



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA**

GABRIELA LIBERTAD VARGAS MATTOS

**Estudo petrográfico e geoquímico do embasamento e dos
granitóides das Orogenias Sunsá e San Ignacio da região de
San Ramón e Concepción, SW do Cráton Amazônico da Bolívia**

Rio de Janeiro

2006

GABRIELA LIBERTAD VARGAS MATTOS

**Estudo petrográfico e geoquímico do embasamento e dos
granitóides das Orogenias Sunsá e San Ignacio da região de
San Ramón e Concepción, SW do Cráton Amazônico da Bolívia**

**Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre ao Programa
de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas
Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cesar Geraldés

**Rio de Janeiro
2006**

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/C

V297 Vargas Mattos, Gabriela Libertad.
Estudo petrográfico e geoquímico do embasamento
e dos granitóides das orogenias Sunsá e San Ignacio
da região de San Ramón e Concepción, SW do cráton
amazônico da Bolívia / Gabriela Libertad Vargas
Mattos. – 2006.
110 f.

Orientador : Mauro César Geraldés.
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado
do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estratigráfica – Pré-cambriano – Teses.
Bolívia - Teses. I. Geraldés, Mauro César. II.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade
de Geologia. III. Título.

CDU 551.71/.72(84)

GABRIELA LIBERTAD VARGAS MATTOS

Estudo petrográfico e geoquímico do embasamento e dos granitóides das Orogenias Sunsá e San Ignacio da região de San Ramón e Concepción, SW do Cráton Amazônico da Bolívia.

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Aprovado em _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mauro César Geraldés (Orientador)

Prof. Dr. Wilson Teixeira

Prof. Dr.^a Claudia Valladares

Rio de Janeiro

2006

Resumo

O presente trabalho teve por objetivo a caracterização petrográfica e geoquímica das rochas graníticas formadas durante o evento Sunsás e de seu embasamento no SW do Craton Amazônico na Bolívia. As unidades estudadas compreendem, além dos granitóides da Orogenia Sunsás (1,30 Ga-950 Ma), o embasamento (> 1400 Ma) representado por gnaisses La Chiquitania, enderbitos e gnaisses Lomas Maneches e granitóides San Ignacio (1400-1300 Ma). A área de estudo encontra-se no extremo leste da Bolívia envolvendo os estados de Santa Cruz de La Sierra e Beni. A justificativa para este estudo é a ausência de trabalhos desde a década dos oitenta, quando foi mapeado o pré-Cambriano boliviano pelo Serviço Geológico da Bolívia com o Serviço Geológico Britânico. Para o embasamento, a unidade La Chiquitania apresenta rochas como ortognaisses de composição granítica além de litotipos granadíferos. A unidade Lomas Maneches apresenta enderbitos e rochas graníticas metaluminosas a debilmente peraluminosas. O ambiente tectônico no qual foi formada varia desde pré-colisional a tardi-orogênico com rochas preferencialmente graníticas e os ETR sugerem um processo de fracionamento magmático para a geração das rochas. Os granitóides San Ignacio incluem as intrusões graníticas San Andrés, El Refugio e San Ramón. Segundo a química, estas rochas variam de metaluminosa a debilmente peraluminosa. Os diagramas tectônicos indicam ambientes que variam de pré-colisionais a post-orogênicos e os padrões de ETR sugerem a existência de dois grupos provavelmente originados de fontes diferentes ou a partir de processos de fracionamento diferentes. Os granitóides Sunsás incluem as intrusões Talcoso, Cachuela, Naranjito, Taperas e Primavera. Os estudos petrográficos dos primeiros 3 granitóides permitem classificá-los como granitos, sendo que os últimos dois foram classificados como granodioritos. Os resultados geoquímicos dos ETR permitem sugerir que estes granitóides apresentam um comportamento metaluminoso, com afinidade pós-orogênica. Neste sentido, os granitos Naranjito, Primavera e Talcoso são produto de uma cristalização fracionada. O granito Cachuela é o representante mais primitivo e o granito Taperas tem posição intermédia no processo de fracionamento magmático. A partir dos resultados apresentados e com os dados da literatura pode-se sugerir que os gnaisses La Chiquitania e do Lomas Maneches foram resultado de um importante evento acrecionário na região (Orogênese Lomas Maneches). Ocorrido por volta de 1680-1660 Ma. Seguindo o tempo geológico foi registrado o evento San Ignacio, de idade entre 1,34 Ga e 1,33 Ga, cujo ambiente tectônico mais provável foi um arco magmático continental. Para o evento Sunsás, os corpos graníticos são classificados como granitos tipo I, resultando do estabelecimento de um arco magmático continental por volta de 1,07 Ga. Os elementos terras-raras permitem sugerir que estes granitóides foram gerados em um processo de fracionamento magmático, provavelmente de origem mantélica, durante o processo de subducção que terminou na colisão Grenvilliana que, conforme a literatura, resultou na aglomeração do supercontinente Rodínia.

Palavras-chave: Pré-cambriano; Bolívia

Abstract

The main objectives of this work were the petrographic characterization and geochemistry studies of the Sunsas granitic intrusions and their country rocks in the Bolivian sector of the SW Amazonian craton. The studied units comprise the Sunsas Orogeny granitoids (1,30 Ga-950 Ma), the basement (>1400 Ma) including La Chiquitania gneiss, enderbitic and granitic gneiss of the Lomas Maneches unit and San Ignacio granitoids (1400-1300 Ma). The studied area is located in the west sector of Bolivia and involves the Santa Cruz de La Sierra and Beni states. The justificative for this study is the absence of investigation focusing the area since the 1980 decade, when the Bolivian Geological Survey with the Geological British Survey mapped the Bolivian pre-Cambrian. The Lomas Maneches unit comprises enderbitic and granitic gneiss from metaluminous to peraluminous composition. The tectonic setting indicated by the tectonic diagrams suggest late-orogenic to post-tectonic origin and the REE patterns suggest fractional crystallization processes for the rocks formation. The La Chiquitania unit presents two types of rocks (granitic gneiss and the garnet gneiss) here interpreted as similar to the Lomas Maneches rocks. The San Ignacio granitoids include San Andrés, El Refugio and San Ramon granites. According to the geochemistry results the rocks are characterized as metaluminous and peraluminous and the tectonic setting where the rocks were formed vary from pre-collision to post-orogenic and the REE patterns suggest the existence of two groups of rocks originated in different sources or as result of different processes of magma fractionation. The Sunsas granitoids here studied included the Talcoso, Cachuela, Naranjito, Taperas and Primavera intrusions. The petrography study allowed to classificated the first three granitoids as granites and the other two as granodiorite. The geochemical study of all the granites indicates metaluminous trend and according to the REE patterns, the Naranjito, Primavera and Talcoso granites are product of the fractional crystallization processes; the Cachuela granite represents the more primitive, and the Taperas granite with intermediate position in the magmatic fractional processes. The present study and previously works suggest that the La Chiquitania paragneiss were formed as result of erosion and sedimentation from sources dating at 1,76 Ga. At about 1680-1660 occurred an important accretionary event in this region (here defined as Lomas Maneches Orogeny). Following the geological time, the San Ignacio event was recorded by granitogenesis ca. 1,34 Ga and 1,33 Ga, whose tectonic environment probably is related to a continental magmatic arc. The Sunsas event granitoids may be classificated as I-type granites, resulted of the continental magmatic arc setting at 1,07 Ga. The REE patterns allow to suggest these granites were generate from a magmatic fractionating processes, with mantelic source during which subduction finished with the Grenvillian collision, according to the literature, responsible for the Rodinia supercontinent assembly.

Keywords: Precambrian; Bolivia

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. 1. Províncias Geológicas da Bolívia segundo Ahlfeld (1960) 2

Figura 1. 2. Localização da área de estudo e cartografia topográfica segundo o Instituto Geográfico Militar (IGM), Bolívia. Em laranja, a Folha de Concepción (1: 250 000). Em retângulo, a área estudada 6

Capítulo 2

Figura 2.1. Quarteo das amostras no Laboratório..... 10

Capítulo 3

Figura 3.1. Subdivisão do Cráton Amazônico em províncias geológicas, desenvolvido por Tassinari & Macambira (1999). O retângulo em vermelho representa as três principais províncias descritas neste trabalho..... 14

Capítulo 4

Figura 4.1 Distribuição regional do Complexo de granulitos Lomas Maneches. Baseado em Litherland *et al.* (1996)..... 23

Figura 4.2 Principal divisão e nomes locais do Complexo de gnaisses de La Chiquitania, fonte Litherland *et al.* (1986)..... 25

Figura 4.3 Distribuição regional e nomes do cinturão de xistos do Supergrupo San Ignacio, fonte Litherland *et al.* (1986)..... 26

Figura 4.4 Distribuição e nomes do Complexo de Granitóides El Pensamiento, segundo Litherland *et al.* (1986)..... 29

Figura 4. 5 Distribuição regional dos granitóides formados durante a Orogenia Sunsás na Bolívia, segundo Litherland *et al.* (1986)..... 32

Capítulo 5

Figura 5.1. Diagrama proposto por Shand (1927, 1943) que mostra a saturação de alumina das unidades do embasamento..... 56

Figura 5.2. Classificação das rochas do embasamento, mediante a

composição normativa An-Ab-Or, proposto por O' Connor (1995).....	57
Figura 5.3 Diagrama de discriminação tectônica em base ao conteúdo de Nb (ppm) e Y (ppm), proposto por Pearce <i>et al.</i> (1984). Este diagrama mostra os campos de granitos de arco vulcânico (VAG), granitos sin - colisionais, granitos intraplaca (WPG) e granitos de Cordilheiras oceânicas (ORG).....	59
Figura 5.4 Diagrama tectônico em função do (Rb-Y+Nb), mostrando um ambiente sin - colisional (syn-COLG), granitos de intraplaca (WPG), granitos de arco vulcânico (VAG) e granitos de Cordilheira oceânica (ORG), desenvolvidas por Perece <i>et al.</i> (1984).....	60
Figura 5.5 Visualização do diagrama multicatiônico de Batchelor & Bowden (1985) mostrando a disposição das rochas do embasamento e da Orogenia San Ignacio.....	61
Figura 5.6. Padrão de terras raras da unidade Lomas Maneches do pré-Cambriano Boliviano, normalização pelo Condrito segundo Boynton (1984).....	63
Figura 5.7. Padrão de terras raras da unidade La Chiquitania do pré-Cambriano Boliviano, normalização pelo Condrito segundo Boynton (1984).....	64
Figura 5.8. Padrão de terras-raras da Orogenia San Ignacio do pré-Cambriano Boliviano, normalização pelo Condrito segundo Boynton (1984).....	65
Capítulo 6	
Figura 6.1. Diagrama ternário proposto por Streckeisen (1975) em função do Quartzo (Q), plagioclásio (P) e Álcali-feldspato (A).....	83
Figura 6.2. Diagrama que mostra a saturação de alumina dos granitos Sunsás, proposto por Shand (1927, 1943).....	84
Figura 6.3. Classificação dos granitos Sunsás, com base na composição normativa An-Ab-Or.....	85
Figura 6.4. Diagrama de discriminação com base no conteúdo de Nb (ppm) <i>versus</i> Y (ppm), proposto por Pearce <i>et al.</i> (1984). Esta figura mostra os ambientes dos granitos, como os granitos de arco vulcânico	

(VAG), granitos sin-colisional (SCG), granito intraplaca (WPG) e granitos da Cordilheira oceânica (ORG)..... 86

Figura 6.5. Diagrama tectônico em função de Rb *versus* Y+ Nb, mostrando um ambiente sin - colisional (syn-COLG), granitos intra-placa (WPG), granitos arco vulcânico (VAG) e granitos de Cordilheiras oceânicas (ORG), desenvolvido por Pearece *et al.* (1984)..... 87

Figura 6.6. Diagrama multicatiônico, De la Roche *et al.* (1980) mostrando a disposição dos granitos Sunsás..... 88

Figura 6.7. Padrão de terras-raras da Orogenia Sunsás do pré-cambriano Boliviano, normalização pelo Condrito segundo Boynton (1984)..... 89

Capítulo 7

Figura 7.1 Diagrama de correlação geológica entre o território da Bolívia com o Brasil (orogêneses *versus* orogêneses), no SW do cráton Amazônico..... 100

Figura 7.2 Diagrama de correlação geológica entre o território da Bolívia com o Brasil (orogêneses *versus* anorogênesis), no SW do cráton Amazônico..... 102

LISTA DE TABELAS

Capítulo 4

Tabela 4.1 Resultados geocronológicos do pré-Cambriano da Bolívia reportados na literatura, em azul Litherland et al. (1986), vermelho Boger et al. (2005) e verde Derbyshire (2000).....	36
--	----

Capítulo 5

Tabela 5.1. Relação das amostras, unidades junto com os tipos de análises.....	38
---	----

