa Têxtil Indígena ASUR, com seus tecidos pré-hispânicos das regiões de Jalq'a e Tarabuco, destacando-se os desenhos, técnicas e combinações de cores.

Em relação ao idioma e comunicação não foram encontradas maiores dificuldades, excetuando-se as condições de acesso à Sucre, pois somente a empresa AEROSUR faz o trajeto desta cidade à São Paulo, utilizando-se o trajeto mais curto e mais econômico. Outra possibilidade é ir à Lima-La Paz-Sucre, o que torna a viagem cansativa, dispendiosa e improdutiva. Este percurso, infelizmente, foi utilizado na volta à São Paulo, pois a passagem já tinha sido emitida pelo SEVIPA. A moeda local é o peso boliviano, o qual possui valor comparativo ao dólar da seguinte forma: 1 Us\$ = 8 pesos bolivianos.

#### IV- DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ASSUNTOS TRATADOS

Os trabalhos desenvolvidos na viagem dizem respeito a nossa participação como congressista e como representante do Serviço Geológico do Brasil-CPRM no XVII Congresso Geológico Boliviano. Para tanto, foram apresentados os seguintes trabalhos: 1) *Geologia Estrutural da Faixa Alto Guaporé, SE Rondônia: implicações para os modelos tectônicos da convergência Ectasiana (~1.33 Ga) na borda SW do Craton Amazônico*; 2) *Acréscimo Continental no Ectasiano e os Granitos Sin, Tardi e Pós Colisionais do Sudeste de Rondônia*; 3) *The Four Main Orogenies Within the Autochthonous Mesoproterozoic Sunsás Province in Southwest Amazon Craton, South America*.

A comissão organizadora do evento disponibilizou um dia todo para a apresentação de trabalhos relacionados com o Cráton Amazônico, com destaque para os trabalhos produzidos pelos pesquisadores brasileiros, já que o pré-cambriano boliviano é ainda pouco estudado e como resultado disso, poucos trabalhos foram apresentados durante o evento. Os palestrantes brasileiros estavam representando a CPRM - Residência de Porto Velho, Universidade Federal do Mato Grosso, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade do Oeste da Austrália.

Constatou-se que os pesquisadores bolivianos concentram suas atividades na cordilheira Andina e nas bacias produtoras de gás e petróleo. A porção geologicamente mais antiga, aquela que faz fronteira com o Brasil, é ainda pouquíssimo estudada, sendo objeto de especulações geológicas muito contraditórias. Atualmente, encontram-se em andamento duas teses de doutoramento na porção oriental da Bolívia, tratando justamente, sobre a evolução tectônica e a correlação com a geologia de Rondônia. Nesse sentido, os trabalhos executados no lado brasileiro do Cráton Amazônico são

mais completos em função do maior número de atividades de pesquisa que vem sendo realizadas na porção brasileira, aliados ao volume de análises litoquímicas e geocronológicas, com métodos mais precisos e modernos, o que tem propiciado um melhor entendimento no que diz respeito à evolução tectônica-metalogenética desta vasta área cratônica.

Nesse sentido, os contatos com profissionais e pesquisadores que atuam no setor sudoeste do Cráton Amazônico, serviram para troca de idéias, conhecimento e discussões, com possibilidades de parceria e/ou participação conjunta em projetos de pesquisa na referida região. Dentre tantos profissionais contactados, listamos alguns nomes e suas respectivas instituições:

- Ramiro Matos Salinas – Mestre em Geologia Estrutural, Universidade Mayor de San Andrés, La Paz;
- Dr. Carlos Cingolani – Prof. de Geologia Histórica e Geotectônica, Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata-Argentina;
- Edgar Garrón – Geólogo Consultor – La Paz;
- Antônio Martinez Montoya – Gerente da Energia Minería & Construcción, La Paz;
- Dionísio Garzón Martínez – Colégio de Geólogos da Bolívia e ex-Ministro de Minería;
- Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz – Universidade Federal de Mato Grosso;
- Prof. Dr. João Batista de Matos - Universidade Federal de Mato Grosso;
- Alberto C. Sanchez - Colégio de Geólogos da Bolívia – Sucre;
- Tirson Mina Moralez - Colégio de Geólogos da Bolívia – Sucre;
- Edwin Barroso – EquiPetrol – Santa Cruz de la Sierra

Concomitantemente as apresentações dos trabalhos no congresso, aconteceu uma exposição dos projetos de pesquisa que estão sendo executados e/ou financiados pela JICA (Japão), principalmente na área de contaminação e recuperação ambiental. Da mesma forma, o SERGEOTECMIN (Servicio Nacional de Geología Y Técnico de Minas) apresentou os avanços na execução da sua nova política administrativa, os quais contemplam o reinício dos trabalhos referentes a Carta Geológica Nacional; o fortalecimento dos escritórios de Oruro e Santa cruz de la Sierra, expansão e fortalecimento do escritório de hidrogeologia de Cochabamba; início de projetos de ouro ao norte de La Paz, investigação das águas do altiplano central, entre outros.

No que diz respeito às excursões de campo, visitou-se nos arredores de Sucre, a Fábrica Nacional de Cimento (FANCESA), a qual tem a sua principal fonte de matéria-prima, o calcário do cerro Cal Orck'o, onde se encontra as exposições paleontológicas de pegadas de dinossauros mais extensas do mundo, possuindo ao redor de 5000 pegadas de 294 diferentes espécies que habitaram a região durante o período Cretáceo. O paredão no qual estão preservadas as pegadas possui dimensões de 1200m de extensão por 110m de altura, com inclinação de 72°. A rocha é um calcário da Formação El Molino (seqüência de calcário, dolomito, marga e argilito). É um depósito icnológico (estudo das pegadas fósseis) mais importantes do mundo, por referir-se a um período geológico do qual se têm poucos registros (fig. 7 a 10).

Através de um convênio entre o governo municipal de Sucre e a FANCESA, foi construído o parque o qual foi inaugurado em setembro de 2006 (fig. 11 a 13). O estudo científico e a montagem das réplicas dos fósseis foi executado pelo paleontólogo suíço Christian Meyer e sua equipe de especialistas. Esse lugar foi declarado como Patrimônio Nacional e Museu Natural, onde cientistas do mundo todo vem observar e estudar estas pegadas e o material paleontológico (fig. 14 a 21).

O "Parque Cretácico" ostenta impressionantes e singulares réplicas em escala natural de mais de 25 espécimes de dinossauros e demais répteis do período Cretáceo em seu insólito habitat natural.

A geologia da cordilheira Andina foi observada em alguns perfis próximos de Sucre e em La Paz. Como quase não existe cobertura vegetal por sobre as rochas dessas regiões e são de idade recente, as exposições são ótimas e de alto valor científico (fig. 22 e 23). Entretanto, salientam-se os processos erosivos que são fortemente atuantes nas encostas e nos vales da cordilheira (fig. 24). O volume de detritos sedimentares é altamente expressivo, os quais entulham as vertentes e leito dos rios que nascem na cordilheira. E aí está a explicação para a quantidade elevada de argila (e ouro lamelar) que o rio Madeira possui em suspensão em suas águas, pois o mesmo têm sua origem a partir de dois afluentes expressivos que nascem na cordilheira Andina, que é o rio Beni e o Madre de Dios. Em La Paz, os problemas de escorregamento das encostas são um desafio para as autoridades governamentais e para os profissionais que atuam na área de geotecnia. As encostas possuem um alto ângulo de inclinação e nas mesmas existem milhares de residências (zona que abriga as camadas sociais de mais baixa renda) em situação de alto risco de desabamento, o qual é uma constante na época das chuvas (dezembro a março) segundo o relato de algumas pessoas que lá residem. Fora isso, os processos erosivos deixam a paisagem

cordilheirana com aspecto característico de ambiente lunar (inclusive denominaram um local próximo da cidade de o Valle de la Luna) (fig. 25 e 26).

## V- CONCLUSÕES

O conhecimento geológico e o entendimento sobre a evolução geológica do setor sudoeste do Cráton Amazônico, que engloba todo o pré-cambriano boliviano, foi aperfeiçoado e possibilitado pelo acúmulo de informações relevantes ao autor desse relatório e participante do XVII Congresso Geológico Boliviano. As apresentações dos trabalhos derivados do mapeamento de duas folhas que constituem o Projeto Guaporé, permitiram mostrar a metodologia e as ferramentas empregadas pelo Serviço Geológico do Brasil, os resultados alcançados e o expressivo avanço no conhecimento geológico regional. Os debates que se sucederam às apresentações dos trabalhos, com os demais pesquisadores que trabalham nessas áreas, possibilitou reavaliar certas questões geológicas que até então estavam indefinidas ou mal resolvidas. De outra forma, a nossa participação no congresso serviu para a reaproximação dos Serviços Geológicos dos países do Mercosul, particularmente, o SERGEOTECMIN, o qual apresentou como proposta da atual diretoria, a retomada dos levantamentos geológicos do setor oriental boliviano, que faz fronteira com o Brasil, e a possibilidade da participação da CPRM nesses trabalhos.

As excursões técnicas nos sítios geológicos e paleontológicos serviram para o enriquecimento no aprendizado e conhecimento geológico, os quais servirão como comparativos a serem aplicados no conhecimento das bacias sedimentares do lado brasileiro.

Por fim, tendo em vista o isolamento técnico dos profissionais que atuam na CPRM de Rondônia, por falta de universidades de geologia e/ou escolas técnicas, a participação em eventos de interesse geológico é uma questão primordial para a atualização dos conhecimentos inerentes a nossa profissão.

## VI- RECOMENDAÇÕES

- Encaminhar ao SERGEOTECMIN as recentes publicações da CPRM, tanto da área de geologia básica (mapas estaduais-Rondônia e Mato Grosso) como de gestão territorial, pois existe interesse dos técnicos em conhecer esses

trabalhos e também poder comparar as metodologias desenvolvidas pela CPRM;

- Efetivar contatos entre as diretorias da CPRM e SERGEOTECMIN com finalidade de cooperação interinstitucional para ação conjunta em projetos de mapeamento geológico e de zoneamentos econômico-ecológico, na área de fronteira.

## VII- AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Diretoria Executiva da CPRM pela autorização para a participação no evento, e a Dra. Maria Glícia da Nóbrega Coutinho pelo pronto atendimento e apoio ao nosso pleito.



## **ANEXOS**



Figura 01- Salão Nobre da Universidade de Sucre onde foi realizado o congresso.

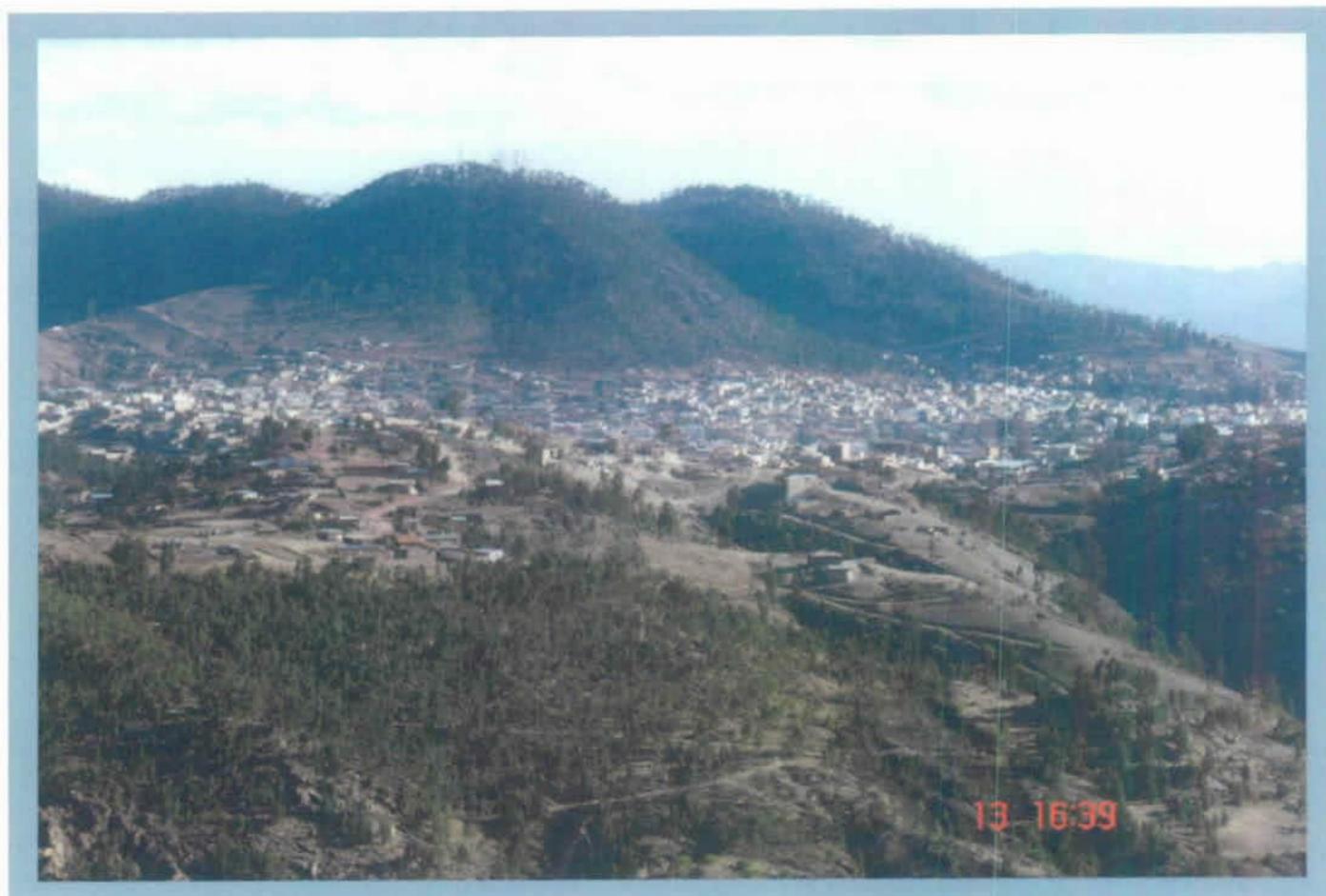


Figura 02- Vista panorâmica da cidade de Sucre (altitude de 2.700m), sede do evento.