Capítulo 6

Tabela 6.1. Relação das amostras, unidades e análises.....	69
Tabela 6.2. Tabela mostrando a composição mineralógica dos cinco corpos graníticos.....	81

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 5.1. Afloramento de coleta da amostra BO-03-003 onde se observa a foliação e a granulometria grosseira do enderbito.....	40
Fotografia 5.2 Visão geral do afloramento do gnaisse Lomas Maneches (amostra BO-03-008). Professores Manuel D´Agrella e Wilson Teixeira como escala.....	43
Fotografia 5.3. Detalhe do afloramento do gnaisse Lomas Maneches (amostra BO-03-009).....	44
Fotografia 5.4. Visão geral do afloramento do gnaisse La Chiquitania (amostra BO-03-04).....	46
Fotografia 5.5. Detalhe do afloramento da amostra BO-03-04, mostrando estruturas dúcteis.....	47
Fotografia 5.6. Fotografia do afloramento do Granito El Refugio (BO-03-12).....	50
Fotografia 5.7. Afloramento do Granito isotrópico El Refugio (BO-03-12)..	51
Fotografia 5.8. Visão geral do afloramento do Granito San Ramon (BO-03-14), a 1km da localidade do mesmo nome, pela rodovia para Santa Cruz. Servindo como escala o Dr. Orestes Santos.....	53
Fotografia 6.1. Visão panorâmica do afloramento do granito Talcoso.....	70
Fotografia 6.2. Exposição de onde se extraiu a amostra BO-04-21, do granodiorito Taperas ou San Francisco.....	72
Fotografia 6.3. Amostra de mão do granito Cachuela.	74
Fotografia 6.4. Amostra de mão do granodiorito Primavera.....	77
Fotografia 6.5. Afloramento onde se coletou a amostra BO-04-19 do Granito Naranjito.....	79

LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 5.1. Amostra BO-03-003 com domínio de minerais máficos, tais como: piroxênio, variedade hiperstênio, e augita e hornblenda como máficos junto com a presença de plagioclásios e quartzo em proporção menor, objetiva 2.5 X, nicóis (X).....	40
Fotomicrografia 5.2. Ortognaisse Lomas Maneches (amostra BO-03-007) com presença de glomeropórfiros de biotita e hornblenda rodeados por minerais félsicos, tais como quartzo, microclina nesta parte da lâmina, objetiva 2.5 X, nicóis (X).....	42
Fotomicrografia 5.3 Lâmina petrográfica da amostra BO-03-009, com abundância de quartzo, plagioclásio, exoluções mirmequíticas e microclina, objetiva 2.5 x, nicóis (X).....	44
Fotomicrografia 5.4. Amostra BO-03-008, predominantemente félsica, com abundância de microclinas e em menor porcentagem quartzo junto com plagioclásios, objetiva (2.5x), nicóis (X).....	45
Fotomicrografia 5.5. Gnaisse La Chiquitania (amostra BO-03-004) em A) nícois cruzados mostra abundância de quartzo, plagioclásio e microclina, em B) nicóis paralelos tem-se granada rodeadas por biotitas, objetiva 2.5 x.....	47
Fotomicrografia 5.6. Amostra BO-03-015 da unidade Gnaisse La Chiquitania, onde se observa a natureza félsica, em A) nícois cruzados temos fenocristais de biotita e titanita, em B) nicóis paralelos se apresenta uma foliação dos minerais máficos, em particular observaram-se biotitas em forma alongada, objetiva 2.5X.....	48
Fotomicrografia 5.7. Granito San Andrés (amostra BO-03-010) com um forte alinhamento das biotitas em uma matriz quartzo-feldspática, objetiva 2.5 x, nicóis (x).....	49
Fotomicrografia 5.8. Amostra BO-03-012 do granito El Refugio de natureza feldspática cujos plagioclásios apresentam inclusões de agulhas de muscovita, acompanhadas de epidoto, objetiva 2.5 x, nicóis (x).....	52
Fotomicrografia 5.10 Amostra BO-03-014 do granito San Ramón	

mostrando o fenocristal de microclina com inclusões de quartzo, plagioclásio e epidoto. Nas bordas mirmequitas, quartzos e biotitas em menor tamanho, objetiva 2.5 x, nicóis (x).....	54
Fotomicrografia 6.1. Lâmina petrográfica do Granito Talcoso (amostra BO-04- 18), com fenocristais de microclina, acompanhada de mirmequita com inclusões de quartzo e agulhas de muscovita, objetiva 2.5x, nicóis (X).....	71
Fotomicrografia 6.2. Lâmina petrográfica do Granodiorito Taperas (amostra BO-04-21), mostrando as porcentagens abundantes de plagioclásio, seguida de quartzo e muscovitas corroídas em menor proporção, aumento 2.5X, nicóis (X).....	73
Fotomicrografia 6.3. Granito Cachuela (amostra BO-04-22), com quartzo e plagioclásios sericitizados, objetivo 2.5 X, nicóis (X).....	76
Fotomicrografia 6.4. Granodiorito Primavera, amostra BO-04-20 de granulometria média à fina, com quartzo, plagioclásios com muscovita tabular sobreposta sobre os minerais felsicos, confirmando a aparência secundária, objetiva 2.5 x, nicóis (X).....	78
Fotomicrografia 6.5. Fenocristais de biotita em corte basal, carente de clivagem, rodeada de minerais opacos e inclusões de muscovita em uma massa quartzo-feldspática, do Granito Naranjito (BO-04-19), objetivo 5X, nicóis (X).....	80

SUMÁRIO

Capítulo 1

Generalidades.....	2
1.1 Introdução.....	2
1.2 Objetivo.....	4
1.3 Localização geográfica.....	5
1.4 Vias de acesso.....	5

Capítulo 2

Metodologia de Trabalho.....	8
2.1 Introdução.....	8
2.2 Trabalho de campo.....	8
2.3 Preparação física das amostras.....	9
2.3.1 Petrografia.....	9
2.3.2 Geoquímica.....	9
2.4 Métodos de Análises geoquímicas.....	9

Capítulo 3

Geologia Regional.....	12
3.1 Introdução.....	12
3.2 Províncias Rio Negro – Juruena.....	13
3.2.1 Orogenia Alto Jauru.....	14
3.2.2 Orogenia Cachoeirinha.....	15
3.3 Província Rondônia - San Ignácio (1,5-1,29 Ga).....	16
3.3.1 Terreno Rio Alegre (1,5-1,49 Ga).....	16
3.3.2 Orogenia Santa Helena (1,47- 1,29 Ga).....	17
3.4 Província Sunsás (1.3 Ga-980 Ma).....	17

3.4.1 Cinturão Aguapeí no Brasil.....	17
3.4.2 Seqüência metavulcano-sedimentar Nova Brasilândia.....	18

Capítulo 4.

Geologia do SE do Cráton Amazônico na Bolívia.....	20
4.1 Introdução.....	20
4.2 Embasamento Metamórfico.....	21
4.2.1 Granulitos Lomas Maneches.....	22
4.2.2 Complexo de Gnaisses da Chiquitania.....	24
4.2.2.1 Gnaisses Tipo “A”.....	24
4.2.2.2. Gnaisses Tipo “B”.....	24
4.2.3 Supergrupo de xistos San Ignacio.....	25
4.3. Unidades máficas/ultramáficas.....	27
4.3.1 Formação metabásica Suponema.....	27
4.3.2 Complexo básico Chaquipoc.....	27
4.3.3 Corpo máfico-ultramáfico de Salvatierra.....	27
4.3.4 Corpo máfico-ultramáfico de El Bagre.....	27
4.4 Cinturão San Ignacio (1400- 1300 Ma).....	29
4.4.1 Rochas vulcânicas do evento San Ignacio.....	28
4.5 Cinturão Sunsás na Bolívia (1, 30 Ga-950 Ma).....	30
4.5.1 Granitóides Sunsas.....	31
4.6 Geocronologia Regional.....	32
4.6.1 Embasamento (> 1400 Ma).....	33
4.6.2 Orogenia San Ignacio (c. 1400-1300 Ma).....	34
4.6.3 Orogenia Sunsás (1,30 Ga-950 Ma).....	35

Capítulo 5

Resultados das rochas do embasamento e das rochas da Orogenia

San Ignacio.....	38
5.1 Introdução.....	38
5.2 Petrografia.....	39
5.2.1 Granulitos Lomas Maneches.....	39

5.2.2 Gnaisses Lomas Maneches (BO-03-007).....	41
5.2.3 Gnaisse Lomas Maneches (BO-03-008).....	42
5.2.4. Gnaisse Lomas Maneches (BO-03-009).....	42
5.3 Complexo Gnaisse da Chiquitanía.....	45
5.3.1 Amostra BO-03-004.....	45
5.3.2 Amostra BO-03-015.....	46
5.4 Granitóides San Ignacio.....	48
5.4.1 Granito San Andrés.....	49
5.4.2 Granito El Refugio.....	50
5.4.3 Granito San Ramón (BO-03-14).....	52
5.5 Geoquímica.....	55
5.5.1. Classificação em base na saturação de alumina.....	55
5.5.2 Classificação em função da Norma.....	56
5.5.3 Ambientes Tectônicos.....	57
5.6 Classificação tomando como base os Elementos Terras Raras.....	62
5.6.1 Terras raras para as rochas da unidade Lomas Maneches.....	62
5.6.2 Terras raras para as rochas da unidade La Chiquitania.....	63
5.6.3 Terras raras para as rochas da orogenia San Ignacio.....	64
5.7 Discussão dos resultados.....	65

Capítulo 6

6. Resultados das rochas formadas durante a Orogenia Sunsás.....	69
6.1 Introdução.....	69
6.2 Descrição petrográfica.....	69
6.2.1 Granito Talcoso.....	69
6.2.2 Granito Taperas ou San Francisco (BO-04-21).....	73
6.2.3 Granito Cachuela (BO-04-22).....	74
6.2.4 Granito Primavera (BO-04-20).....	76
6.2.5. Granito Naranjito (BO-04-19).....	78
6.3. Classificação tomando como base os minerais.....	83
6.4 Geoquímica dos granitóides Sunsás.....	84
6.4.1 Classificação geoquímica tomando como base a saturação de	84

alumina.....	
6.4.2 Classificação tomando como base a Norma.....	84
6.4.3 Ambientes Tectônicos.....	85
6.4.4 Classificação tomando como base os Elementos Terras-Raras.....	88
6.5 Discussão dos resultados.....	89

Capítulo 7

7. Conclusões.....	92
7.1 Embasamento metamórfico.....	92
7.2 Cinturão San Ignacio.....	93
7.3 Cinturão Sunsás.....	94
7.4 Proposta de evolução do pré-Cambriano na Bolívia.....	95
7.5 Correlações geológicas com o território brasileiro.....	99

Bibliografia	103
---------------------------	-----

Anexos	113
---------------------	-----

Capítulo 1

Capítulo 1

1. Generalidades

1.1 Introdução

A Bolívia se divide em Províncias Geológicas baseadas em estudos da fisiografia e da geologia, sendo as maiores províncias definidas pelo terreno pré-Cambriano (Cráton Amazônico), a planície Chaco-Beniana e a Cordilheira dos Andes (Zona subandina, Cordilheira Oriental, Altiplano e Cordilheira Ocidental) (Figura 1.1). Os três segmentos se originaram por meio dos movimentos tectônicos desde o Paleoproterozóico até o presente (Ahlfeld 1960).

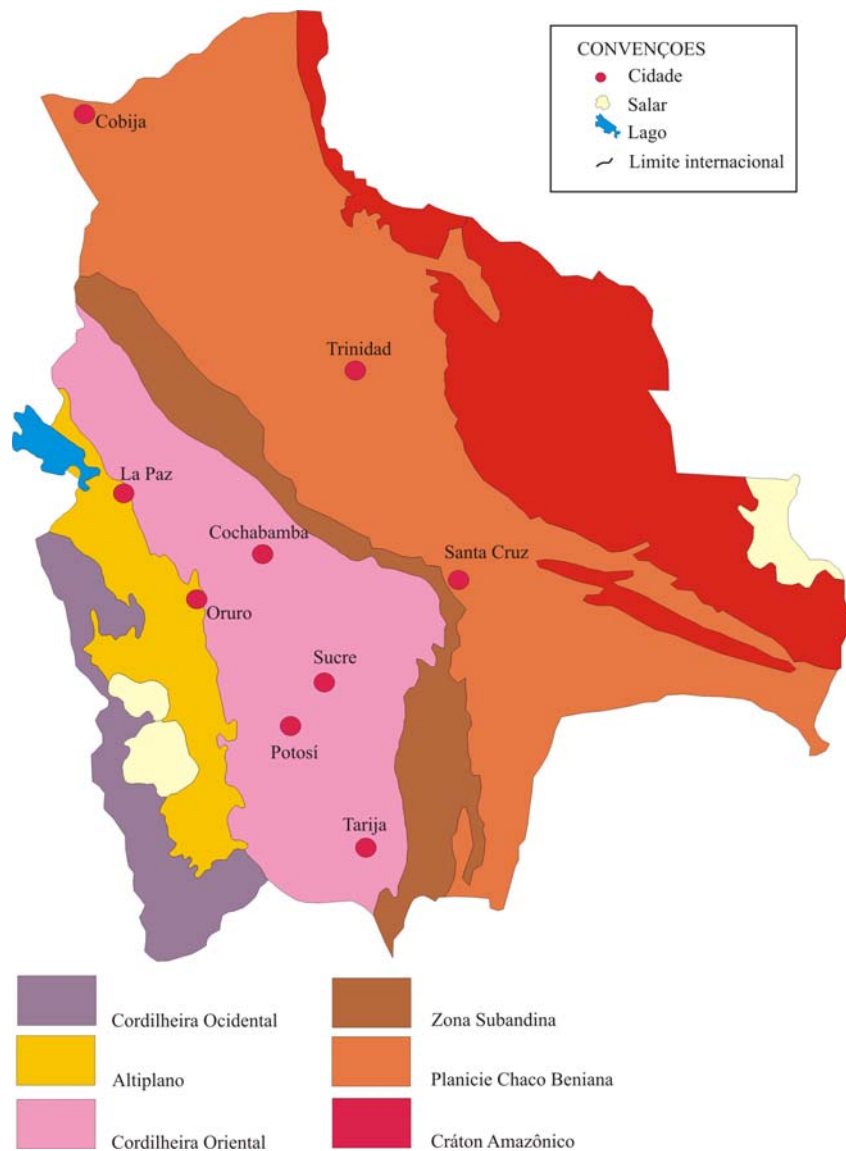


Figura 1. 1. Províncias Geológicas da Bolívia segundo Ahlfeld (1960).

A Cordilheira dos Andes tem variações litológicas e estratigráficas que permitem classificá-la em Províncias Geológicas, tais como: a Faixa Sub-Andina, a Cordilheira Central e a Oriental (chamada também Bloco Paleozóico), Altiplano e Cordilheira Ocidental. Em adição, a planície Chaco-Beniana representa uma bacia sedimentar de retro-arco atual e apresenta processo de sedimentação recente decorrente dos sedimentos originados pelo intemperismo na Cordilheira Andina.

O terreno pré-Cambriano na Bolívia é possivelmente uma extensão do Cráton Amazônico. Esta unidade tectônica está dividida em dois grandes escudos separados pela bacia de Solimões e a bacia Amazônica. Estes escudos levam o nome de Guaporé e Guiana e envolvem os seguintes países: Brasil, Venezuela, Guiana Francesa, Suriname, Colômbia e Bolívia.

Durante os anos setenta na Bolívia iniciaram-se estudos no pré-Cambriano Boliviano, através do Projeto de exploração mineral no Oriente Boliviano, denominado "Proyecto Precambrico". Este esforço caracterizou províncias geológicas com base em mapas geológicos e geocronologia Rb-Sr e K-Ar. Apesar deste trabalho volumoso, existem ainda muitas questões a respeito aos ambientes tectônicos onde foram geradas estas rochas, bem como a caracterização das orogenias desenvolvidas nesta região.

O Cráton Amazônico na Bolívia está representado por um embasamento metamórfico de granulitos (Lomas Maneches), gnaisses (La Chiquitania) e xistos concordando com Klink e Litherland (do Supergrupo San Ignacio). Em seguida ocorreram orogenias conhecidas como San Ignacio e Sunsás. Estas rochas são tidas como proterozóicas com base em dados geocronológicos que, para uma melhor compreensão são agrupadas em ciclos, tomando-se como base as três grandes orogenias que ocorreram neste setor: um ciclo orogênico, responsável pela formação do embasamento (Paleoproterozóico), ciclos orogênicos San Ignacio e Sunsás (Mesoproterozóico). Por fim o Ciclo Orogrênico Brasileiro (Neoproterozóico) originou o Cinturão Tucavaca que define o limite da área cratônica.

A posição estratigráfica do embasamento ainda é motivo de controvérsias. Por exemplo, investigadores, tais como Klink & Litherland

(1982), trataram de classificar e interpretar as rochas mediante o modelo da discordância que toma como embasamento Paleoproterozóico somente os granulitos Lomas Maneches (Berrangé *et al.* 1982).

Outro modelo, também proposto por Klink & Litherland (1982); denominado modelo das isógradas, sugere que as rochas granulíticas, xistos e gnaisses pertencem ao embasamento e as mesmas têm sido retrabalhadas na orogenia San Ignacio. Neste modelo, os xistos têm seu equivalente metamórfico de alto grau no grupo de granulitos.

No Brasil, Tassinari *et al.* 2000 classificaram o Cráton Amazônico em províncias, baseados em padrões geocronológicos e por idades obtidas mediante diferentes métodos isotópicos. Esta divisão está fundamentada na idade do embasamento metamórfico e pelas características geológicas. As províncias reconhecidas são: Central Amazônica, Maroni-Itacaiúnas, Venturi-Tapajós e no extremo oeste da zona encontram-se as províncias Rio Negro–Juruena, Rondônia-San Ignacio e Sunsás.

O Cráton Amazônico encontra-se rodeado por cinturões orogênicos Neoproterozóicos (Tucavaca em Bolívia, Araguaia, no centro do Brasil, e Tocantins, no extremo norte do Brasil). Na Bolívia, são propostas extensões do setor SW do Cráton Amazônico que é o tema desta dissertação. Neste sentido, neste trabalho tenta-se uma possível correlação com as unidades do Cráton Amazônico da Bolívia formadas durante o Paleo e o Mesoproterozóico com as rochas geradas em território Brasileiro.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem por objetivo a caracterização petrográfica e geoquímica das unidades Paleo e Mesoproterozóicas da extensão SW do Cráton Amazônico em território boliviano. As unidades estudadas compreendem o embasamento, representado pelos granulitos Lomas Maneches, gnaisses La Chiquitania, xistos e granitos San Ignacio. A unidade Sunsás foi estudada através dos corpos graníticos denominados Talcoso, Cachuela, Taperas, Naranjito e Primavera.

A partir desses estudos petrográficos e geoquímicos pretende-se contribuir para a compreensão da evolução destes corpos graníticos do pré-Cambriano boliviano e propor as possíveis correlações com o SW do Cráton Amazônico em território brasileiro.

1.3 Localização geográfica

O Cráton Amazônico na Bolívia encontra-se no extremo leste do país e envolve os estados de Santa Cruz de La Sierra e Beni. Limita-se geograficamente a oeste com a planície Chaco-Beniana e cobre uma extensão areal de 220.000 km² sendo a maior parte do terreno sem acesso e com exuberante vegetação.

A área de trabalho encontra-se entre as cidades de San Javier e Concepción, cobrindo uma área de 20 x 525 km incluída na folha topográfica Concepción SE 20-3 (1:250.000) segundo o Instituto Geográfico Militar da Bolívia (IGM). Neste trabalho, em particular, se tomou como referência à base topográfica cartografada pelo IGM e o mapa geológico da região de San Ramón (denominado de Mapa do Distrito de San Ramón), escala 1:100 000 publicados em 1995 pelo Serviço Geológico da Bolívia.

1.4 Vias de acesso

Existem duas vias para se chegar à cidade de Santa Cruz de La Sierra: a primeira, pelo leste, compreende uma estrada férrea que une o estado de Santa Cruz (Bolívia) com Corumbá (Brasil), usada freqüentemente para atividades comerciais entre os dois países. A segunda opção para Santa Cruz encontra-se pelo extremo oeste, sendo a rodovia que une o estado de Cochabamba e as demais cidades do altiplano boliviano.

Para se chegar à área de Concepción, a melhor opção é a rodovia que une as cidades de San Ramón, San Javier, San Ignacio e San Matias. Esta rodovia encontra-se asfaltada até a cidade de San Javier. O trecho restante encontra-se em boas condições durante o período de secas, porém, especialmente nas épocas de chuva, tornam-se difíceis os transportes na região (Figura 1. 2).

Pela densidade de fazendas em redor da área de San Ramón- San Javier- Concepción, a rede de estradas utilizadas nos trabalhos de campo, é suficiente para realizar trabalhos de exploração que envolvam maior detalhe.

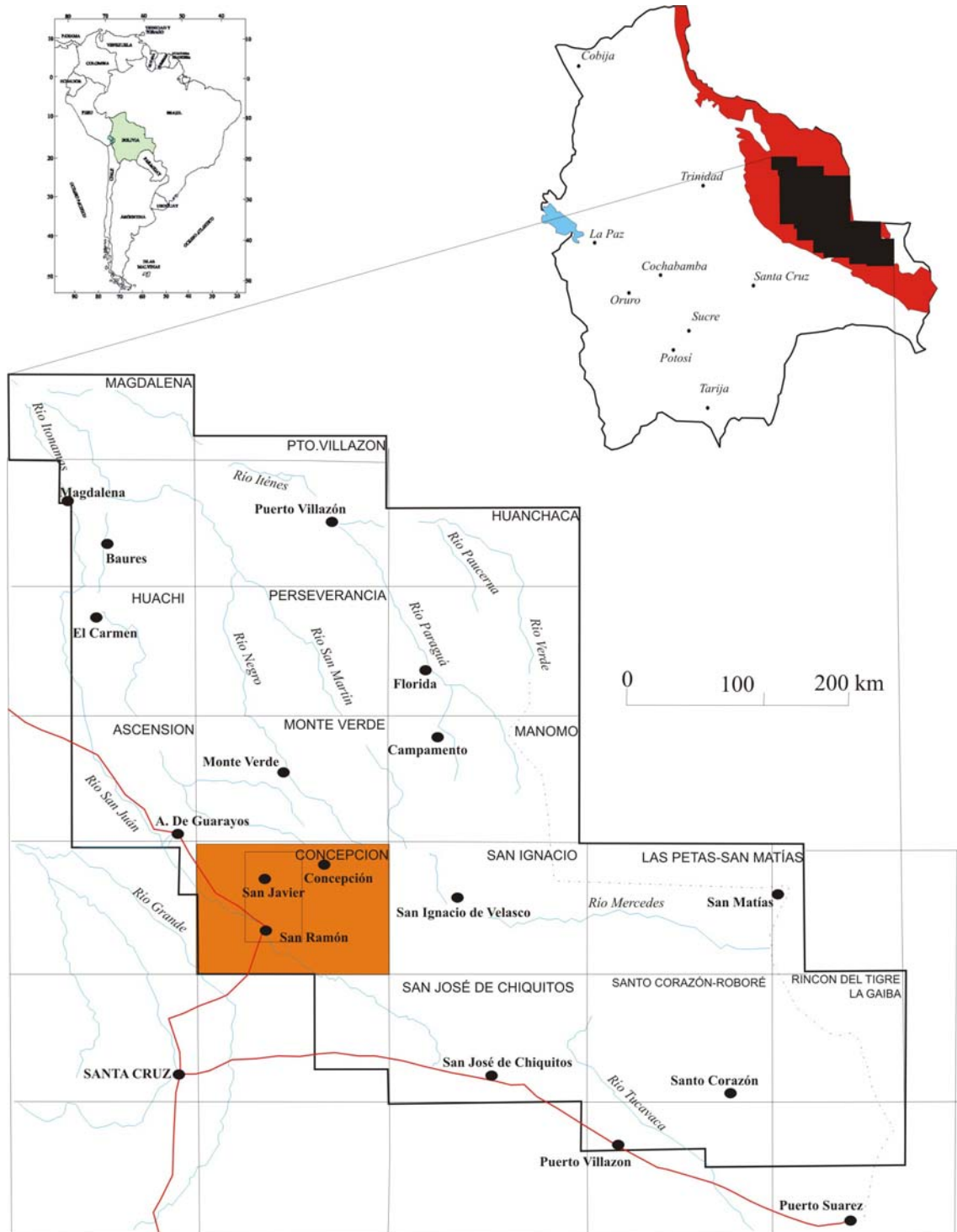


Figura 1. 2. Localização da área de estudo e cartografia topográfica segundo o Instituto Geográfico Militar (IGM), Bolívia. Em laranja, a Folha de Concepción (1:250.000). Em retângulo, a área estudada.

Capítulo 2

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Introdução

O presente capítulo tem por finalidade descrever os procedimentos para a elaboração deste trabalho desde o estágio de campo até o estágio final. Inicia-se com uma compilação bibliográfica dos trabalhos anteriores, trabalhos de campo, preparação das amostras no laboratório, análises petrográficas e litogeoquímicas.