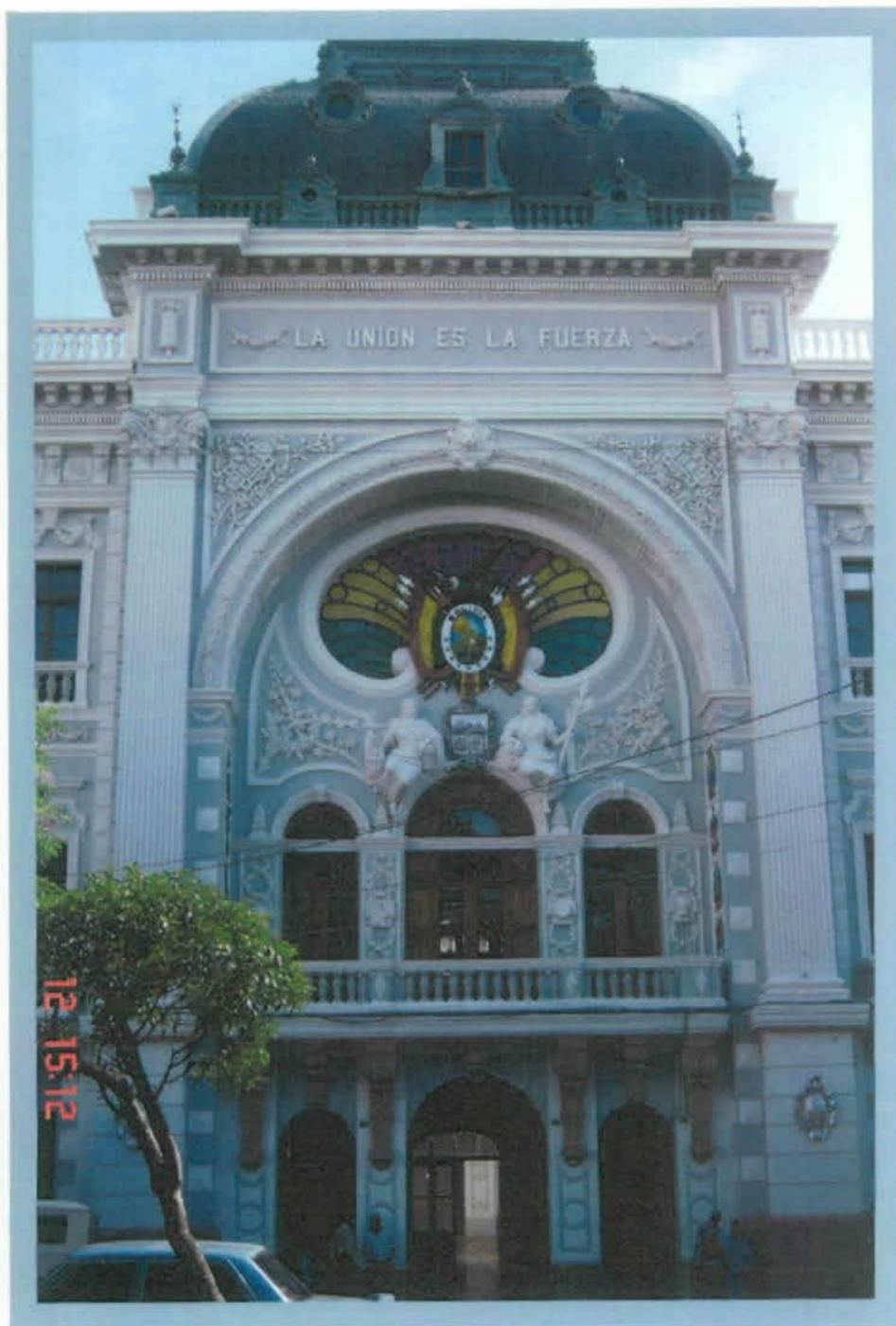


Figura 03- Palácio do Governo Municipal de Sucre



Figura 04- Pátio do Museu "Casa de la Libertad"



Figura 05- Prédio histórico de arquitetura barroca.



Figura 06- Catedral Metropolitana construída em 1559, em estilo neoclássico e barroco.



Figura 07- Paredão de calcário onde se encontram preservadas as pegadas dos dinossauros do período cretáceo.



Figura 08- Detalhe da foto anterior onde a seta aponta para a trilha de pegadas dos dinossauros.

Figura 09- As inúmeras pegadas fossilizadas no calcário estão indicadas pela seta.

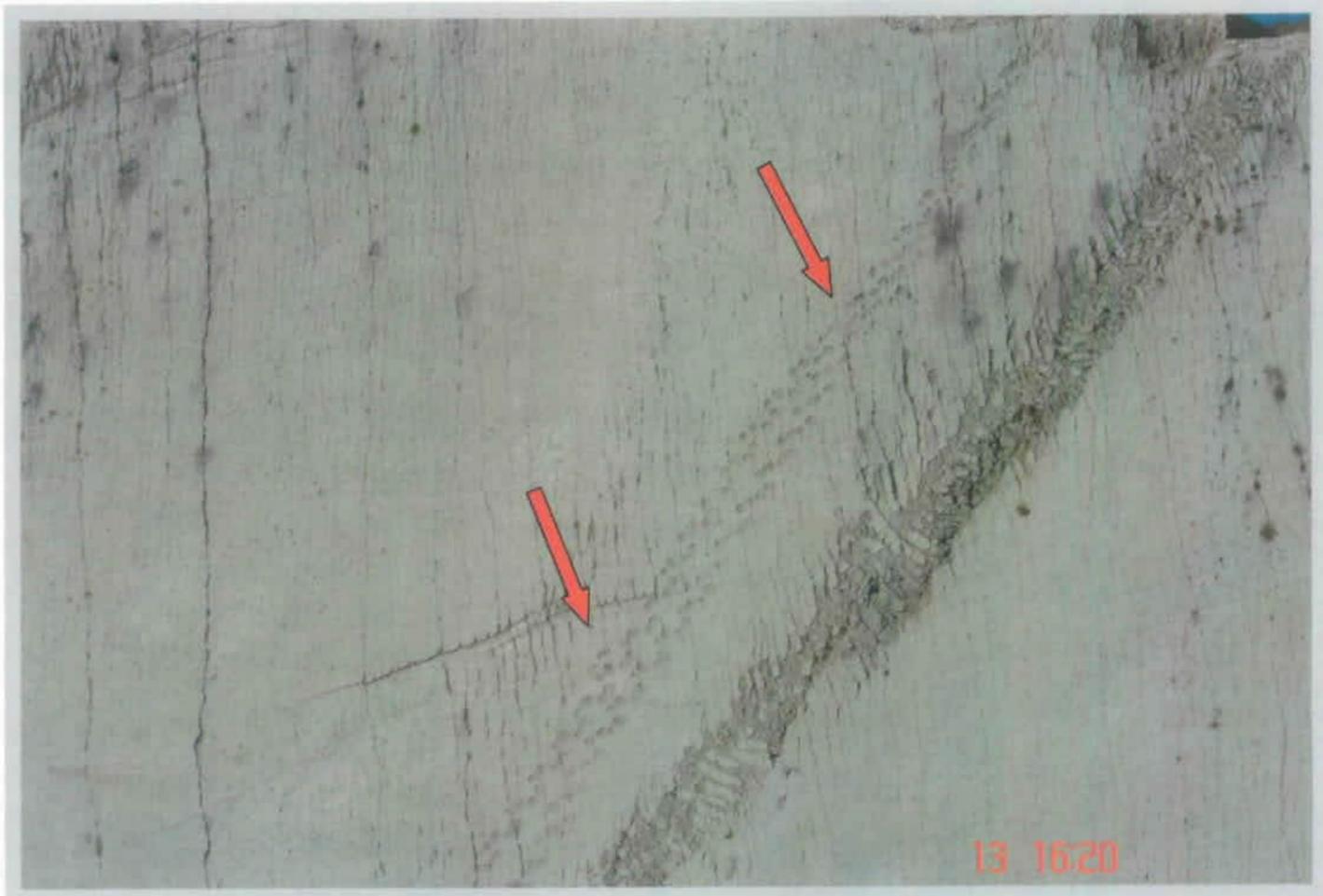
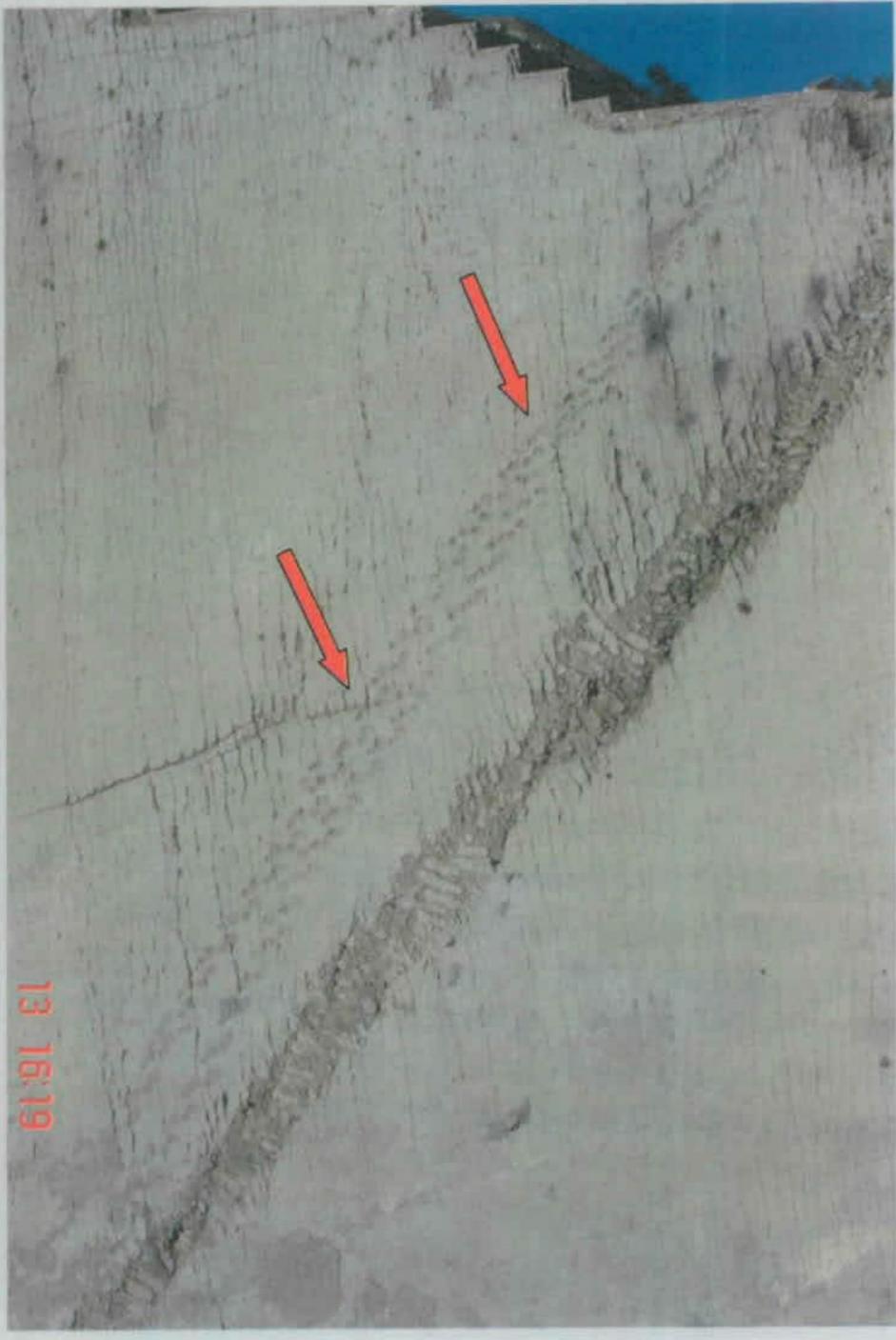


Figura 10- Em detalhe, as pegadas de várias espécies de dinossauros. Na parte direita da foto, a erosão está descaracterizando uma outra trilha de pegadas.