2.2 Trabalho de campo

A primeira fase de campo foi realizada em um período de 10 dias, entre 02 e 12 de agosto do 2004, com o principal objetivo de recolher amostras de cada corpo granítico mapeado como de idade greenviliana (cerca de 1,0 Ga) e unidades do embasamento para petrografia e geoquímica. Neste campo estavam presentes a autora e o Prof. Ramiro Matos da Universidade Mayor de San Andrés (La Paz- Bolívia). Uma segunda fase de campo foi realizada entre os dias 08 e 17 dezembro de 2005 e envolveu perfis ao longo de estradas para coletas de amostras, para trabalhos futuros e identificação das principais unidades estratigráficas do pré-cambriano boliviano. Estavam neste campo a autora, o Prof. Ramiro Matos da Universidade Mayor de San Andrés, o Prof. Wilson Teixeira, da Universidade de São Paulo e Prof. Mauro César Geraldés da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

A coleta das amostras em 2004, foi realizada com base nas descrições das unidades segundo as referências bibliográficas que tratam da geologia da região. Estas informações permitiram, na segunda fase de campo, a identificação e o reconhecimento das unidades amostradas, características tais como estruturas e tipo de rocha. Nesta fase, foram utilizadas as cartografias geológicas produzidas através do Proyecto Precambrico (Litherland *et al.* 1986) e do Mapa Geológico do Distrito de San Ramon (Adamek *et al.* 1996).

2.3 Preparação física das amostras

2.3.1 Petrografia

As amostras, coletadas em agosto do 2004, foram preparadas e processadas no Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e nos laboratórios da Universidade do Estado de São Paulo (USP), sendo elaboradas 10 lâminas delgadas, dos granitóides Sunsás no primeiro laboratório e 18 lâminas no segundo do embasamento e da orogenia San Ignácio. A interpretação das lâminas delgadas também foi realizada em instalações da UERJ, onde foram descritas e fotografadas.

2.3.2 Geoquímica

Foram processadas 20 amostras para geoquímica do embasamento e dos granitoides San Ignácio e Sunsás. A primeira etapa consistiu em fragmentar as amostras manualmente com martelo, até alcançar-se uma granulometria de 4 mm. Posteriormente se procedeu à classificação manual, que consistiu em repartir as amostra em duas partes iguais. Uma parte foi reservada e a outra porção foi novamente dividida em quatro, extraindo-se 2/4 da parte do material (Figura 2.1).

Estas 2/4 partes do material foram pulverizados em moinho de bolas, obtendo-se entre 30 e 40 g de um pó fino. Este material fino foi analisado mediante o método de espectrometria de emissão atômica de plasma de acoplamento indutivo (ICP/MS) para elementos maiores, elementos traços e terras raras (WRA+trace elements 4 litho), nos laboratórios do Canadá.

2.4 Métodos de Análises Geoquímicas

As técnicas analíticas empregadas incluíram ICP-AES para os elementos maiores. No laboratório os elementos traços Rb, Sr, Ba e Zr foram analisados por fluorescência de raio X (em pastilhas fundidas); espectrometria de absorção atômica para Mn, Mg, Na, K, Cu, Mo, Sn e Pb; espectrometria óptica para Nb, Y, Ni e V; e espectrometria de emissão com plasma induzido (ICP) para terras raras.

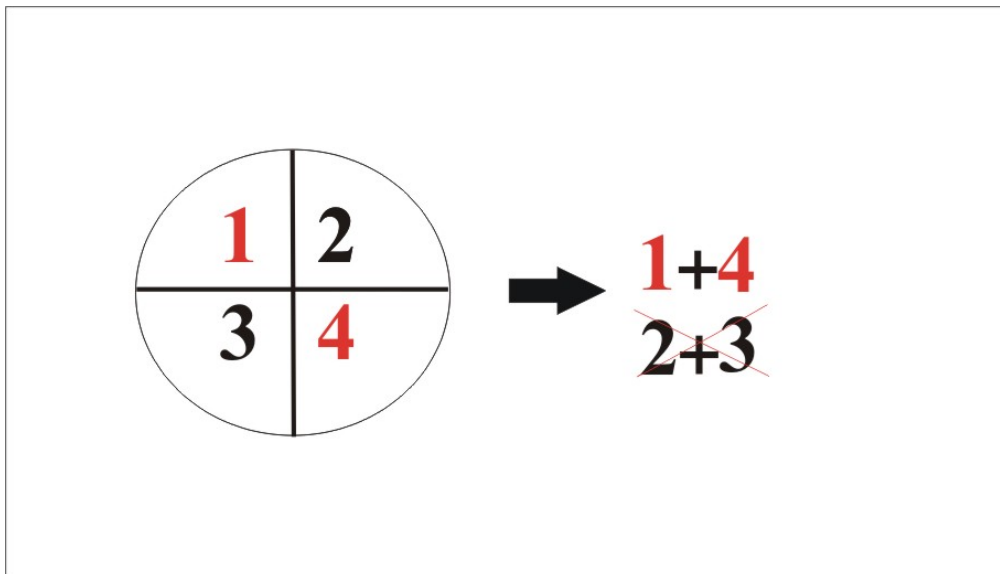


Figura 2.1. Quarteo das amostras no laboratório.

O espectrômetro de massa (ICP/MS). Este equipamento é muito utilizado em análises de elementos terras raras (ETR) e também para elementos traços como Hf, Ta, U e Th com limites de detecção excelentes. Uma das primeiras aplicações foi em amostras geológicas para elementos da família dos Lantânios e metais preciosos.

Uma das vantagens deste método com relação a outros métodos é a capacidade de medir abundâncias isotópicas elementares e razões isotópicas. No ICP/MS (inductively coupled plasma/ mass spectrometry) os ions são extraídos de um plasma através de um pequeno orifício a vácuo e colimados em direção a um espectrômetro de massa. O método produz análises com limites de detecção baixa e boa precisão (Valente, 2000).

Capítulo 3

3. Geologia Regional

3.1 Introdução

O Cráton Amazônico expõe-se em dois grandes escudos separados entre si pela bacia do Solimões e pela bacia do Amazonas. Estes escudos são chamados Guaporé (ao sul) e Guiana (ao norte) e envolvem os seguintes países: Brasil, Venezuela, Guiana Francesa, Suriname, Colômbia e Bolívia. O Cráton Amazônico encontra-se rodeado por cinturões orogênicos Neoproterozóicos, entre eles o Tucavaca, na Bolívia, o Araguaia, no Brasil central e o Tocantins ao norte do Brasil (Tassinari *et al.* 2000).

Com o objetivo de explicar a evolução do Cráton Amazônico, três teorias foram alcançando notoriedade desde a década de setenta e foram compiladas no trabalho de Tassinari *et al.* (2000). A primeira teoria propõe que o tectonismo pré-Cambriano é caracterizado pela reativação plataformal e orogêneses ensiálicas de acordo com Amaral (1974) e Almeida (1974). Hasui *et al.* (1984) e Costa & Hasui (1997) apresentam um modelo similar, considerando uma formação diácrona de blocos continentais durante o Arqueano e Paleoproterozóico, resultando na aglutinação de um megacontinente.

Orestes Santos (2003)

A segunda linha, proposta por Cordani *et al.*, (1979), Tassinari (1981), Cordani & Brito Neves (1982), Teixeira *et al.* (1989), é baseada em conceitos modernos de orogênese que incluem acreções crustais laterais contínuas durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico, com formação de magmatismo manto-derivado e deformação dos terrenos previamente formados.

A interpretação do contexto geológico-geotectônico do Cráton Amazônico, desde a década dos setenta, apresentou um constante progresso, posto que Cordani *et al.* (1979) e Cordani & Brito Neves (1982) propuseram a evolução do Cráton mediante Províncias geológicas e cinturões: Província Amazônia Central (formado pelo núcleo Arqueano), cinturão móvel Maroni-Itacaiunas, cinturão móvel Rio Negro-Juruena e cinturão móvel Rondoniano (Figura 3.1).

Tassinari (1981) propõe que o cinturão móvel Rio Negro-Juruena (1.7-1.4 Ga) apresenta rochas derivadas do manto. Na mesma década, Teixeira & Tassinari (1984), aprofundando a proposta efetuada por Cordani *et al.* (1979), adicionaram o Cinturão Sunsás como a acreção mais jovem do SW do Cráton Amazônico.

Bettencourt *et al.* (1996) e Sadowsky & Bettencourt (1996), mediante estudo sobre a evolução geológica, datações Ar-Ar e paleomagnetismo, sugerem uma correlação entre o Cinturão Grenvilliano de Norte América com o protocráton Amazônico durante o Mesoproterozóico (1.6 Ga).

Mais recentemente, Tassinari & Macambira (1999) classificaram o Cratón Amazônico em províncias, baseando-se em padrões geocronológicos, por meio de idades obtidas mediante diferentes métodos isotópicos. Esta divisão está baseada na idade do embasamento metamórfico e características geológicas. As províncias reconhecidas são: Central Amazônia (Arqueana), Maroni-Itacaiunas (2,25-1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (2,0-1,8 Ga) e no extremo oeste da zona se encontram as províncias: Rio Negro–Juruena (1,8-1,55 Ga), Rondônia-San Ignácio (1,55-1,30 Ga) e Sunsás (1,30- 1,0 Ga), que são descritas em seguida por serem de interesse no atual trabalho e por formarem parte da área de estudo (Figura 3.1).

3.2.1 Província Rio Negro-Juruena

Esta província se encontra a oeste da Província Ventuari-Tapajós, cobrindo as regiões da Venezuela, da Colômbia e do Brasil. O embasamento desta província se encontra representado por gnaisses de composição granodiorítica e tonalítica, com idades entre 1,8-1,55 Ga. Na parte sul, ocorrem rochas não deformadas vulcano-sedimentares do Grupo Caibis. Este Grupo Caibis está representado pelas formações Dardanelos e Arinos que se encontram relacionadas a um *rift* com direção NW-SE, como reflexo de uma orogenia em áreas vicinais (Tassinari *et al.* 2000). Em adição, ocorrem coberturas vulcânicas riolíticas de idades mesoproterozóicas interpretadas como decorrentes de processos intracratônicos. Em geral, as rochas desta

província se encontram metamorfizadas na facies anfíbolito, não obstante, alguns granulitos estarem presentes.

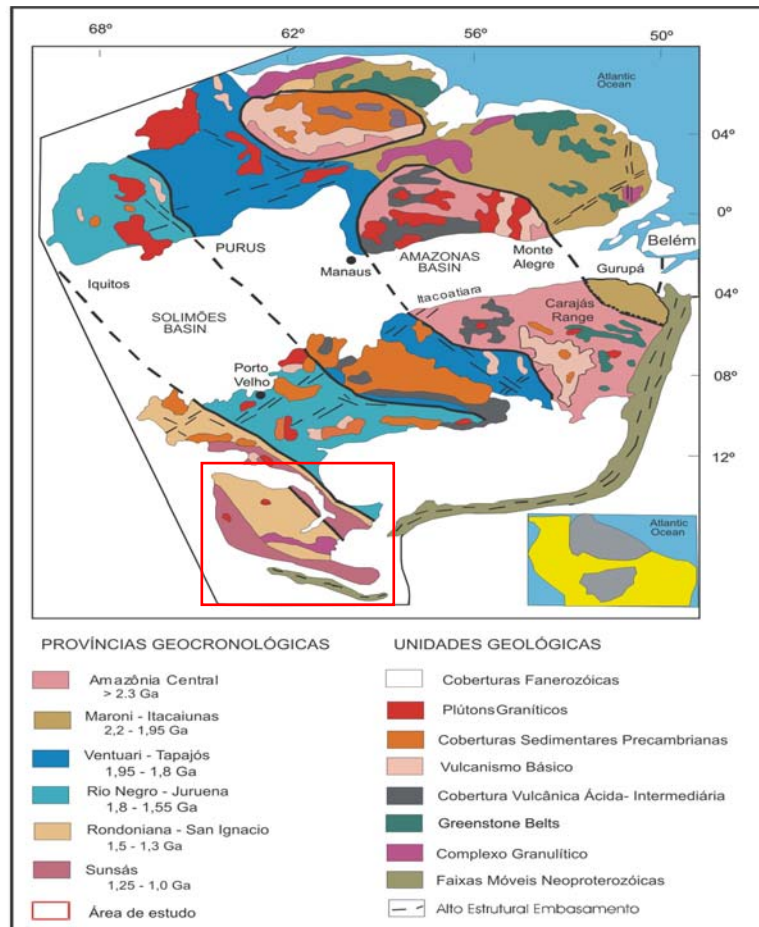


Figura 3.1. Subdivisão do Cráton Amazônico em províncias geológicas, desenvolvida por Tassinari & Macambira (1999). O retângulo em vermelho representa as três principais províncias descritas neste trabalho

Nesta província foram definidos (Geraldes *et al.* 1999) dois eventos geradores de rochas, tais como a Orogenia Alto Jauru (1,79-1,75 Ma) e a Orogenia Cachoerinha (1,58 e 1,52 Ga), descritas a seguir.

3.2.1 Orogenia Alto Jauru

As rochas da Orogenia Alto Jauru encontram-se na região leste do Mato Grosso e estão representadas por três cinturões metavulcânicos e rochas metassedimentares, separados por terrenos graníticos-gnáissicos de composição tonalítica a granítica denominados de Cabaçal, Aruputanga e Jauru.

Estes cinturões encontram-se intrudidos por doleritos Proterozóicos e granitóides que também se encontram cobertos por sedimentos clásticos Mesoproterozóicos do Grupo Aguapeí.

Van Schmus *et al.* (1998) reportam uma idade de U/Pb em rochas vulcanoclásticas de 1.767 ± 24 Ma, interpretada como idade de cristalização. A idade modelo Sm/Nd apresentou um valor de 1.87 Ga, revelando que o vulcanismo foi derivado do manto com uma pequena contaminação crustal. Outras amostras graníticas analisadas pelos autores acima citados indicaram idades entre 1,79 Ga e 1,47 Ga com valores de ϵ_{Nd} positivo, sugerindo derivação mantélica.

Os resultados de estudos sobre a química das rochas plutônicas da região de Jauru reportados por Pinho (1990) indicam uma afinidade tonalito-tronjhemito-granito (TTG), enquanto que os resultados reportados por Geraldês (2000) indicam uma tendência calcioalcalina. Em ambos os casos, estes autores concordam que estas rochas se originam em um ambiente relacionado a arco magmático.

3.2.2 Orogenia Cachoeirinha

A Orogenia Cachoeirinha (1,58-1,52 Ga), é representada pela geração por vários corpos graníticos, subordinadamente granodioríticos e tonalíticos, alongados, homogêneos, com granulometria grossa à média, localmente porfiríticos, rosados a cinza claro e foliados nas bordas (Geraldês *et al.* 1999).

As rochas da orogenia Cachoeirinha têm idades U/Pb em zircão entre 1.58-1.52 Ga (valores de ϵ_{Nd} entre -0,8 e +1,0). Variações químicas da Suíte Cachoeirinha sugerem a existência de processos de cristalização em um ambiente de arco magmático (Ruiz *et al.* 2004).

Segundo Ruiz *et al.* (2004), no período de tempo entre 1590-1520 Ma ocorreu um importante magmatismo no SW do Cráton Amazônico, as assinaturas isotópicas de Nd e dados químicos suportam hipóteses de que as rochas plutônicas foram geradas em um ambiente de arco magmático relacionado a uma subducção sob a margem continental representada pelas rochas do Alto Jauru.

3.3 Província Rondoniana- San Ignácio (1,5-1,29 Ga)

Esta Província se apresenta na margem sudoeste do Cráton Amazônico, conceito introduzido pela primeira vez por Cordani *et al.* (1979), os quais propõem a formação de um importante evento tectono-magmático ocorrido entre 1.45-1.25 Ga. Subseqüentemente, Teixeira & Tassinari (1984), baseando-se em dados Rb-Sr e K-Ar, descreveram-na como uma Província geocronológica, descrita como um cinturão móvel de 1.45-1.0 Ga que se estende da região de Ituxi-Abunã, na parte oeste do estado de Rondônia ao estado de Mato Grosso, no Brasil, e San Ignácio, na Bolívia (rochas da Orogenia San Ignácio).

O embasamento se encontra caracterizado por terrenos graníticos-grnáissicos migmatíticos e rochas granulíticas, metamorizadas na facies granulito, correlacionadas com os granulitos Lomas Maneches do território Boliviano (Litherland *et al.* 1986).

Dentro desta província foram diferenciados o Terreno Rio Alegre e as orogenias Santa Helena e Rondônia-San Ignácio, com base em dados geológicos e geocronológicos Tassinari *et al.* (2000), descritos a seguir.

3.3.1 Terreno Rio Alegre (1,50-1,49 Ga)

As atividades de formação das rochas do Terreno Rio Alegre ocorreram durante um período entre 1.509 e 1.494 Ga. São rochas vulcânicas e plutônicas máficas a ultramáficas associadas a unidades da formação de ferro bandado e *chert* segundo Tassinari *et al.* (2000).

As rochas magmáticas e vulcânicas metamorizadas observadas no Vale Rio Alegre foram subdivididas por Matos (1992) em: formações El Minouro (metabasitos), Santa Isabel (metariodacitas) e San Fabiano (metavulcânicas). Tassinari *et al.* (2000) sugerem uma origem magmática para a Formação Santa Isabel, por uma fusão do manto produto de uma colisão de placas oceânicas.

Matos (1992) e Matos & Schorscher (1997 a, b) e Matos *et al.* (2004) baseados em estudos geoquímicos de rochas metavulcânicas e metaintrusivos do Terreno Rio Alegre, sugerem uma associação sub-alcalina e um ambiente

de *back-arc*, Estes autores concluem que a geoquímica destes dados sugerem uma evolução e diferenciação de magmas toleíticos.

3.3.2 Orogenia Santa Helena (1,47- 1,29 Ga)

As rochas da orogenia Santa Helena têm idades de U/Pb em zircão entre 1.45-1.42 Ga e apresentam uma composição calco alcalina, geradas em um ambiente de arco magmático possivelmente desenvolvido na margem continental (Tassinari *et al.* 2000). As rochas compreendem vários corpos graníticos, subordinadamente granodioríticos homogêneos, com granulometria grossa à média, localmente porfíricos, rosados a cinzas claros e foliados nas bordas (Tassinari *et al.* 2000).

3.4 Província Sunsás (1,3 Ga-980 Ma)

É a unidade mais jovem do Cratón Amazônico e se encontra exposta no extremo sudoeste do Cráton. Está representada por rochas depositadas e subsequente deformadas (Saes *et al.* 1991; Geraldés *et al.* 1997).

O início da atividade tectônica Sunsás está associado com o ciclo Orogênico *Greenville* (1,30 a 1,0 Ga) na Laurentia e Báltica, marcado pela colisão do Laurentia-Amazonia no final do Mesoproterozoico (e.g. Hoffman 1991, Sadowski & Bettencurt, 1993). A Província Sunsás se divide em três segmentos lito-tectônicos (Tassinari *et al.* 2000):

Cinturão móvel Sunsás na Bolívia (Litherland & Bloomfield, 1981);

Cinturão Aguapeí no Brasil (Saes & Fragoso Cesar, 1986);

Seqüência metavulcano-sedimentar de Nova Brasilândia (Rizzoto, 1999).

3.4.1 Cinturão Aguapeí no Brasil

A análise estratigráfica, sedimentológica, estrutural e de paleocorrentes do Grupo Aguapeí permitiu determinar três episódios deposicionais: 1) *rift*, 2) estágio marino *dawn warp* e 3) estágio de inversão (Souza & Fragoso Cesar 1994; Saes, 1999).

Nestes três estágios a bacia Aguapeí divide-se transversalmente em três zonas, quais sejam: 1) margem Central, 2) margem oeste e 3) margem leste.

Na zona central os sedimentos são imaturos e são afetados por uma intensa deformação de transpressão dextral NNW e acompanhados de um metamorfismo na facies de xistos verdes (Theodorovicz & Câmara, 1991). Subseqüentemente nesta zona, os sedimentos imaturos vão aumentando de granulometria em direção às margens laterais e diminuindo a intensidade da deformação, segundo Souza & Fragoso Cesar (1994).

3.4.2. Seqüência metavulcano-sedimentar Nova Brasilândia

A denominação Nova Brasilândia (seqüência metavulcano-sedimentar) foi introduzida por Silva *et al.* (1992) a um grupo de rochas supracrustais no estado de Rondônia. Estas rochas consistem de xistos com mica e quartzo, paragneisses com biotita, rochas calco-silicatadas e anfibolitos. Baseado em mapeamentos geológicos recentes Rizzoto (1999) propõe o nome de Grupo Nova Brasilândia, composto por um conjunto de rochas máficas (metagabros, metadiabásios e anfibolitos) e seqüências metaplutônicas sedimentares (biotita gnaisses, mica xistos e rochas calco-silicáticas).

Segundo Rizzoto *et al.* (2002) a evolução tectônica da seqüência Nova Brasilândia incluiu dois ciclos de encurtamento e extensão crustal, no período 1120-980 Ma, como contribuição de magmatismo intraplaca. Tais eventos, de natureza metamórfico-deformacional, tiveram grande abrangência geográfica no estado de Rondônia.

O primeiro ciclo segundo estes autores e uma extensão continental com plutonismo intraplaca, com sedimentação turbidítica seguido por transpressão e espessamento crustal (1122-1110).

O segundo ciclo foi descrito por Rizzoto *et al.* (2002), como um ciclo de extensão e colapso pos-orogênico (1005-980 Ma) geradoras de bacias em fase de estabilização cratônica. O magmatismo intraplaca (bimodal) teve caráter recorrente e foi acompanhado por tectonismo. Seguiu-se a instalação das zonas de transcorrência coincidentes com o eixo do paleo-rift do Grupo Nova Brasilândia

Capítulo 4

4. Geologia do SE do Cráton Amazônico na Bolívia.

4.1 Introdução

A exploração de minérios na Bolívia data do século XIV quando os espanhóis começaram a produzir prata e ouro das minas de Potosi em 1530. Estes trabalhos se limitaram à Cordilheira dos Andes e somente no século passado investigadores de renome tais como Alcide d'Orbigny, Gustavo Steinmann, Federico Ahlfeld entre outros, estudaram a geologia do pré-Cambriano da Bolívia. Foi Peisser em 1944 o primeiro a publicar estudos sobre pegmatitos em Santa Cruz através da investigação sobre ocorrências de ouro na província Ñuflo de Chavez.

Em 1954 F. Ahlfeld investigou a área de Concepción por meio de estudos sobre as minas de pegmatitos "Yacimientos minerales de Bolívia". Nos anos 60, Hass trabalhou na Fazenda Tajibos na escala 1:80.000, investigação esta dirigida em rochas na busca de petróleo e gás.

Fletcher e colaboradores em 1979 concentram-se em descrever a geologia da região de Concepción, definindo esta área como uma seqüência complexa de metassedimentos, gnaisses e rochas granitóides, classificando-as dentro dos grupos Naranjal e La Bella. Também descreveram o período de maior tectonismo, acompanhado por um metamorfismo da facies granulito, assim como também descreveram as intrusões dos granitóides sin-cinemáticos. Por último, também realizaram uma das primeiras datações, por meio do método Rb/Sr, resultando em uma idade de 1.317 ± 36 Ma.

Berrangué & Litherland (1982), com o objetivo de localizar e identificar diferentes tipos de minerais e rochas potencialmente econômicas na década de oitenta, iniciaram investigações no pré-Cambriano boliviano. Este trabalho é reconhecido como um dos primeiros trabalhos sistemáticos realizados na área. Quatro anos depois Litherland *et al.* (1986), por meio da ação conjunta do Serviço Geológico da Inglaterra com participação da Bolívia (GEOBOL), acrescentaram e deram continuidade ao trabalho, tendo como resultado o mapeamento geológico do pré-Cambriano boliviano, caracterizando a formação das rochas desta região em dois eventos principais datados a 1300 Ma (Orogenia San Ignacio) e outra a 1000 Ma (Orogenia Sunsás).

Na década de noventa, Witschard & Nilsson (1992) aplicaram métodos geofísicos aerotransportados junto com sensores remotos à área de San Ramón, detalhando a cartografia geológica elaborada, na década anterior, por Litherland *et al.* (1986). Os autores utilizaram três cenas Landsat TM e uma cena Spot corrigida radiometricamente e topograficamente, com o objetivo de obter melhor resolução sobre as formas geológicas, e ressaltar ao máximo as estruturas geológicas e padrões que seriam de interesse para a prospecção mineira.

Adamek *et al.* (1996) fizeram uma descrição detalhada da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo Naranjal (Distrito de San Ramon), definindo-a como um cinturão de rochas verdes (*greenstone belt* Ñuflo Chaves, segundo Landivar, 2001) de idade San Ignacio objetivando sua significância genética para jazidas de ouro.

Suarez Soruco e colaboradores (2000) após vinte anos atualizaram o mapa geológico da Bolívia a escala 1: 1.000.000, constituindo uma versão nova daquele publicado na década dos sessenta. Os autores descreveram de maneira resumida a geologia da Bolívia, dividindo-a em capítulos, com base nas descrições geocronológicas desde o Proterozóico até o presente.