Figura 11- Placa fixada na entrada do “Parque Cretácico” na época da recente inauguração.



Figura 12- Parque onde foram montadas as réplicas dos animais que viveram no período Cretáceo.



Figura 13- Vista panorâmica da entrada do "Parque Cretácico".

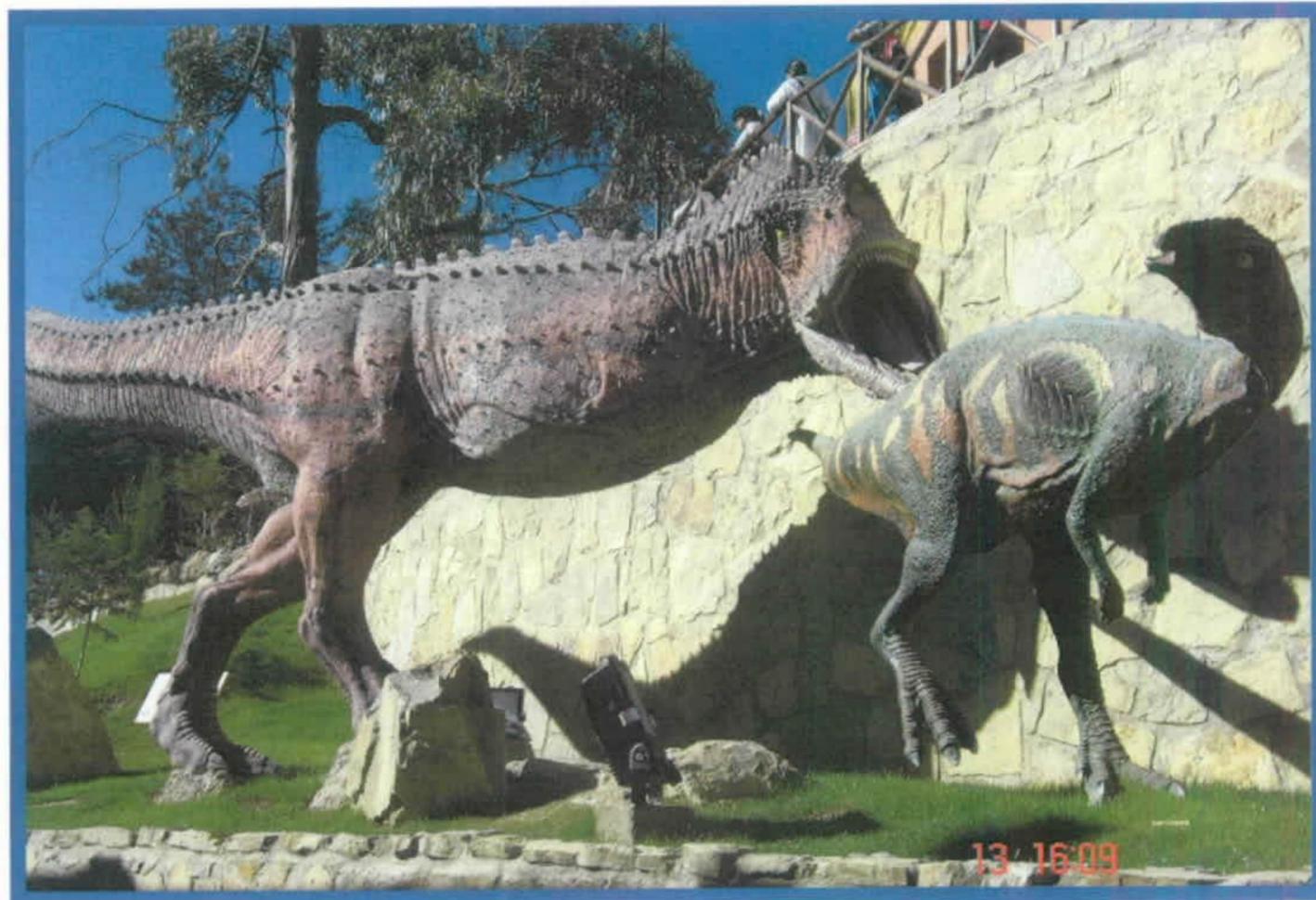


Figura 14- Réplicas de dinossauros em escala natural. Em primeiro plano Iguanodonte com patas de ave e, logo atrás, uma espécie de Abelissauro.



Figura 15- Espécie de Abelissauro carnívoro.



Figura 16- Ceratopsio – uma espécie de dinossauro de chifres.

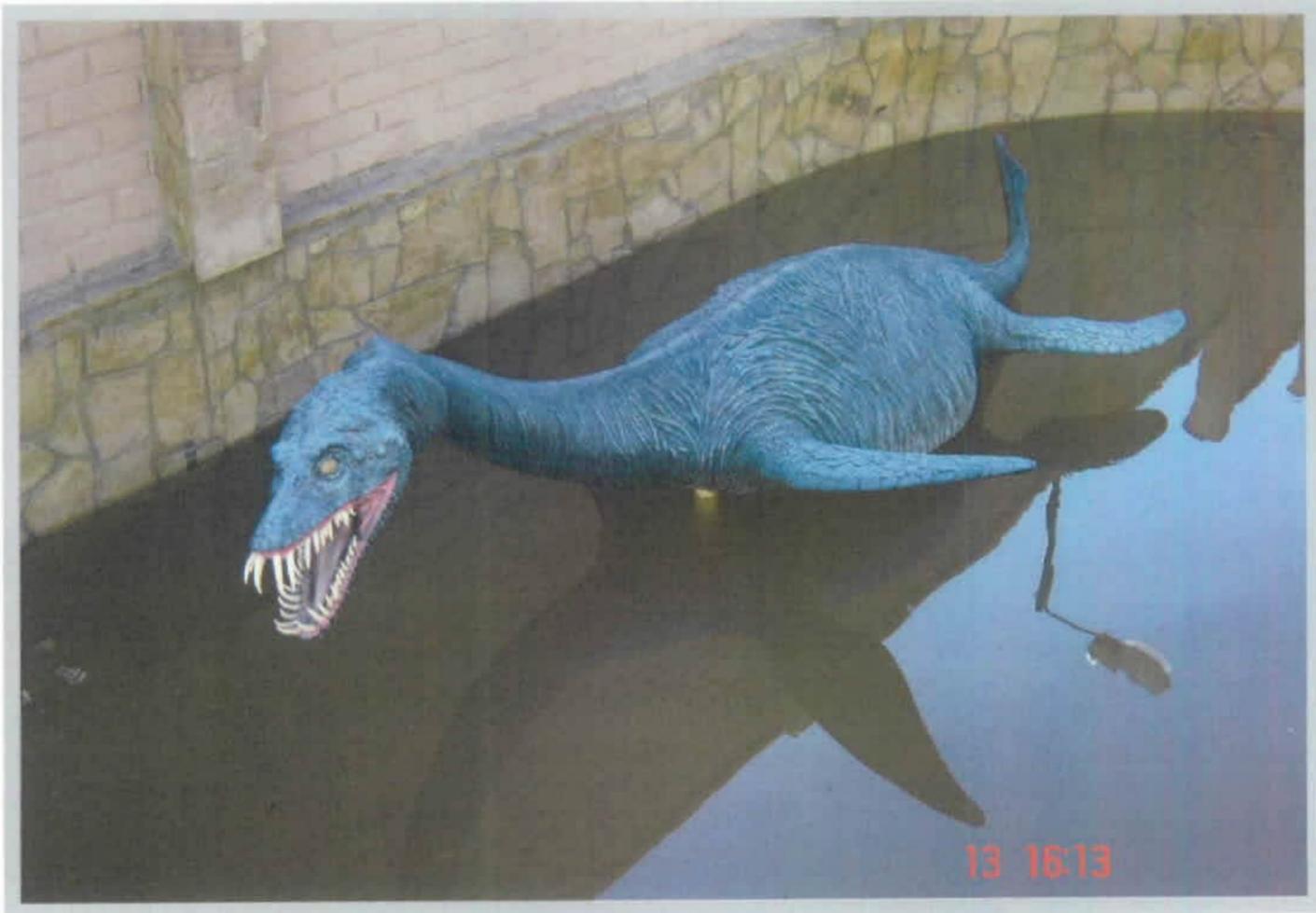


Figura 17- Mosassauro – um réptil marinho



Figura 18- Titanossauro – maior espécie de dinossauro.



Figura 19- Dados taxonômicos do dinossauro da foto anterior.



Figura 20- Lepidossauro com sua carapaça ornamentada com pequenos chifres.

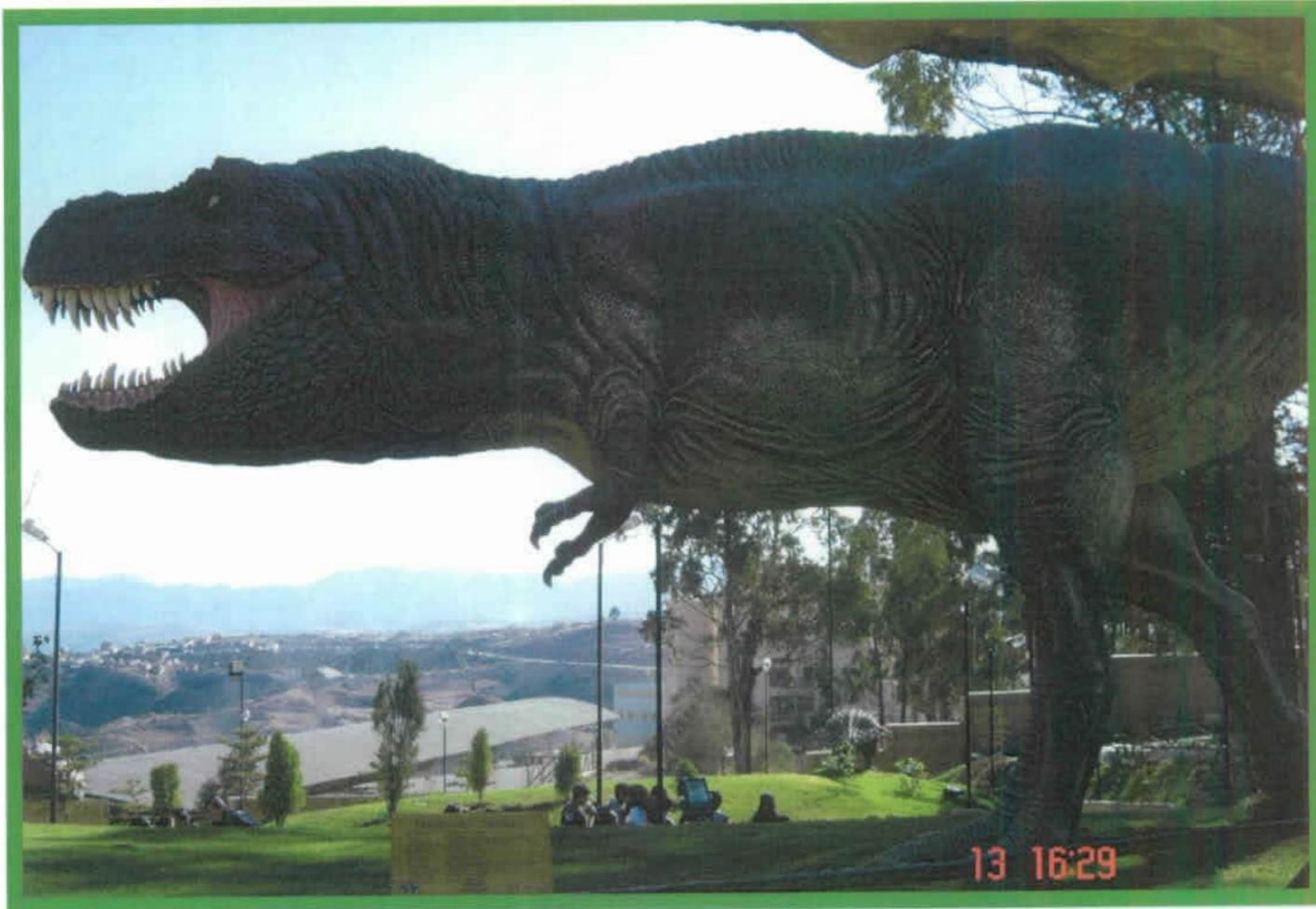


Figura 21- Tiranossauro Rex – espécie de dinossauro carnívoro

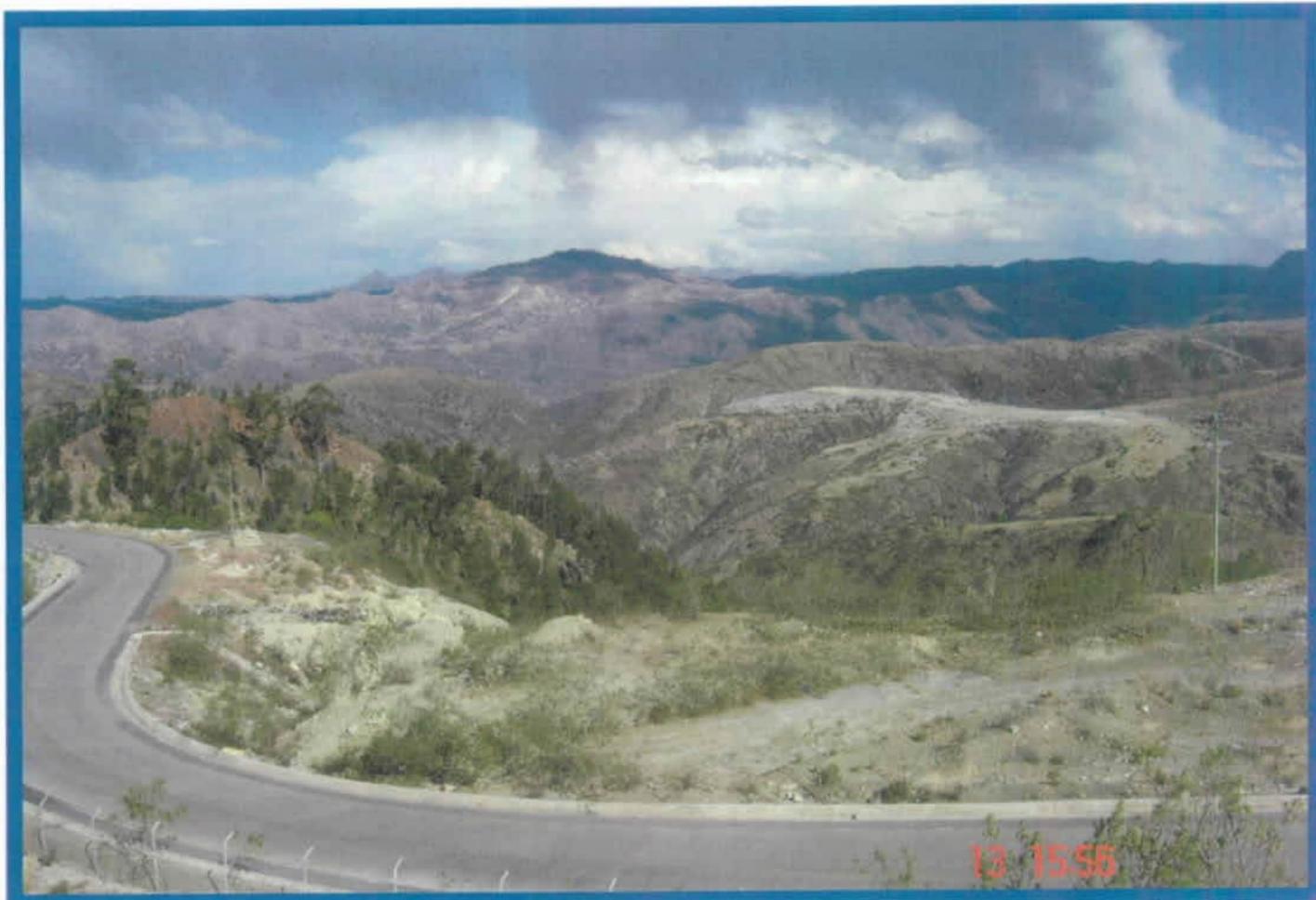


Figura 22- Vista panorâmica da cordilheira Andina, próximo da cidade de Sucre.



Figura 23- Vales ravinados esculpidos em rochas metassedimentares mesozóicas da cordilheira Andina.

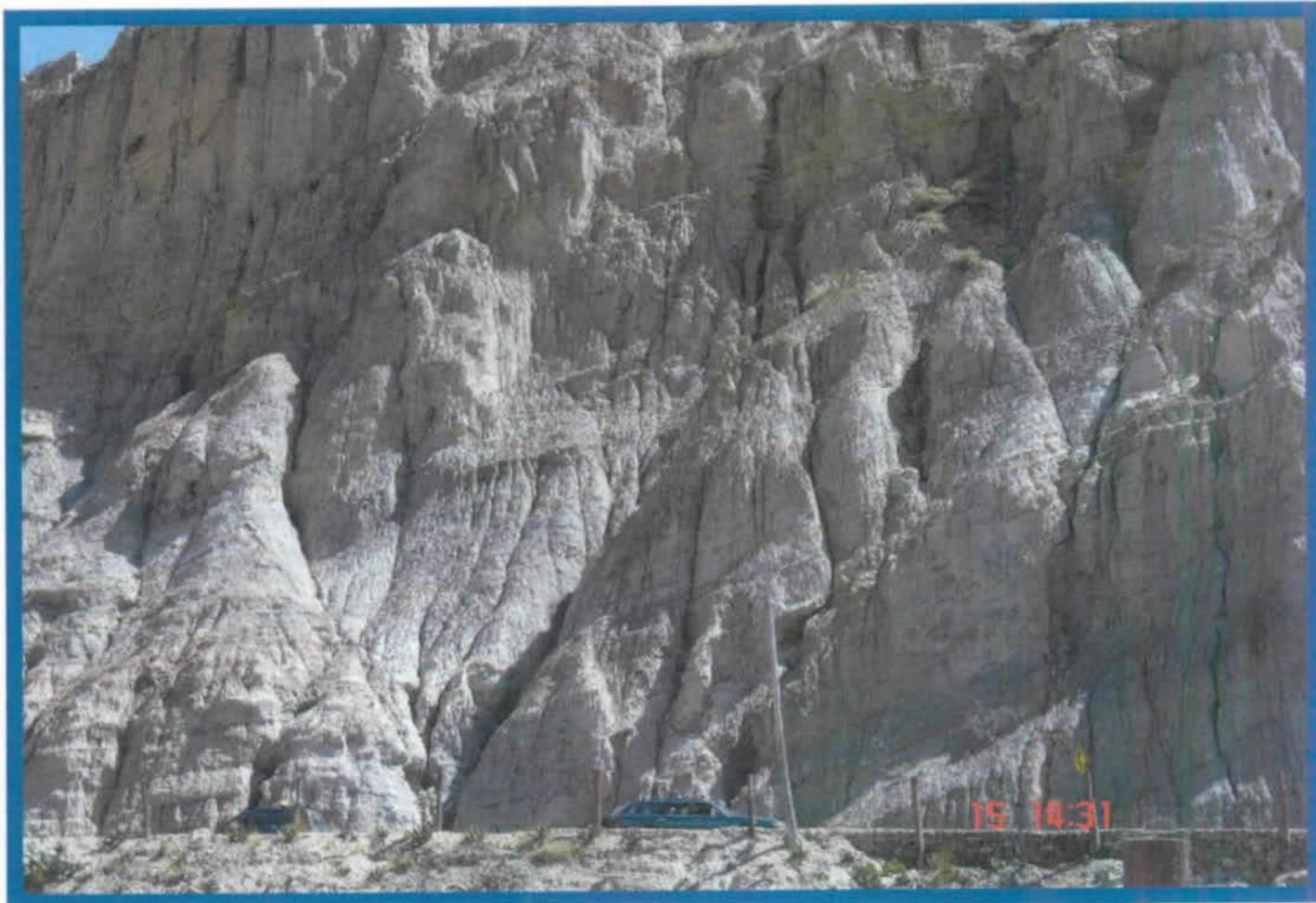


Figura 24- Encostas íngremes constituídas por rochas sedimentares (arenitos e siltitos) fortemente erodidas.

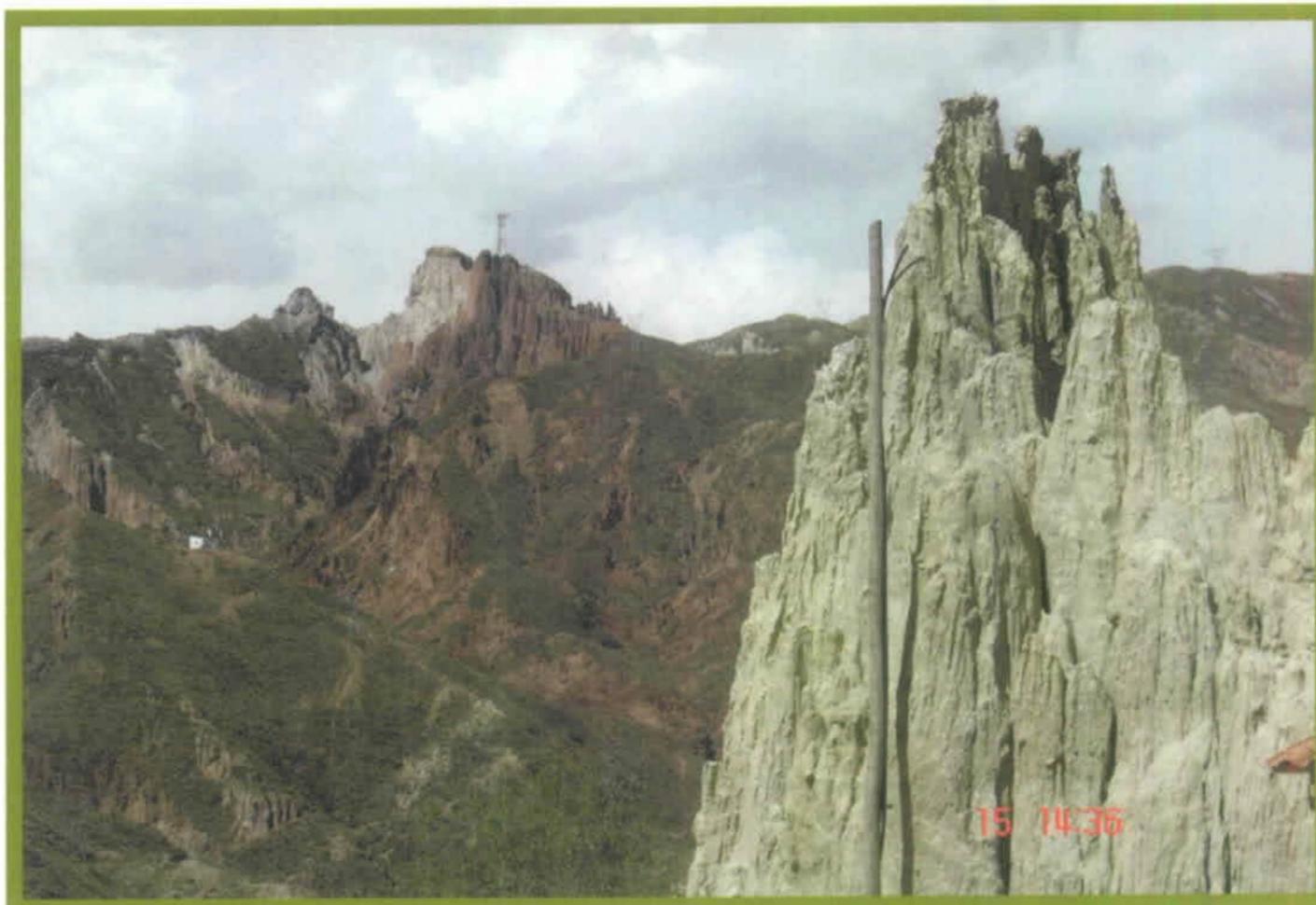


Figura 25- Vista panorâmica do “Valle de la Luna”, próximo do zona central de La Paz. Material com grau incipiente de consolidação e com alta fragilidade aos processos erosivos.