4.2 Embasamento Metamórfico

As rochas do Cráton Amazônico que ocorrem em território boliviano foram consideradas de idade Proterozóica Inferior (2500- 1600 Ma), Médio (1600-900 Ma) e Superior (900-570 Ma) (Berrangué & Litherland, 1982). O Paleoproterozóico se encontra caracterizado pelo complexo de granulitos Lomas Maneches, o complexo gnáissico Chiquitano e o Supergrupo de xistos San Ignacio. O Mesoproterozóico, por rochas formadas e retrabalhadas durante as Orogenias San Ignacio e Sunsás, que segundo Berrangué & Litherland (1982), foram os eventos que resultaram na cratonização da área e o Neoproterozóico está caracterizado pelos depósitos de transgressão do ciclo Orogênico Brasileiro do Cinturão Tucavaca.

4.2.1 Granulitos Lomas Maneches

As rochas representantes deste grupo são reconhecidas como as mais antigas, Berrangué & Litherland (1982). Estes investigadores afirmaram que os granulitos teriam sido formados em épocas Arqueanas, com exceção de um setor isolado na folha Manomó (Figura 4.1). Este grupo se encontra como megaxenólitos no extremo norte desta área, dentro do Complexo de granitos Pensamiento. Não obstante, na região de San Ignacio, os granulitos encontram-se sobrepostos ao Supergrupo de Xistos San Ignacio (Berrangué & Litherland 1982). Segundo estes investigadores os granulitos ocorrem de maneira transicional com o Complexo Gnáissico Chiquitano em outras regiões. Caracterizam-se por apresentar o “setor tipo” na faixa de granulitos na localidade de Carmen de Ruiz e no Complexo Metamórfico Concepción na cidade homônima (Figura 4.1).

Em geral o grupo de granulitos é compostas de gnaisses quartzo-feldspático, com bandas concordantes de até 1 m de espessura de granulitos com hiperstênio e cordierita, granulitos calcissilicáticos e granulitos feldspáticos (leptitos), com textura granoblástica (Berrangué & Litherland 1982).

Os granulitos Lomas Maneches são charnokitos com predominância de feldspato potássico e se caracterizam por terem uma baixa porcentagem de minerais máficos. Outros granulitos com hiperstênio derivam de intrusões noríticas e os granulitos calcissilicáticos com cordierita são atribuídos a uma origem sedimentar (Berrangué & Litherland 1982).

Litherland *et al.* (1986) definem o Lomas Maneches como granulitos com cordierita, granulitos calcissilicáticos e granulitos quartzo feldspáticos pobremente bandados, foliados e com textura granoblástica. Estes investigadores afirmaram que em alguns setores o Lomas Maneches não apresenta contato com o Complexo Gnáissico Chiquitano, mas ambas unidades se apresentam de forma equivalente. Os granulitos com hiperstênio, são considerados produtos de ambientes com baixa pressão de água, sendo que os autores acima citados identificaram 3 variedades: charnokitos, enderbitos e granulitos hiperstenicos de granulometria grossa.

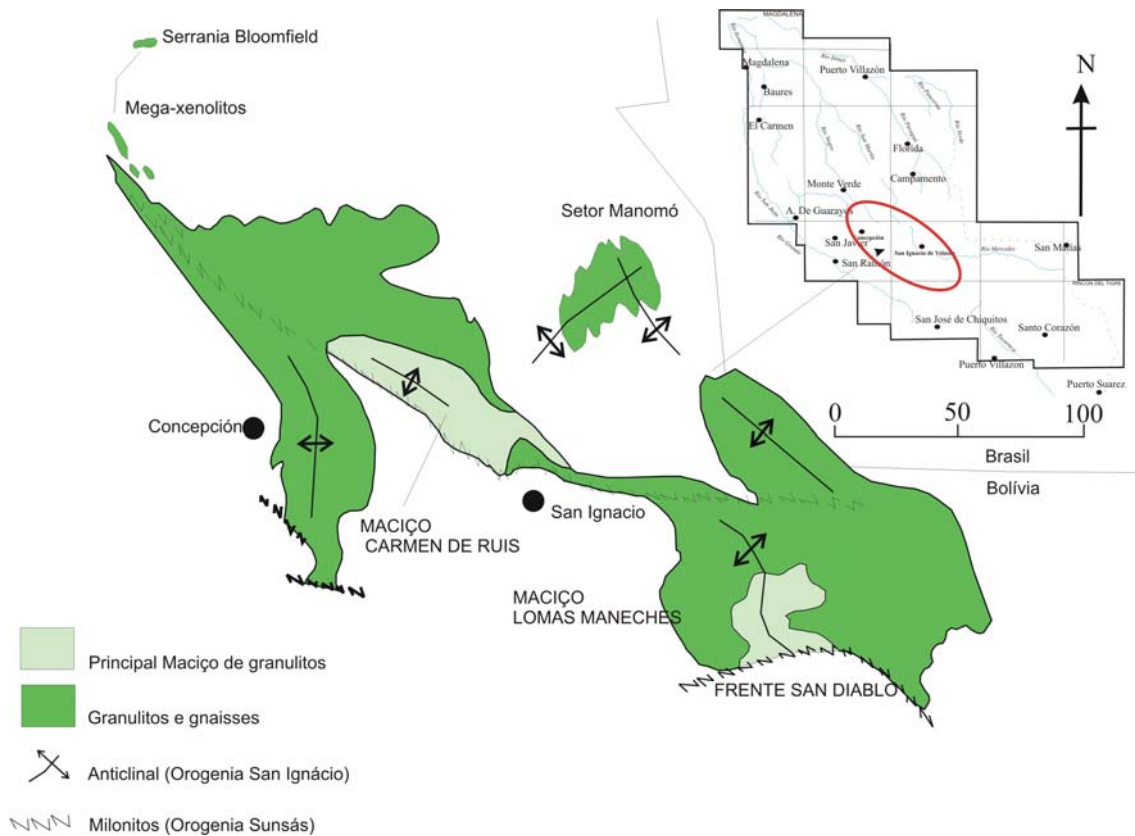


Figura 4.1. Distribuição regional de granulitos do Complexo Lomas Manechas. Baseado em Litherland *et al.* (1986).

Os granulitos calcissilicáticos, segundo Litherland *et al.* (1986), apresentam bandas concordantes entre 10 e 50 m de espessura, distinguindo-se no campo por meio da porcentagem de diopsídio e quartzo, com ou sem laboritorita e geralmente apresentando granulometria grossa. Segundo ainda Litherland *et al.* (1986), os granulitos feldspáticos e leptitos se expõem com pouco e/ou sem máficos, equivalentes aos granitóides aplíticos e se subdividem em duas classes: leptenitos com feldspatos potássicos e leptitos com plagioclásio.

4.2.2 Complexo de Gnaisses La Chiquitania.

O complexo de gnaisses de La Chiquitania, que aflora na zona sul da região do pré-Cambriano boliviano, caracteriza-se como paragneisses bandados com micas, quartzo, feldspatos com texturas migmatíticas, que se apresentam em contato transicional com os granulitos Lomas Maneches. Estes gnaisses de La Chiquitania se apresentam em dois tipos: os gnaisses tipo “A” que estão relacionados a rochas mais antigas (os granulitos) e os gnaisses tipo “B”, que estão relacionados aos xistos. Estes tipos litológicos são apresentados a seguir juntamente com uma descrição dos gnaisses da unidade La Chiquitania, caracterizados na região de Concepción aqui denominados como Gnaisses Concepción.

4.2.2.1 Gnaisses tipo “A”

Os gnaisses tipo “A” são de maior grau metamórfico que os gnaisses B e dominam na parte central do pré-Cambriano da Bolívia. Encontram-se caracterizados por estruturas migmatíticas que podem indicar processos de fusão parcial.

Muscovita primária tem sido reportada nestes gnaisses. Localmente encontram-se associados a bandas delgadas de xistos à muscovita, possivelmente do supergrupo de xistos San Ignacio. As ocorrências de biotita-gnaiss também são esporádicas, com exceção da região El Zaa (Figura 4.2). Em outras localidades estão relacionados com a migmatização de anfibolitos ou bandas calco-silicáticas. Também se apresentam horizontes esporádicos de quartzitos, bandas de metapsamitos e gnaisses quarzo-feldspáticos (Litherland *et al.* 1986).

4.2.2.2 Gnaisses tipo “B”

Os gnaisses tipo “B” são rochas adjacentes ao cinturão de xistos San Ignacio. A distinção com os gnaisses tipo “A” foi feita por conter em diferentes proporções bandas de quartzitos, calcissilicáticas e anfibolitos (Figura 4.2). O melhor exemplo é a Formação Porvenir, onde as metapsamitas do cinturão de

xistos Ñuflo de Chavez passa de biotita-feldspato-gnaisses a granito gnaisses com bandas ricas em biotita (Litherland *et al.* 1986).

Litherland e colaboradores (1986) afirmaram que a migmatização reflete o metamorfismo de alto grau sobre uma condição hídrica relativa, promovendo uma fusão parcial localizada. Segundo Litherland *et al.* (1986) a mineralogia dos gnaisses consiste de feldspatos alcalinos, plagioclásios (oligoclásio-andesina), com mirmequita, quartzo e biotita, junto com minerais acessórios, tais como o zircão, minerais opacos e titanita, raramente apatita e alanita.

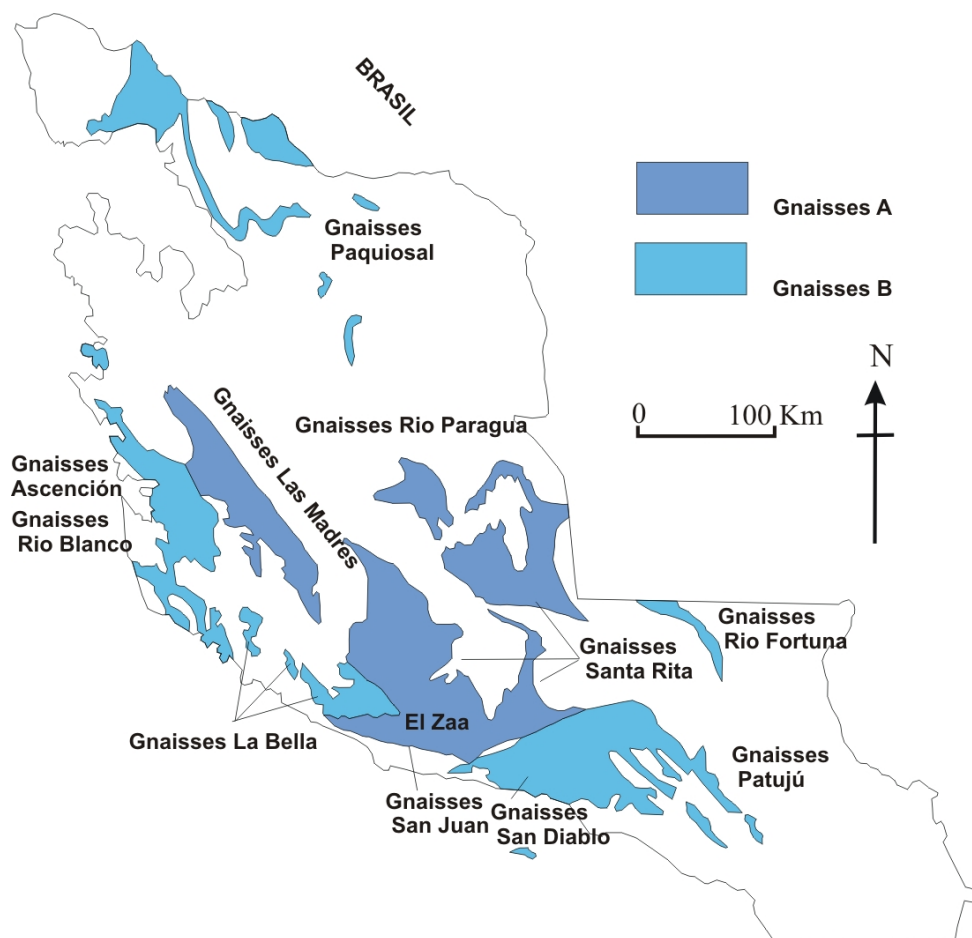


Figura 4.2. Principal divisão e nomes locais do Complexo de gnaisses La Chiquitania.
Fonte Litherland *et al.*, (1986).

4.2.3 Supergrupo de xistos San Ignacio

O Supergrupo San Ignacio encontra-se afetado por um metamorfismo de menor grau. Caracteriza-se por apresentar seqüências metassedimentares de

grau metamórfico médio a baixo, compreendendo: quartzitos, metapsamitos feldspáticos, xistos de duas micas e filitos de origem vulcânica. Estas rochas encontram-se rodeadas por gnaisses e granitóides que afloram na forma de terreno granito-*greenstone* e são favoráveis a mineralizações (Suarez-Soruco 2000).

A complexidade desta faixa deve-se a superimposição das estruturas do evento orogênico Sunsás sobre as do evento San Ignacio, fator que localmente favoreceu a formação de corpos mineralizados a ouro, como a mina de Puquio Norte (Adamek *et al.* 1996).