Figura 26- Detalhe dos afloramentos de sedimentos coluvio-eluvionares derivados de deslizamentos (depósitos de talus) em processo de desagregação.

**Geologia Estrutural da Faixa Alto Guaporé, SE Rondônia: implicações para os modelos tectônicos da convergência Ectasiana (~1.33 Ga) na borda SW do Craton Amazônico.**

Gilmar José Rizzotto<sup>(1)</sup> & Nolan Maia Dehler<sup>(2)</sup>

(1) Serviço Geológico do Brasil-(CPRM)

gilmarizz@pv.cprm.gov.br, Porto Velho-RO, Brasil

(2) E & P-EXP/ST/MSP, Petróleo Brasileiro S/A - PETROBRÁS,

nolan@petrobras.com.br, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

A estruturação regional da borda SW do Craton Amazônico tem sido descrita como faixas contíguas com orientação geral NW-SE, deformadas e metamorfasadas na margem cratônica em diferentes períodos orogênicos, desde o Paleoproterozóico ao Mesoproterozóico (Tassinari *et al.*, 2000, Geraldes *et al.*, 2001). Litherland *et al.* (1986) descrevem uma inflexão regional de WNW-ESE para NNW-SSE de norte para sul dos cinturões orogênicos antigos nesta região, que estaria refletida na estruturação andina atual da *sintaxe* de Arica (~15° latitude S). Por outro lado, expressivos corredores de deformação regionais com orientações próximas de E-W e NNW-SSE, têm sido atribuídos à orogênese Sunsás-Greenville (~1.0 Ga), como a faixa Nova Brasilândia em Rondônia e Aguapeí no oeste do Mato Grosso, respectivamente (Rizzotto, 1999, Thover *et al.*, 2004).

A região fronteira de Rondônia com o Mato Grosso e Bolívia (Fig. 1) mostra uma geologia diversificada e complexa, onde o embasamento está representado por uma associação de rochas de fundo oceânico constituídas predominantemente por anfibólitos bandados, metagabros, hornblenditos (metapiroxenitos), serpentinitos e metabasaltos subordinados, todos com assinatura geoquímica similar aos toleitos modernos tipo N-MORB a IOB (Rizzotto *et al.*, neste congresso). Importantes depósitos de níquel ocorrem nos corpos de serpentinito e ocorrências localizadas de platinóides nas metabásicas. Intercalados a esses litótipos ocorrem formações ferríferas bandadas, formações manganíferas e gnaisses calcissilicáticos, todas provavelmente depositadas/precipitadas em ambientes sedimentares de fundo oceânico. Fazendo parte desse ambiente extensional também ocorrem uma repetitiva e monótona associação de xistos e paragneisses derivados, respectivamente, de pelitos e arenitos impuros (grauvacas/semi-pelitos), de uma provável seqüência turbidítica de mar profundo. Toda a seqüência foi deformada por um sistema compressivo derivativo de uma tectônica colisional Ectasiana gerando zonas de cisalhamento de extensão regional, desenvolvidas em condições metamórficas de médio a alto grau. Concomitante à deformação ocorreu intrusões de granitóides que apresentam como principal característica uma forte foliação de fluxo magmático, superimposta por uma trama milonítica desenvolvida em estágio *subsólido*. Esse magmatismo granítico de característica sin a tardi-tectônicas forneceu calor e fluídos para remobilizar o ouro das encaixantes e concentrá-lo em veios de quartzo que se encontram hospedados nos xistos.

As zonas de cisalhamento regionais mais antigas, que condicionam a estruturação regional da **Faixa Alto Guaporé (FAG)** na extremidade SE do estado de Rondônia, têm orientação geral NW-SE e são de idade Ectasiana ou vinculadas à orogenia Rondoniana-San Ignacio (~1.33 Ga - Rizzotto *et al.* 2002) ou Orogenia Alto Candeias (Santos *et al.*, 2003). Zonas de cisalhamento regionais com orientação ENE-WSW cortam as estruturas mais antigas neste cinturão.



Figura 1- Mapa com a localização da área estudada

A estruturação mais antiga é marcada por uma penetrativa foliação milonítica impressa nas rochas, em condições metamórficas de fácies anfíbolito alto a granulito, compatível com a fusão parcial de rochas metassedimentares. Esta foliação é localmente paralela a um bandamento deformacional bem marcado nos litótipos, assim como foliações de fluxo magmático em batólitos graníticos sintectônicos. Esta foliação configura um *trend* sinuoso e anastomosado, tendo orientação geral NW-SE e mergulhos elevados a subverticais para ambos os quadrantes. A foliação principal é subparalela aos planos de fluxo deformacional regional deste estágio tectônico. Contida nos planos de foliação milonítica ocorre uma lineação de estiramento bem marcada, dada por minerais como anfíbólio, feldspatos, sillimanita e enclaves máficos microgranulares nos corpos de granitos sintectônicos. A geometria do *strain* nestas rochas varia de LS tectonitos a L tectonitos. S tectonitos também ocorrem, mas são raramente descritos. Em resposta a esta deformação, os litótipos mostram uma ampla variação textural, desde porções maciças e isotrópicas preservadas da deformação (*megapods*), que passam gradativamente ou abruptamente para rochas cisalhadas, marcadas por uma trama milonítica de granulação mais fina,

exibindo com freqüência foliação/bandamento gnáissico e xistosidade. Nesse aspecto, os metagabros grossos passam a anfibolitos finos miloníticos bandados, finamente laminados e até xistosos, que se desenvolvem em zonas de cisalhamento dúctil de alto *strain*.

A lineação de estiramento na FAG tem alta obliquidade, com caimento freqüentemente vertical. Geometricamente esta lineação mostra-se concentrada no centro de projeções estereográficas, mostrando, entretanto, relativa dispersão quanto ao quadrante de caimento. Isto se deve em parte a própria variação da direção de mergulho dos planos de cisalhamento devido a deformações tardias.

As estruturas dúcteis mais jovens são representadas por zonas de cisalhamento regional com orientação geral ENE-WSW, e forte mergulho para SSE. As zonas de alto *strain* podem alcançar espessuras da ordem de dezenas de quilômetros, nas quais ocorrem dobras fechadas com eixos subverticais paralelos a lineação de estiramento. Com certa freqüência, ocorrem também venulações de quartzo que cortam a foliação, mas estão igualmente dobradas e com geometria que acompanha os eixos cinemáticos, podendo ser correlacionadas ao mesmo evento deformacional. Com a progressão da deformação nestas zonas, uma foliação milonítica subvertical é desenvolvida subparalela à superfície axial de dobras e crenulações da foliação milonítica anterior, observadas nas porções menos deformadas. Estas dobras apresentam superfície envoltória com mergulho variado para WSW e eixo com caimento moderado a elevado para SW, paralelo a lineação de estiramento neste domínio tectônico. A exemplo das estruturas mais antigas, a lineação de estiramento neste domínio é de alta obliquidade e caimento, sendo dada por anfibólio, feldspato, quartzo e micas, ou então agregados destes minerais. Em projeção estereográfica esta lineação mostra-se com caimento moderado a alto para SW. Corpos graníticos sintectônicos e mobilizados quartzo-feldspáticos são também controlados por estas estruturas.

Estruturas como pares de foliações S-C-C', porfiroclastos e *boudins* assimétricos, sugerem movimentação predominantemente *dip-slip*, com soerguimento relativo do bloco W (oeste de Colorado d'Oeste) nas zonas de cisalhamento mais antigas. *Boudinage* discreta em plano horizontal associa-se a um estiramento subsidiário e discreto paralelo a FAG. Para os corredores de cisalhamento mais jovens, a movimentação é oblíqua de topo para NE, com importante componente direcional sinistral e soerguimento relativo do bloco sul (transpressiva). Zonas de cisalhamento discretas contracionais, com orientação geral NNW-SSE e mergulho suave para ambos os quadrantes, muitas vezes associadas à intrusão de *sheets* graníticos, são também observadas. Estas estruturas possuem movimentação de topo para NE ou SW em planos de observação verticais. Outras zonas de cisalhamento, com orientação geral E-W, associam-se a inflexões das zonas de cisalhamento mais antigas. Dados geocronológicos

obtidos pelo método Ar-Ar (Rizzotto *et al.*, 2002) sugerem que ambos os grupos de estruturas aqui descritas são de idade Ectasiana (~1.32 Ga).

Sugere-se que as estruturas descritas na FAG estariam associadas a um encurtamento regional SWW-NEE, fruto de um regime convergente na borda SW do Craton Amazônico no período considerado. Este regime estaria associado a um soerguimento da crosta média-inferior em estágios mais precoces, que evoluiria para um *pop-up* regional da FAG com o progresso da convergência, e também à nucleação simultânea de importantes estruturas transpressivas regionais nos estágios mais tardios. Outra possibilidade para a interpretação das estruturas mais antigas é a colocação para posição vertical de estruturas contracionais originalmente sub-horizontais (estilo *thick-skin*).

### Referências Bibliográficas

Geraldes, M.C., Van Schmus, W.R., Condie, K.C., Bell, S., Teixeira, W. & Babinski, M., 2001. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazil: *Precambrian Research*, 111: 91-128.

Litherland, M. (Coordinator) & many coauthors, 1986. The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian Shield. *Overseas Memoir. British Geological Survey*, 9, 153 pp.

Rizzotto G.J. 1999. Petrologia e ambiente tectônico do Grupo Nova Brasilândia-RO. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 136 p.

Rizzotto, G.J.; Bettencourt, J.S.; Teixeira, W.; D'Agrella Filho, M.S.; Vasconcelos, P.; Basei, M.A.S.; Onoe, A. & Passarelli, C.R., 2002. Geologia e Geocronologia da Suíte Metamórfica Colorado e suas encaixantes, SE de Rondônia; implicações para a evolução mesoproterozóica do Craton Amazônico. *Geologia USP, Série Científica*, 2: 41-56.

Santos, J.O.S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central., 2003. In: Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vldotti, R.M.; Gonçalves, J.H. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Geology, tectonics and mineral resources of Brazil]. Brasília: CPRM, 273p. il p. 169-226.

Tassinari, C.C.G., Bettencourt, J.S., Geraldes, M.C., Macambira, M.J.B., & Lafon, J.M., 2000. The Amazon Craton. In: Cordani, U.G., Miliani, E.J., Thomaz-Filho, A., Campos, D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America. In: *31st International Geological Congress*, Rio de Janeiro, Brazil, 41-95.

Tohver, E., van der Pluijm, B.A., Mezger, K., Essene, E., Scandorala, J.E., & Rizzotto, G.J., 2004. Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in western Brazil: Redefining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon Craton. *Tectonics*, 2004. TC6004 doi:10.1029/2003 TC001563.

## **Acréscimo Continental no Ectasiano e os Granitos Sin, Tardi e Pós Colisionais do Sudeste de Rondônia**

Gilmar José Rizzotto(1), Nolan Maia Dehler(2), Marcos L. Quadros(1)

(1) Serviço Geológico do Brasil-CPRM

gilmarizz@pv.cprm.gov.br, Porto Velho-RO, Brasil

(2) Petróleo Brasileiro S/A-PETROBRÁS

nmdehler@zipmail.com.br, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

O avanço no conhecimento geológico no setor sul-oriental de Rondônia, possibilitado pelo mapeamento geológico regional vinculado ao Programa Geologia do Brasil da CPRM, descortinou uma região promissora em potencialidades minerais como metais base, ouro e diamante. Até então, a área pesquisada estava inserida no indiviso Complexo Xingu ou Complexo Basal, ambos tidos como de idade Arqueana. Entretanto, os estudos dessa vasta região fronteira com o Mato Grosso e Bolívia indicam uma geologia diversificada evoluída a partir do Ectasiano até os tempos atuais. O embasamento da área está representado por uma associação de rochas de fundo oceânico constituídas predominantemente por anfibolitos bandados, metagabros, hornblenditos (metapiroxenitos), serpentinitos e metabasaltos subordinados (Suíte Metamórfica Colorado). A composição geoquímica dessas rochas máficas em muito se assemelha aos basaltos intraplaca toleíticos modernos tipo N-MORB e com leve tendência com os Basaltos de Ilha Oceânica (IOB).

Intercalados a esses litótipos ocorrem formações ferríferas bandadas, formações manganesíferas e gnaisses calcissilicáticos, ambas representantes de sedimentação/precipitação química de fundo oceânico. Fazendo parte desse ambiente extensional também ocorrem uma repetitiva e monótona associação de xistos e paragnaisses derivados, respectivamente, de pelitos e arenitos impuros (grauvacas) de uma provável sequência turbidítica de mar profundo. Portanto, essa associação de rochas é interpretada como remanescentes de uma bacia oceânica, a qual foi posteriormente deformada por um sistema compressivo derivativo de uma tectônica colisional (continente x continente?) ectasiana gerando zonas de cisalhamento de extensão regional (Faixa Alto Guaporé-Rizzotto & Dehler, neste congresso), desenvolvidas em condições metamórficas na transição de médio para alto grau.

Os metagabros acamadados de fundo oceânico mostram-se preservados da deformação regional (*megapods*), constituindo lentes amendoadas por várias dezenas ou centenas de metros, com foliação metamórfica incipiente nas partes centrais do corpo e parcialmente milonitizados nas bordas do mesmo. O acamadamento ígneo está marcado pela alternância de fases minerais de grão grosso e fino, texturas cumuláticas e estrutura de fluxo magmático. Ao microscópio, mostram estrutura maciça e textura ortocumulática parcialmente preservada, constituída por uma fase cúmulus representada por plagioclásio prismático de grão médio e fase intercúmulus formada por piroxênio e anfibólio. Bandas

estreitas de cisalhamento promoveram a transformação dos piroxênios em agregados de anfibólio, de textura granoblástica e de grão grosso. Em algumas faixas do maciço observa-se uma variação textural das rochas onde as feições ígneas são substituídas por feições metamórficas, indicando uma heterogeneidade deformacional, onde o corpo comportou-se como um resistato à deformação.

Dados geoquímicos preliminares mostram afinidade toleítica para os metagabros, com fraco enriquecimento em elementos-traço incompatíveis e padrão horizontalizado de ETR, próximo a 10 vezes os valores do condrito, assemelhando-se aos toleítos modernos tipo N-MORB. Os dados isotópicos das rochas máficas estudadas indicam uma origem dos magmas a partir de um manto empobrecido (DMM end-member) com valores de  $\epsilon_{Nd(T)}$  que variam de 0,0 a +5,2 e  $\epsilon_{Sr(T)}$  = -5,0 a -30,7, os quais também são indicativos de uma origem em ambiente intraoceânico (Teixeira *et al.*, 2006).

No metagabro (RO-10) foram datados, pelo método U-Pb, os cristais de zircão, os quais são prismáticos, incolores e transparentes, com biterminação bem desenvolvida e raras inclusões. Três frações de zircão foram analisadas cujos resultados alinham-se numa concórdia com idade no intercepto superior em  $1352 \pm 4$  Ma (MSWD=0,18), sendo interpretada como idade mínima de cristalização.

Durante a instalação da Faixa Alto Guaporé ocorreu o posicionamento de vários corpos de granitóides, os quais são marcadores de três fases distintas da deformação. Os *granitos sintectônicos* são intrusivos nos xistos, paragnaisses e anfibolitos da Suíte Metamórfica Colorado, geralmente exibindo contato abrupto e discordante, em contato por falha verticalizada na maioria das vezes, embora contatos difusos com autólitos e enclaves de rochas anfibolíticas, sugerem magmatismo quase que contemporâneo com as máficas. Os granitóides, por sua vez, são cortados por diques de aplitos e raros pegmatitos. Composicionalmente são representados por variedades de granitóides que vão desde sienogranito até tonalitos. Entretanto, predominam os sienogranitos e monzogranitos, seguidos dos granodioritos e raros tonalitos.

De um modo geral, são rochas leuco a mesocráticas, apresentando tonalidade rosa, cinza ou cinza-rosada, localmente tonalidades cinza-escura com alta concentração de máficos (tonalitos). A granulação é média a grossa, onde os termos porfiróides exibem megacristais de feldspato potássico de até 5 cm de tamanho. Raramente, apresentam-se manteados por plagioclásio, caracterizando a textura rapakivi, assim como há uma interação mecânica do granito com gabro resultando em rochas híbridas. Apresentam como principal característica, uma forte trama de fluxo magmático, com ou sem superposição de deformação no estágio "subsólido". Essas feições, aliadas às características texturais sugerem colocação destes corpos em regime compressional desde sin até tardi-cinemáticos. A foliação milonítica, quando presente, apresenta-se bastante paralelizada, onde as micas envolvem os porfiroclastos de feldspato

potássico. Entretanto, a deformação é heterogênea onde porções dos maciços mostram feições ígneas bastante preservadas. De maneira geral, o feldspato potássico exibe orientação segundo o fluxo magmático, mantendo a forma prismática dominante, enquanto que os cristais de quartzo mostram-se estirados, com feições sigmoidais e com esporádica recristalização ao longo da sombra de pressão dos feldspatos potássicos. A foliação é definida pelos minerais máficos do tipo biotita e rara hornblenda. Diques aplíticos sin-plutônicos com dezenas de metros de extensão ocorrem em alguns afloramentos, assim como autólitos máficos subarredondados de composição quartzo-diorítica. Xenólitos são raros e variáveis no tamanho e via de regra, são constituídos pelas rochas encaixantes como paragneisses e anfibolitos, além de restitos a base de biotita.

Uma amostra de biotita leucosienogranito (GR-94) foi analisada e datada pelo método U-Pb. O intercepto superior da discórdia forneceu idade de  $1340 \pm 3$  Ma (MSWD=0,17), sendo interpretada como idade de cristalização. O valor de  $\epsilon_{Nd(T=1,3\text{ Ba})}$  é de +2,3 e idade  $T_{DM} = 1,51$ , sugestivo de fonte juvenil com protólito de curta residência crustal.

Os *granitos tardi-tectônicos* apresentam contato claramente discordante com as rochas consideradas do embasamento. Neste contexto, apresentam contato abrupto discordante tangenciando o bandamento e/ou foliação metamórfica dos paragneisses e xistos, além de freqüentes apófises intrusivas nos anfibolitos e metagabros da Suíte Metamórfica Colorado. São granitos *stricto sensu*, homogêneos, leucocráticos, com incipiente trama de fluxo magmático, granulação fina, de coloração acinzentada, esbranquiçada a levemente rosada. Apresentam, comumente, agregados porfiroblásticos de biotita e granada, além de esparsos fenocristais quadráticos centimétricos de feldspato potássico.

Em alguns maciços graníticos observa-se também uma discreta trama planar originada no estágio "subsolidus" que é marcada pelo estiramento dos cristais de quartzo e alinhamento da biotita. Essa deformação é acompanhada por hidrotermalismo pervasivo resultando no crescimento de muscovita por sobre cristais de plagioclásio e biotita. As características petrográficas evidenciam uma estrutura foliada magmática caracterizada pela orientação dimensional de feldspato potássico (microclínio) e biotita, de textura porfirítica a equigranular hipidiomórfica. Os cristais de microclínio e raramente de ortoclásio, apresentam pertitas do tipo filmes finos e descontínuos, com inclusões de biotita, plagioclásio e quartzo globular. O plagioclásio é zonado, alterado localmente para muscovita e epidoto, apresentando forma prismática alongada a euédrico. A biotita é pleocróica em tons castanho, com inclusões de apatita e zircão, alterada para muscovita e rara clorita ao longo das clivagens. Os acessórios são a allanita, zircão e opacos.

Analisou-se uma amostra de biotita sienogranito (GR-33) a qual forneceu idade de  $1332 \pm 3$  Ma, sendo interpretada como idade de

cristalização. O valor de  $\epsilon_{Nd(T=1,3\text{ Ba})}$  é de +1,55 e idade  $T_{DM} = 1,58$ , indicando assinatura isotópica juvenil com protólito de curta residência crustal.

A terceira fase distinta de alojamento de corpos graníticos no interior da Faixa Alto Guaporé é marcada pelos *granitos pós-tectônicos*. Estes ocorrem como *boulders* subarredondados, exibindo contato abrupto discordante tangenciando o bandamento gnáissico e/ou foliação metamórfica dos gnaisses e xistos da Suíte Metamórfica Colorado. Ocorrem também na forma de diques aplíticos que cortam aleatoriamente os granitóides sin a tardi-tectônicos. Xenólitos são raros ou ausentes.

São rochas que variam composicionalmente de sienogranito a álcali-feldspato granito, leucocráticos, granulação fina, de estrutura maciça, textura porfirítica a equigranular hipidiomórfica, predominantemente isotrópicos, entretanto, em alguns corpos observa-se uma discreta trama planar originada no estágio "solidus" que é marcada pelo estiramento dos cristais de quartzo e alinhamento da biotita. Essa deformação originada por zonas de cisalhamento discretas é acompanhada por hidrotermalismo pervasivo resultando no crescimento de muscovita por sobre cristais de plagioclásio e biotita.

As análises U-Pb foram realizadas num microclínio granito (NM-49), o qual forneceu idade de  $1235 \pm 3$  Ma (MSWD=0,65), interpretada como o tempo de cristalização da rocha.

Com o objetivo de se determinar a idade do metamorfismo que afetou as rochas integrantes da Faixa Alto Guaporé, efetuou-se uma série de determinações geocronológicas pelo método  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ , em rochas representativas do fundo oceânico e de granitos intrusivos deformados. Sendo assim, cristais de muscovita do sienogranito (GR-33) foram datados por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , resultando em idades plateau de  $1312 \pm 3$  Ma (grão 1) e  $1303 \pm 2$  Ma /  $1305 \pm 2$  Ma (grão 2). O grão 3 apresentou um espectro isotópico heterogêneo, cuja idade integrada é de  $1289 \pm 2$  Ma. Hornblenda de duas amostras de anfibólitos da Suíte Metamórfica Colorado, produziram as seguintes idades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , respectivamente:  $1313 \pm 4$  Ma;  $1313 \pm 6$  Ma e  $1312 \pm 3$  Ma;  $1325 \pm 3$  Ma;  $1326 \pm 2$  Ma /  $1330 \pm 3$  Ma. Pelas idades comparáveis entre a muscovita e os anfibólitos, tanto o resfriamento metamórfico como as segregações anatéticas ocorreram em seqüência temporal próxima.

A idade média ponderada é de  $1319 \pm 10$  Ma e é interpretada como a melhor estimativa da época de resfriamento metamórfico regional da Faixa Alto Guaporé.

### **Discussões e Conclusões**

A utilização integrada dos dados geológicos e geocronológicos ( $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  e U-Pb) permitiu definir um importante evento tectono-magmático, de natureza acrescionária e colisional, na região sudeste de Rondônia, suportado pelos dados isotópicos de Sm-Nd que indicam uma acreção de crosta juvenil durante o período ectasiano. Regionalmente, esse evento está

materializado pela Faixa Alto Guaporé, a qual apresenta similaridades com as entidades tectônicas já previamente definidas como Cinturão de Cisalhamento Guaporé (Santarém *et al.*, 1992), Faixa Orogênica Policíclica Guaporé (Scandolara *et al.*, 1999) e Cinturão Móvel San Ignácio (Litherland *et al.*, 1989), as quais se superpõem espacialmente. Granitos de alojamento contemporâneo e de características similares aos aqui apresentados, ocorrem desde o extremo oeste de Rondônia, passando pela região central do estado, além de vários corpos no setor oriental do pré-cambriano boliviano. Nesse contexto, cita-se os granitos possivelmente sintectônicos da unidade Lomas Maneches, os quais indicaram idades de  $1334 \pm 3$  e  $1319 \pm 6$  Ma (Santos *et al.*, 2006, neste congresso) e aqueles denominados de granito San Rafael ( $1334 \pm 12$  Ma) (Boger *et al.*, 2005). Já para os granitos pós-tectônicos do sudeste de Rondônia, seus correlatos são os granitos San Javier, de idade de  $1275 \pm 7$  Ma (Santos *et al.*, 2006).

Portanto, os dados combinados da região sudeste de Rondônia com aqueles do oriente boliviano sugerem uma compartimentação tectônica muito similar, senão a mesma, edificada pela Faixa Alto Guaporé ou Cinturão Móvel San Ignácio, em resposta a uma orogenia colisional continente *versus* continente(?) em tempos ectasianos (~1,3 Ba). A acreção de crosta oceânica está materializada, em parte, pela cristalização do metagabro (RO-10), o qual indica a idade mínima de abertura do oceano ectasiano ( $1352 \pm 4$  Ma), enquanto que o alojamento do granito sintectônico (GR-94) é marcador do início do fechamento desse oceano, por volta de 1340 Ma. A tectônica colisional foi desenvolvida em condições metamórficas da fácies anfíbolito superior a granulito e que teve seu arrefecimento em torno de 1320 Ma, evidenciado pelos dados de Ar-Ar em anfíbólio e muscovita. Os granitos pós-tectônicos (NM-49) de idade de 1235 Ma, podem indicar a retomada de um novo ciclo de extensão continental, os quais poderiam estar associados com a fase de abertura do rift Nova Brasilândia, situado logo a NW desta área.