No sul da área este cinturão de xistos mostra um contato transicional com o complexo de gnaisses do Chiquiania e no extremo norte este cinturão se apresenta como megaxenólitos no Complexo de Granitos Pensamiento (Figura 4.3).



Figura 4.3. Distribuição e nomes do cinturão de xistos do Supergrupo San Ignacio.

Fonte Litherland *et al.* (1986).

O Grupo La Bella tem na base a Formação de psamitos Porvenir que apresentam uma característica de gradacionar metamorficamente para o Complexo de gnaisses La Chiquitania. Consecutivamente se depositaram sobre a Formação de xistos Quiser, seguidos pela Formação de pelitos Dolorida.

4.3 Unidades máficas/ultramáficas

Estas unidades metaígneas, máficas e ultramáficas, têm-sido interpretadas como constituintes da faixa de xistos San Ignacio, por estarem expostas em toda sua área de ocorrência, formando um horizonte de correlação (Berrangué & Litherland, 1982).

4.3.1 Formação metabásica Suponema

Esta formação está representada por serpentinitos, meta-melanogabros, xistos magnesianos, metagabros, melatroctolitos e leucotroctolitos, interpretados como originados no manto e posteriormente metamorfisados.

4.3.2 Complexo básico Chaquipoc

Encontra-se dentro da Formação de xistos Cristal e está composto por olivina gabro, piroxênio melanodiorito, além de metadiorito com quartzo e mica, interpretados segundo Berrangué & Litherland (1982), como remanentes de um sill.

4.3.3 Corpo máfico-ultramáfico de Salvatierra

Encontra-se dentro dos xistos da Formação La Honda do Grupo Naranjal, e foi caracterizado com uma génesis parecida ao Complexo Chaquipoc e encontra-se descrito como xisto ultramáfico com talco e metagabro.

4.3.4 Corpo máfico-ultramáfico de El Bagre

Encontra-se envolvido nos xistos Quiser do Grupo La Bella segundo Berrangué & Litherland (1982) os quais foram descritos como actinolita anfíbolito, hornblenda anfíbolito e metagabros com piroxênio.

4.4 Cinturão San Ignacio (1400- 1300 Ma)

Berrangué & Litherland (1982) propõem, para o início da Orogenia San Ignacio, uma bacia de deposição onde se formaram os protólitos dos xistos San Ignacio, estendendo-se para o norte, incluindo unidades supracrustais que sobrepõem em Rondônia. Em adição, eles classificaram os granitóides formados na Orogenia San Ignacio em dois eventos: sin-cinemáticos (sem a deformação principal de evento San Ignacio) e post-cinemáticos, por serem posteriores a deformação principal. No primeiro grupo de rochas os autores citados descreveram o Complexo granítico Pensamiento. Como exemplo de unidades dentro deste Complexo Pensamiento, estes investigadores nomearam os granitos San Rafael datados por Boger *et al.* (2005) em zircão obtendo uma idade de 1334 ± 12 Ma, La Junta, Puerto Alegre, Guarayos e Flórida. No segundo grupo, os granitos post-cinemáticos estão incluídos os granitos Piso Firme, San Javier, San Cristobal, Padre Eterno, Três Picos, Orobaya, Diamantina e Porvenir, entre outros. Os granitos do segundo grupo apresentam idades Rb-Sr e K-Ar ao redor de 1391-1283 Ma (Tabela 4.1).

Como produto da mesma orogenia se formou o Complexo alcalino El Tigre de 1286 ± 46 Ma (método Rb/Sr), no setor sul do pré-Cambriano boliviano. Estas rochas se caracterizam por ser de composição nordmarkítica de grão grosso e elevado conteúdo de K_2O .

Por outro lado, Litherland *et al.* (1986) descreveram o Complexo granítico Pensamiento formados por: granitos, granodioritos, tonalitos, trondhjemitos e dioritos subordinados, contemporâneos à fase de deformação principal da orogenia San Ignacio (1350 Ma). Como exemplo citaram os monzonitos foliados Puerto Alegre, La Junta e os sieno-monzonitos San Martin e Campamento (Figura 4.4).

4.4.1 Rochas vulcânicas do evento San Ignacio

Adamek *et al.* (1996) descreveram as rochas vulcano-sedimentares no distrito de San Ramón, através de imagens de satélite e mapas geofísicos. As rochas vulcânicas têm sido classificadas como básicas, intermediárias e

ácidas. São descritas como bem preservadas e formadas em bacias tipo *rift* e apresenta metamorfismo que varia desde a facies xisto-verde até a facies anfibolito. Estas rochas vulcânicas básicas apresentam anfibólio, epidoto e plagioclásio, não obstante, conservam bandamentos de fluxo e a composição química permanece relativamente estável durante o metamorfismo. Foram descritas também como rochas homogêneas subalcalinas, toleíticas e formadas em um ambiente tectônico de transição (entre oceano e continente).

As rochas intermediárias têm uma variedade entre traquiandesitos, andesitos e andesitos basálticos (toleítos). Por sua vez, as rochas vulcânicas ácidas foram descritas como riolitos subalcalinos a calcioalcalino.

Os sedimentos são essencialmente detríticos, de granulometria grossa (conglomerados, arcósios e quartzitos), piritíferos de granulometria fina, transformados em xistos e ardósias. Alguns níveis de quartzitos apresentam formação ferrífera bandada (BIF) ao NE de San Ramón.

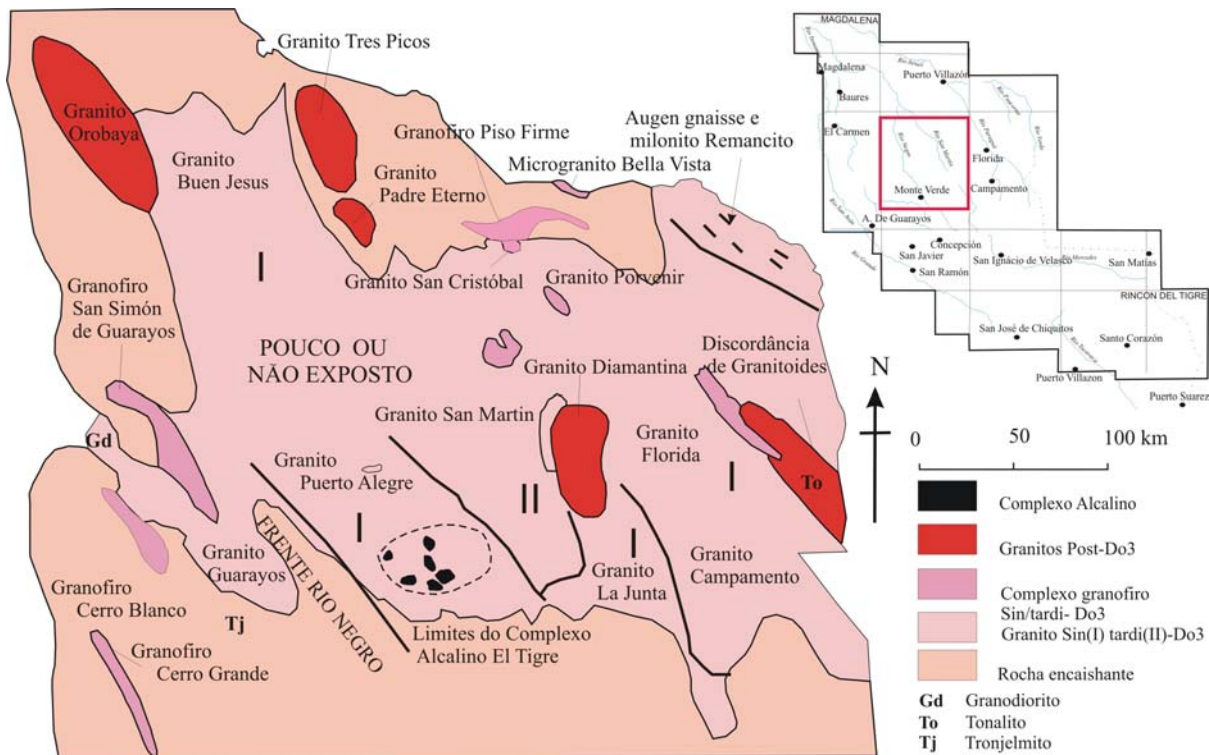


Figura 4.4. Distribuição regional e nomes do Complexo de granitos Pensamiento, segundo Litherland *et al.* (1986)

4.5 Cinturão Sunsás na Bolívia (1,30-950 Ma)

A Orogenia Sunsás segundo Litherland & Bloomfield (1981) foi definida por um período de sedimentação que inclui erosão, deformação e metamorfismo do embasamento no intervalo de 1,30 Ga-950 Ma.

O cinturão Sunsás encontra-se formado por dois eventos, um deles sedimentar, descrito mediante a deposição dos grupos Sunsás e Vibosi e outro restrito à orogenia, marcando uma importante evolução que envolve a distensão da crosta, seguida de plutonismo alcalino (Litherland *et al.* 1986).

A parte sudeste do cinturão Sunsás divide-se em dois segmentos tectônicos: (1) ao norte de Concepción, onde as estruturas San Ignacio estão preservadas e sobrepostas por depósitos do Grupo Sunsás; (2) O *front* de San Diablo, interpretado como uma zona de sutura entre o Cráton Paraguá e o terreno de San Pablo (Saes & Fragoso Cesar, 1996). Segundo estes autores a orogenia Sunsás é o fruto da colisão do Cráton Paraguá e o Terreno San Pablo.

As sedimentações dos grupos Sunsás e Vibosi apresentam as seguintes características: o Grupo Sunsás encontra-se fortemente dobrado, com espessura de 3000 a 5000 m. A unidade basal é formada por conglomerados que se sobrepõem discordantemente ao embasamento (Formação Guapanama) e a unidade psamítica inferior é formada por arcósios, subarcósios de granulometria grossa, arenitos estratificadas, quartzitos feldspáticos e quartzitos micáceos. A unidade psamítica superior é composta por meta-arcósios (Berrangué & Litherland, 1982).

A Serrania Huanchaca é composta pelo grupo que leva o mesmo nome, equivalente às unidades psamítica inferior do Grupo Sunsás e com uma feição importante, pois apresenta rochas vulcanoclásticas ferruginosas.

O Grupo Vibosi se sobrepõe discordantemente ao grupo anteriormente descrito, mas encontra-se dobrado juntamente. As formações deste grupo são: na base, a Formação Santa Isabel, com arcósios de granulometria média e subarcósio; a Formação San Marcos composta de arenitos; e a Formação Santo Colombo de arenitos cinzas (Berrangué & Litherland, 1982).

4.5.1 Granitóides Sunsás

A orogenia Sunsás encontra-se confinada a duas faixas: 1) a faixa Orogênica Sunsás orientada WNW (Bolívia) e 2) a faixa Orogênica Aguapeí (Brasil) separadas pelo Cráton Paraguá, que segundo Berrangué & Litherland (1982), foi estabelecido durante a Orogenia Sunsás.

Na Bolívia os granitóides da orogenia Sunsás foram datados por K-Ar e Rb-Sr, tal é o caso do granito Casa de Piedra (1005 ± 12 Ma). Com base nos dados geocronológicos e associações estruturais Litherland *et al.*, (1986) diferenciaram dois tipos de granitóides: 1) granitóides sin-cinemáticos representados pelos granitos Limonal, La Cruz, San Miguel, Espíritu, Las Palmas, La Palca, San Pablo, El Carmen e Namoaca (Figura 4.5), e; 2) granitóides post-cinemáticos que se caracterizam por apresentar corpos graníticos homogêneos, não deformados, com contatos intrusivos e de composição predominantemente granítica em vez de granodiorítica (Fletcher 1979). Tais corpos são: Talcoso, Casa de Piedra, Taperas, Cachuela, Lucuma, Tasseoro. Além destes corpos mapeados por Litherland *et al.* (1986), novos corpos graníticos foram interpretados como sendo formados durante a Orogenia Sunsás. Desta forma, os granitos Primavera e Naranjito foram adicionados a lista dos granitos Sunsás por Adameck *et al.* (1996).

Em adição, podem ocorrer intrusões menores tais como diques de riolitos, provavelmente associados à intrusão dos granitóides, intrusões básicas doleríticas e noritos metamorfizados, serpentinitos, pegmatitos e veios de quartzo, como exemplo pode-se citar as rochas que se encontram na localidade de San Ramón ao redor da mina Puquio Norte.