#### Referências Bibliográficas

- Boger, S.D.; Etchart, E.; Fanning, C.M. 2005. U-Pb age date from the Sunsas region of eastern Bolivia, evidence for the allochthonous origin of the Paragua Block. *Precambrian Research* 139: 121-146
- Litherland, M. (Coordinator) & many coauthors, 1989. The Proterozoic of Eastern Bolivia and its Relationship to the Andean Mobile Belt. *Precambrian Research* 43: 157-174
- Santarém, P.C.; Scandolara, J.E.; Silva, C.R. da; Menezes, 1992 R.G. de. O Cinturão de Cisalhamento Guaporé nos Estados de Mato Grosso e Rondônia: dados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo: SBG, v. 1, p. 321-322.
- Scandolara, J.E., Rizzotto, G.J., Bahia, R.B., Quadros, M.L., Silva, C.R., Amorim, J.L.. 1999. Mapa Geológico do Estado de Rondônia. CPRM, Porto Velho-RO
- Teixeira, W., Bettencourt, J.S.; Girardi, V.A.V.; Onoe, A.; Sato, K.; Rizzotto, G.J., 2006. Mesoproterozoic mantle heterogeneity in SW Amazonian Craton:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Nd-Sr evidence from mafic-felsic rocks. XV Conferência Internacional de Diques Máficos, Finlândia, Balkema ed.

# THE FOUR MAIN OROGENIES WITHIN THE AUTOCHTHONOUS MESOPROTEROZOIC SUNSÁS PROVINCE IN SOUTHWEST AMAZON CRATON, SOUTH AMERICA.

João Orestes Schneider Santos<sup>1,2</sup>, Gilmar José Rizzotto<sup>3</sup>, Neal Jesse McNaughton<sup>2</sup>, Ramiro Matos Salinas<sup>4</sup>, Léo Afraneo Hartmann<sup>5</sup>, Paul Edwin Potter<sup>6</sup>, Ian Robert Fletcher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Redstone Resources, 110 East Parade, East Perth, WA, 6004 – Australia.  
[orestes.santos@bigpond.com](mailto:orestes.santos@bigpond.com)

<sup>2</sup>School of Earth and Geographic Sciences, University of Western Australia, 35 Stirling Highway, Crawley, WA, 6009 – Australia.

<sup>3</sup>Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Porto Velho, RO, Brazil.

<sup>4</sup>Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.

<sup>5</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

<sup>6</sup>University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, United States of America.

## INTRODUCTION

The Mesoproterozoic Sunsás Province is the youngest province of the Amazon Craton in South America (Santos et al., 2000). It is located in the SW margin of the craton (Fig.1) in eastern Bolivia, south and northwest Rondônia and northwest Mato Grosso states of Brazil. There are proposed correlations to the Grenville Province of Laurentia since 1971 (Priem et al., 1971; Sadowki and Bettencourt, 1996; Tohver et al., 2002; Santos et al., 2002, 2004). The province is largely covered by Cainozoic deposits to the east of the Andean Belt which difficult its mapping and interpretation. Presence of Sunsás-age fragments within the Andean Belt (Priem et al., 1989) is indication that the Sunsás orogen was present to the west and largely consumed by the Andean evolution. Its evolution and stratigraphy are based on Rb-Sr geochronology and regional maps (Litherland and Bloomfield, 1981; Litherland et al., 1989). These authors recognize two orogenies within the Sunsás Belt: Sunsás and San Ignacio post-dating the basement composed by three main units: San Ignacio Group (green schist facies), Chiquitania Complex (amphibolite facies) and Lomas Manechi Complex (granulite facies). The age of the basement is considered to be older than 1400 Ma and the Lomas Manechi Complex is interpreted as possibly much older (2000 Ma). The stratigraphy of the basement (1400-2000 Ma) is based on the metamorphic grade (Litherland et al., 1989; table 15) where San Ignacio Group is younger than the Chiquitania Complex and this is younger than the Lomas Manechi Complex. Several questions about the Sunsás Province are open for debate including: the duration of the orogen; the subdivision in orogenies; the relationship to the neighbour province, Rondônia-Juruena; the relationship to the Paraguá Craton; the nature of its evolution, if allochthonous or autochthonous; the age of the Bolivian basement (Lomas Manechi Complex); etc. To improve the understanding of the Sunsás Province 20 samples are investigated by U-Pb SHRIMP (Sensitive High-mass Resolution Ion MicroProbe) and the results are integrated to four other samples previously dated by the authors (Santos et al., 2000; Santos et al., 2001). Samples are distributed in Bolivia (9, see figure 2), Rondônia (10), and Mato Grosso (5). Analyses were carried out on SHRIMP II at Curtin University, Western Australia. Presented data are corrected for common lead and all ages are  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages calculated at 2sigma level using ISOPLOT and SQUID softwares (Ludwig, 2001).

## RESULTS

The results of U-Pb SHRIMP analyses are on table 1. Most of samples are zircon, but some samples are combining zircon and monazite (JO3) or titanite (JO14). This table is showing two columns of ages where age1 is the latest magmatic or metamorphic age and age2 represents the inherited ages. The results are grouped by age, by orogeny and by province. The table also has Sm-Nd data of most samples. Two examples are selected to be shown: samples JO3 (Lomas Manechi Complex, Fig.3) and JO8 (Chiquitania Complex, Fig.4).

Eight samples of the basement of Rondônia-Juruena Province were investigated to test its relationship to the Sunsás Province.

### CONCLUSIONS

Several conclusions are listed below:

Four main orogenies are interpreted from the data:

1 - Santa Helena (Geraldes et al., 2001), where the equivalent in Bolivia is the juvenile San Ramon Tonalite ( $1431 \pm 4$  Ma);

2 - Alto Candeias (Santos et al., 2004), which is a dominantly collisional orogeny producing granulite facies metamorphism and collisional granites. The rocks formed during this orogeny are the most preserved and more distributed in Bolivia and Rondônia. The Alto Candeias orogeny (1370-1320 Ma) metamorphosed most of all precedent rocks. This effect is evident over the Jamari Complex (sample JL78, formed at 1743 Ma and metamorphosed at 1336 Ma) and Serra Providência Suite (sample GR333, formed at 1547 Ma and metamorphosed at 1349 Ma). The name San Ignacio is not used for this orogeny because the San Ignacio Group would be older than the orogeny ( $>1400$  Ma; Litherland et al., 1989) and because this name was used for a large area in Rondônia (Tassinari and Macambira, 1999), which is composed by the Jamari Complex (1760-1740 Ma) and the Quatro Cachoeiras Group (1670-1630 Ma).

3 - San Javier (this work). Detrital zircons having ages younger than the Alto Candeias orogeny were detected in samples of Aguapeí Group in Bolivia (JO1, not shown), Mato Grosso (MT1) and in samples of Nova Brasilândia Group in Rondônia (GR66), Santos et al., 2003. The San Javier Granite (JO10) is the first rock correlating to those ages in the 1290-1230 Ma range and is another evidence for an orogeny between the Sunsás and Alto Candeias orogenies.

4 - Sunsás (Litherland et al., 1989). The data confirm the correlation of two units in Brazil to this orogeny: the Nova Brasilândia (Rizzotto et al., 1999) and Aguapeí groups (Santos et al., 2005). Sample JO8 also demonstrates that this orogeny reached high-grade re-crystallizing zircon.

There is no relation of age and metamorphic grade in the above four orogenies. This is pointing to a review of the whole stratigraphy of Bolivian Precambrian, which is a metamorphic grade-based stratigraphy. Any of the above four orogenies may have produced rocks under variable metamorphic grade. However, granulite facies is more common to the Alto Candeias orogeny.

The oldest known rock in Bolivia is the Refugio Monzogranite ( $1656 \pm 12$  Ma). The Sm-Nd model age of 1666 Ma and the high epsilon Nd (+4.05) are strong evidence for a juvenile origin. This age correlates to the Quatro Cachoeiras orogeny within the Rondônia-Juruena Province (1670-1630 Ma; Santos et al., 2004).

The Lomas Manechi Complex is formed mainly by rocks generated or metamorphosed during the Alto Candeias orogeny (1370-1320 Ma). The described charnockitic rocks in this complex may correlate to the Jaru Charnockite in Rondônia (ca. 1550 Ma and metamorphosed at 1370-1320 Ma).

All inherited ages in Bolivia present in magmatic and metamorphic rocks, as well as all ages from detrital zircon in sedimentary rocks correlate with rocks cropping out to the east within the Rondônia-Juruena Province. Inherited age of 1824 Ma in Lomas Manechi Complex (JO3) and of 1811 in Chiquitania Complex are typical of Juruena Domain in Mato Grosso; inherited age of 1751 Ma in another sample of Chiquitania Complex (JO6) is equivalent to the age of the Jamari Complex in Rondônia.

There are not inherited ages older than 1824 Ma yet detected within the Sunsás Province. This is precluding a derivation from Trans-Amazon- (2.26-2.01 Ga) or Tapajós-type (2.03-1.88 Ma) continental lithosphere. This is strong evidence for an autochthonous Mesoproterozoic evolution of the province against the Amazon Craton margin formed by the Rondônia-Juruena Province.

The interpretation of the U-Pb data and the compilation of the literature failed to find a single evidence for the existence of another craton in eastern Bolivia: the Paraguá Craton. The area

proposed for this craton is essentially composed by the Pensamiento Granite Complex, which corresponds to rocks formed mainly during the Alto Candeias orogeny (1370-1320 Ma). How is possible a craton be younger than the basement? The inexistence of such a craton may be considered in the paleo-reconstructions of the Amazon Craton and its relation to Laurentia during Grenvillian time (Tohver et al., 2004).

## REFERENCES

- Boger, S.D., Raetz, M., and Giles, D., 2005. U-Pb age data from the Sunsás region of eastern Bolivia, evidence for the allochthonous origin of the Paragua Block. *Precambrian Research*, 139: 121-146.
- Geraldes, M.C., Van Schmus, W.R., Condie, K.C., Bell, S., Teixeira, W., and Babinsky, M., 2001. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso State, Brazil. *Precambrian Research*, 111: 91-128.
- Litherland, M., and Bloomfield, K., 1981. The Proterozoic history of Eastern Bolivia. *Precambrian Research*, 15: 157-179.
- Litherland, M., Annels, R.N., Darbyshire, D.P.F., Fletcher, C.J.N., Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Mitchell, W.I., O'Connor, E.A., Pitfield, P.E.J., Power, G. and Webb, B.C., 1989. The Proterozoic of Eastern Bolivia and its relationship to the Andean Mobile Belt. *Precambrian Research*, 43:157-174.
- Ludwig, K.R., 1999. Using ISOPLOT/Ex, version 2: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 47 pp.
- Payolla, B.L., Bettencourt, J.S., Kozuch, M., Leite Jr., W.B., Fetter, A., Van Schmus, W.R., 2002. Geological evolution of the basement rocks in the east-central part of the Rondônia Tin Province, SW Amazonian Craton, Brazil: U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. *Precambrian Research*, 119: 141-169.
- Priem, H.N.A., Boelrick, N.A.I.M., Hebeda, E.H., Verdumen, E.A.T. and Bon, E.H., 1971. Granitic complexes and associated tin mineralization of "Grenville" age in Rondônia, Western Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 82:1095-1102.
- Priem, H.N.A., Kroonemberg, S.B., Boelrijk, N.A.I.M., and Hebeda, E.H., 1989. Rb-Sr and K-Ar evidence for the presence of a 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzon-Santa Marta Granulite Belt in the Colombian Andes. *Precambrian Research*, 42:315-324.
- Rizzotto, G.J., Chemale, F., Lima, E.F., Van Schmus, W.R. and Fetter, A., 1999. Dados isotópicos Sm-Nd and U-Pb das rochas da sequência metavulcanossedimentar Nova Brasilândia (SMNB) - RO. In: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Boletim de Resumos Expandidos, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Manaus, Amazonas, 490-493.
- Rizzotto, G.J., Bettencourt, J.S., Teixeira, W., Pacca, G.I.G., D'Agrella Filho, M.S., Vasconcelos, P., Basei, M.A.S., Onoe, A.T., and Passarelli, C.R., 2002. Geologia e Geocronologia da Suíte Metamórfica Colorado e suas Encaixantes, SE de Rondônia: Implicações para a Evolução Mesoproterozóica do SW do Cráton Amazônico. *Revista do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Série Científica*, 2: 41-55.
- Sadowski, G.R., and Bettencourt, J.S., 1996. Mesoproterozoic tectonic correlations between eastern Laurentia and the western border of the Amazon Craton. *Precambrian Research*, 76: 213-227.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J. and Fletcher, I.R., 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4):453-488.
- Santos, J.O.S., Rizzotto, G.R., Hartmann, L.A., McNaughton, N.J. and Fletcher, I.R., 2001c. Ages of sedimentary basins related to the Sunsás and Juruena Orogenic cycles, southwestern Amazon Craton, established by zircon U-Pb geochronology. In: South American Symposium on Isotope Geology, 3, Pucon, Chile, Comunicaciones.
- Santos, J.O.S., Rizzotto, G.J., Chemale, F., Hartmann, L.A., Quadros, M.L.E.S. and McNaughton, N.J., 2003. Three distinctive collisional orogenies in the southwestern Amazon Craton: Constraints from U-Pb geochronology. *South American Symposium on Isotope Geology*, 4, Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral, Salvador, Bahia, Short papers, vol. 1, pp. 282-285.
- Santos, J.O.S., Rizzotto, G., Easton, M.R., Potter, P.E., Hartmann, L.A., and McNaughton, N.J., 2002. The Sunsás Orogen in Western Amazon Craton, South America and Correlation With the Grenville Orogen of Laurentia, Based on U-Pb Isotopic Study of Detrital And Igneous Zircons. In: Geological Society of America, 2002 Denver Annual Meeting (October 27-30, 2002), *Precambrian Geology*, paper 122-8.

- Santos, J.O.S., Rizzotto, G.J., Dietsch, C., Potter, P.E., and Easton, R.M., 2004. First inventory of Grenvillian rocks in South America. GSA Denver Annual Meeting (November 7–10, 2004), Paper No. 197-12.
- Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. Episodes, 22 (3): 174-182.
- Tohver, E., van der Pluijm, B.A., van der Voo, R., Rizzotto, G.A., and Scandolara, J.E., 2002. Paleogeography of the Amazon Craton at 1,2 Ga: early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. Earth and Planetary Science Letters, 199:185-200.
- Tohver, E., Pluijm, B.V.D., Mezger, K., Essene, E., Scandolara, J. and Rizzotto, G.J., 2004. Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in Western Brazil: Redefining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon Craton. Tectonics, vol. 23, pp. 1-20.

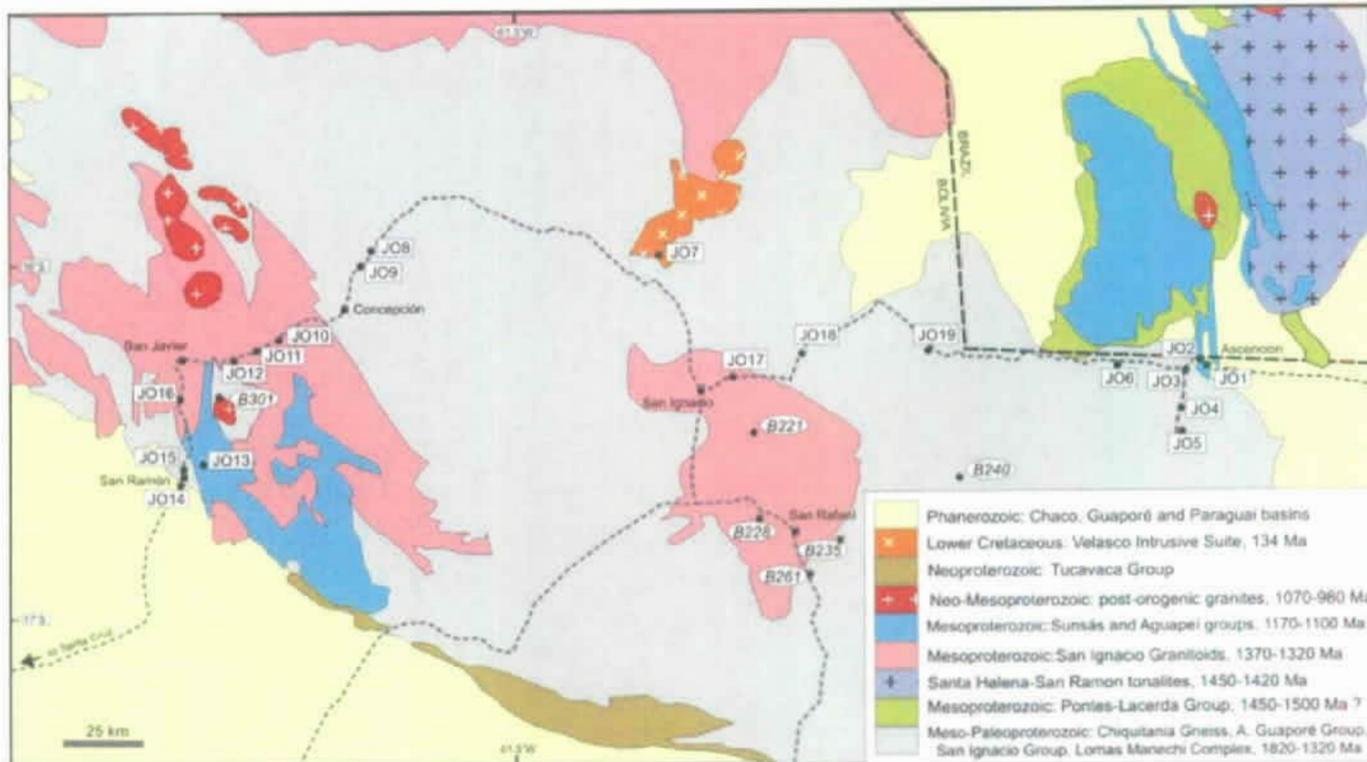
**Table 1.** U-Pb data of 24 samples from Sunsás and Rondônia-Juruena provinces, organized by age and orogeny

Prov.	Orogeny	Sample	Rock	Unit	Age1	Age2	$T_{DM(t)}$	$\epsilon_{Nd}$	Reference	
SUNSA'S		JO7	Alkali granite	Velasco	136 ± 2		749	-2.31	This work	
		JO8	Garnet gneiss	Sunsás	<i>1118 ± 15</i>	1678, 1640, 1551, 1351, <i>1318</i>	1835	-1.26	This work	
	Sunsás	MT1	Quartzite	Aguapei		<1171, 1278, 1447, 1617, 1660	-	-	Santos et al. (2001)	
		GR66	Paragneiss	N. Brasilândia		< 1160 ± 14, 1210, 1290, 1427, 1753	-	-	Santos et al. (2000)	
	Alto Candeias	San Javier	JO10	Granite	San Javier	1275 ± 7	1331 ± 13	1682	-0.15	This work
			JO18	Granulite	Lomas Manechi	1319 ± 6	1721 ± 10	1961	-2.57	This work
			JO5	Granite	Lomas Manechi	1334 ± 3	-	2057	+0.77	This work
			JL78	Tonalite	Jamari	<i>1336 ± 2</i>	1743 ± 9	1947	+1.04	This work
			JL6	Leucogranite	Alto Candeias	1339 ± 3	-	-	-	This work
			JS39	Granite	Alto Candeias	1339 ± 7	-	-	-	This work
			JO3	Granulitic gneiss	Lomas Manechi	<i>1342 ± 3</i>	1824 ± 11	1860	+3.36	This work
			MQ23	S-type granite	Laje Suite	<i>1345 ± 8</i>	1545 ± 14	-	-	This work
			JO6	Foliated granite	Chiquitania	<i>1349 ± 6</i>	1751 ± 10	2057	-3.84	This work
			GR333	Meta-granite	S. Providência	<i>1349 ± 8</i>	1547 ± 13	1990	-0.69	This work
Santa Helena	JO14	Tonalite	San Ramón	1431 ± 4	-	1569	+2.32	This work		
RONDÔNIA-JURUENA	Quatro Cachoeiras	JO12	Granite	Refúgio	1656 ± 12	-	1666	+4.05	This work	
		GR59	Tonalite	Jamari	1674 ± 11	1753 ± 9	1838	+2.33	This work	
		PT12	Paragneiss	Ouro Preto	1675 ± 12	-	-	-	Santos et al. (2000)	
	Jamari	MQ96	Dacite	Roosevelt	1740 ± 8	-	-	-	Santos et al. (2000)	
		RJ79	Felsic tuff	Mutum-Paraná	1751 ± 16	1931, 1963, 2051	-	-	This work	
		GR35	Quartz-diorite	Jamari	1761 ± 4	-	1957	+1.89	This work	
		GM10	Syenogranite	Teles Pires Suite	1757 ± 14	-	2100	-	This work	
	Juruena	CC21	Tonalite	Suite Paranaita	1793 ± 6	2555 ± 29	2080	-0.70	This work	
CC6		Syenite	Cristalino	1806 ± 3	-	-	-	This work		

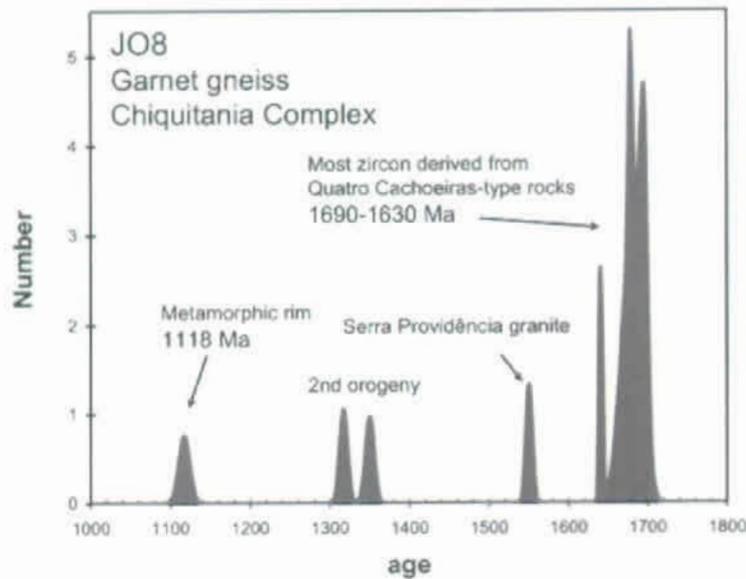
All ages are U-Pb SHRIMP ages (Ma), except sample PT12 (U-Pb TIMS). Age1= latest magmatic or metamorphic age (metamorphic ages in italic). Age2= main inherited ages. Most samples are zircon, except JO3 (monazite and zircon) and JO14 (zircon and titanite).



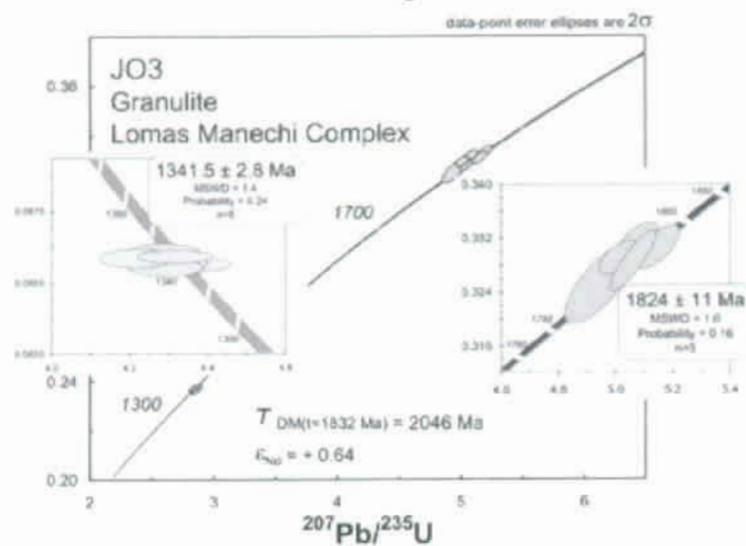
**Figure 1.** Location of Sunsás Province in the Amazon Craton and South America.



**Figure 2.** Geological map of study area displaying sample location (rectangular labels). Geology simplified from 1:250K sheets (Litherland et al., 1986). Also shown are samplings of Boger et al. (2005) (elliptical labels).



**Figure 3.** Cumulative probability plot of U-Pb ages of sample JO8, Chiquitania Complex (garnet gneiss). The main detrital source for this meta-sedimentary rock are rocks formed during the Quatro Cachoeiras orogeny. Metamorphic rim at 1118 Ma is evidence for high-grade metamorphism during the Sunsás Orogeny.



**Figure 4.** Concordia plot of sample JO3, Lomas Manechi Complex granulite. Magmatic rock formed at 1824 Ma (zircon age) was metamorphosed at 1341 Ma (monazite age).