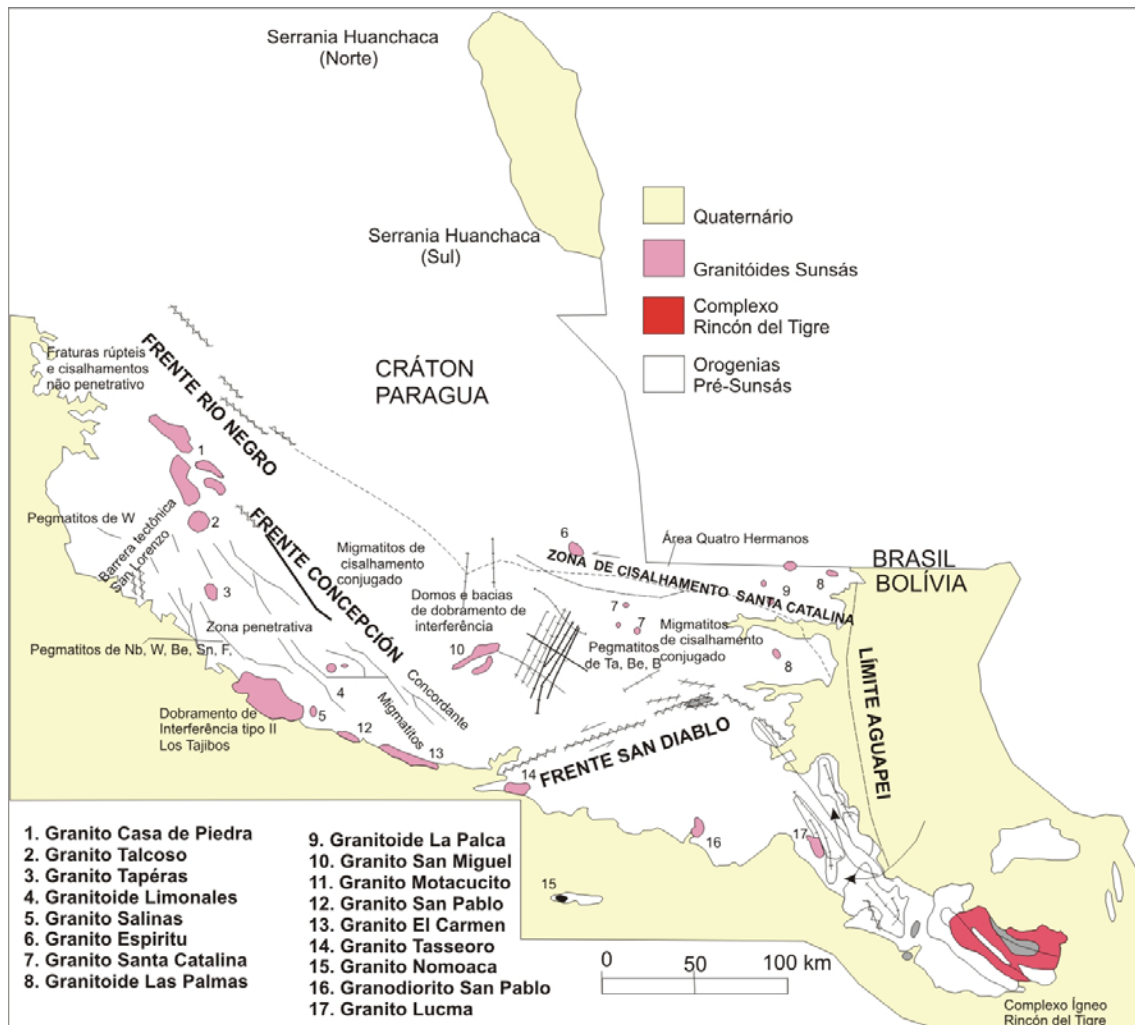


Figura 4.5. Distribuição regional dos granitóides formados durante a Orogenia Sunsás na Bolívia, segundo Litherland *et al.* (1986).

4.6 Geocronologia Regional

Neste item serão apresentados os resultados geocronológicos obtidos da literatura sobre o pré-Cambriano boliviano e resumidos na Tabela 4.1. As principais publicações com resultados geocronológicos se restringem a Litherland *et al.* (1986), compreendendo apenas idades Rb-Sr e K-Ar; Darbyshire (2000), com resultados Sm-Nd; e Borger *et al.* (2005), com resultados U-Pb em zircão pela técnica SHRIMP. Os resultados destes três trabalhos são resumidos a seguir.

4.6.1 Embasamento (> 1400 Ma)

O “*Proyecto Precambrico*” desenvolvido pelo Serviço Geológico Britânico e o Serviço Geológico Boliviano resultou em uma grande quantidade de idades Rb-Sr e K-Ar que permitiram a Litherland *et al.* (1986) discriminarem rochas do embasamento das rochas geradas pelas orogenias San Ignacio e Sunsás. Entre as idades Rb-Sr obtidas para o embasamento, Litherland *et al.* (1986) apresentam uma idade de 1961 Ma obtida por isócrona Rb-Sr em charnokitos. Esta idade é considerada, pelos autores, como a melhor estimativa da idade mínima do Complexo de Granulitos Lomas Maneches e foi correlacionada ao Ciclo Transamazônico do Brasil.

Para a Orogenia San Ignacio, Litherland *et al.*, (1986) coletaram três amostras (uma de meta-arcósio, e as outras duas de gnaisses) da Formação Ascensión e do Supergrupo San Ignacio. Estas amostras forneceram uma idade Rb-Sr de 1344 ± 18 Ma (MSWD=1.9) conforme resumido na Tabela 4.1. Esta idade foi considerada como um evento metamórfico. A similaridade de 1344 ± 18 Ma com a Orogenia San Ignacio (1400-1300 Ma) foi explicada, segundo Litherland & Bloomfield (1981), como que a Orogenia San Ignacio teria provocado uma re-homogeneização isotópica sobre um embasamento de granulitos de idade transamazônica.

Dados de Sm-Nd (Darbyshire, 2000) analisando rochas do embasamento representado pelas unidades Lomas Maneches e o Supergrupo San Ignacio apresentam idades TDM transamazônica. A autora não apresenta os valores neste trabalho.

Estudos recentes, realizados por Boger *et al.* (2005), sobre o leste da região de Bolívia apresentaram idades U-Pb em zircão para as rochas do Complexo Chiquitania representado por um biotita-magnetita-gnaisse e interpretado como de origem metassedimentar. Os zircões detríticos obtidos nesta amostra indicam idades entre 1788 ± 16 Ma e 1757 ± 14 Ma, para núcleos de grãos e idade de 1333 ± 6 Ma para as bordas dos grãos. As idades mais antigas foram interpretadas por Borger *et al.* (2005) como idades das fontes dos grãos dos zircões que forneceram material para a formação dos

protólitos sedimentares do gnaiss. A idade mais jovem foi interpretada como resultado de sobrecrescimento durante a orogênese San Ignacio.

Uma outra amostra de xisto coletada na faixa de xistos San Ignacio resultou em zircões detríticos (arredondados) cujos resultados indicam também idades por volta de 1764 ± 6 Ma, concordante com as idades obtidas na amostra de paragneiss do La Chiquitania.

Ainda no trabalho de Borger *et al.* (2005) foram datados um granitóide do Complexo Lomas Maneches e um gnaiss granulito com ortopiroxênio. Nesta amostra os zircões apresentavam feições magmáticas com resultado de 1663 ± 13 Ma, como apresentado na Tabela 4.1.

4.6.2 Orogenia San Ignacio (c. 1400-1300 Ma)

A orogenia San Ignacio sempre foi considerada como um evento geocronológico importante ocorrido no leste da Bolívia, especificamente sobre o Cráton Paraguá, onde a idade da orogenia de c. 1300 Ma foi preservada nos sistemas Rb-Sr e K-Ar. A idade de isócrona Rb-Sr de 1344 ± 18 Ma, proveniente de dois gnaisses e um meta-arcosio dos xistos Ascensión, foi tentativamente tomado como idade de deformação e metamorfismo deste evento.

Os principais granitos formados durante a Orogenia San Ignacio foram datados por Litherland *et al.* (1986) pelo método Rb-Sr. Entre eles podem-se citar as idades do granito sin-cinematico La Junta de 1375 ± 80 Ma do, granitóides do Complexo Piso Firme 1325 ± 45 Ma, granito San Javier (1291 ± 33 Ma) e os granitóides post-cinematicos, tais como: granito Diamantina 1391 ± 70 Ma, granito Orobaya (1283 ± 46 Ma) e o Complexo Alcalino El Tigre (1286 ± 46 Ma), interpretado como o pulso final do magmatismo, dados que representam o setor SE do pré-Cambriano boliviano. As idades dos gnaisses e granitóides foram consideradas como resultado do magmatismo ou metamorfismo gerado durante a Orogenia San Ignacio e que escaparem dos efeitos da Orogenia Sunsás. Segundo Litherland *et al.* (1986) isto é significativo, pois a idade de c. 1300 Ma não foi detectada nos granitos da Orogenia Sunsás.

Os granitos Puerto Alegre/La Junta apresentaram valores de $\epsilon_{Nd(t)}$ negativos, T_{DM} de 1.99-2.09 Ga segundo Derbyshire (2000), e podem ser

interpretados como anatóxicos segundo Litherland *et al.* (1986). Os granitóides Diamantina e Orobaya apresentam valores de ϵ_{Nd} de 1,0 a 1,4 e T_{DM} entre 1,69 Ga e 1,73 Ga e o Complexo Alcalino El Tigre T_{DM} de 1,88 Ga e valores de ϵ_{Nd} negativos sugerindo uma fusão localizada da crosta ou uma contaminação crustal (Darbyshire 2000). Idades modelo Sm-Nd (T_{DM}) entre 1,99 Ga e 2,09 Ga, com valores de ϵ_{Nd} levemente negativo (Darbyshire 2000), indicam uma importante participação de crosta antiga na formação dos magmas que geraram os granitos do evento San Ignacio.

Boger *et al.* (2005) apresentam resultados U-Pb em zircão em granitos da Orogenia San Ignacio. Como exemplo foi datado o granito San Rafael (1334±12 Ma). Neste granito alguns zircões apresentaram núcleo com idades mais antigas (cerca de 1686 ± 16 Ma), indicando a participação de crosta sílica do Lomas Maneches na formação destas rochas graníticas relacionadas ao evento San Ignacio.

4.6.3 Orogenia Sunsás (1,30 Ga-950 Ma)

A idade da Orogenia Sunsás foi bem definida a partir de datações Rb-Sr e K-Ar, obtidas no granito Casa de Piedra (1005±12 Ma) e no Complexo Rincón Del Tigre (1286 ± 46 Ma), entre 1000-950 Ma (Litherland *et al.* 1986) (Tabela 4.1). Estes investigadores encontraram dificuldade com as interpretações dos dados Rb-Sr do Complexo Rincón del Tigre, devido às complexas camadas ígneas, produto das injeções magmáticas. Darbyshire (2000) apresenta apenas uma idade Sm-Nd de rochas formadas no evento Sunsás. O granito Casa de Piedra apresenta idades T_{DM} de 1,92 Ma e valor de ϵ_{Nd} de -4,0, sugerindo importante participação crustal na origem desta rocha.

Boger *et al.*, (2005) mediante estudos sobre a região leste da Bolívia, dataram pelo método U-Pb em zircão (SHRIMP) o Granito Taperas, localizado ao sul de San Javier, e obtiveram uma idade de 1076±18 Ma (Tabela 4.1), considerada como idade de cristalização do granito.

Tabela 4.1. Resultados geocronológicos do pré-cambriano da Bolívia reportados na literatura, em azul Litherland *et al.*(1986), vermelho Boger *et al.* (2005) e verde Darbyshire (2000).

AREA		Rb-Sr (Ma)	⁸⁷ Sr- ⁸⁶ Sr inicial	K-Ar (Ma)	U-Pb (Ma)	T _{DM} (Ga)	ε _{Nd} (T)	
		ISOCRONA		*Biotita,**Muscovita	SHRIMP			
OROGENIA SUNSÁS	Magmatismo	Rincon del Tigre	993±139					
	Post-cinmáticos	Granito Casa de Piedra	1005±12		958±27* 911±30**		1,92	-4
		Granito Taperas			935±21	1076±18		
		Granito Tasseoro			991±27			
OROGENIA SAN IGNÁCIO	Post-cinmáticos	Complejo Alcalino El Tigre	1286±46			1,88	-0,9	
		Piso Firme	1325±45	0.7044±0.0026		1,57	3,9	
		San Javier	1291±33					
		San Cristobal			1296±18*			
		Padre Eterno			1326±19, 1268±2**			
		Orobaya	1283±33	0.7058±0.0031			1,73 1,69	1,4 1,0
	Sin-cinmáticos	San Rafael	1291±49			1334		
		La Junta/Puerto Alegre	1375±80					
		Guarayos			1043±22 *			
		Florida			1380±19*			
	EMBASAMENTO	Xistos San Ignacio		1344±18		1690 1764±16		
Gnaisse La Chiquitania					1333±6 1788±16 1757±14			
Granulitos Lomas Maneches			~1970		1961	1663±13		