



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ISÓTOPOS DE Sr, C E O DOS CARBONATOS DAS FORMAÇÕES SETE
LAGOAS E LAGOA DO JACARÉ: IMPLICAÇÕES PARA A IDADE
DEPOSICIONAL E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA BACIA
BAMBUÍ**

ROSALIA BARILI DA CUNHA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

Porto Alegre, 2015.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ISÓTOPOS DE Sr, C E O DOS CARBONATOS DAS FORMAÇÕES SETE
LAGOAS E LAGOA DO JACARÉ: IMPLICAÇÕES PARA A IDADE
DEPOSICIONAL E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA BACIA
BAMBUÍ.**

ROSALIA BARILI DA CUNHA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki (UFRGS)

Prof. Dr. Cândido Augusto Veloso Moura (UFPA)

Prof. Dr. Norberto Dani (UFRGS)

Dissertação de Mestrado
apresentada como requisito parcial
para a obtenção do Título de Mestre
em Geociências.

Porto Alegre, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Cunha, Rosalia Barili da

Isótopos de SR, C e O dos carbonatos das Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré implicações para a idade deposicional e reconstrução paleoambiental da Bacia Bambuí. / Rosalia Barili da Cunha. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.
[92 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Marcus Vinícius Dorneles Remus

1. Grupo Bambuí. 2. Químioestratigrafia. 3. Sr. 4. Isótopos estáveis. I.
Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Veleida Ana Blank CRB 10/571

À minha mãe.

*“O Universo, como já foi dito anteriormente, é um lugar
desconcertantemente grande, um fato que, para continuar levando uma
vida tranquila, a maioria das pessoas tende a ignorar.”*

Douglas Adams

*O Guia do Mochileiro das Galáxias - O Restaurante no fim
do universo*

*“Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir, mas eu acho que acabei
terminando onde eu pretendia estar.”*

Douglas Adams

O Guia do Mochileiro das Galáxias - Até mais, e obrigado pelos peixes!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-graduação em Geociências pela oportunidade de realização deste trabalho e pela infraestrutura; e ao Programa de Recursos Humanos – PRH215, pelo fomento à pesquisa e pela bolsa de mestrado.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcio Martins Pimentel, meu primeiro orientador, pela sua disponibilidade, mesmo após sua ida para Brasília. Obrigada pela gentileza e comprometimento.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Marcus V. D. Remus, que me acolheu e fez todo o possível para me ajudar em um momento delicado.

Agradeço ainda ao Prof. Dr. Alcides N. Sial e à equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (NEG-LABISE), que gentilmente realizaram as análises de isótopos estáveis; e ao Laboratório de Geoquímica Isotópica (LGI), pelas análises de estrôncio.

Agradeço aos colegas e professores do prédio 43137 (Prédio do Pós-Estratigrafia) pela ajuda ao permitir utilizar a infraestrutura do local para a realização das minhas atividades.

Agradeço ainda à algumas pessoas especiais, que ao longo do caminho geológico, desde antes da graduação, me mostraram que era importante seguir estudando: o Prof. Dr. Gustavo Merten, a Geóloga Rossana Goulart, o Geólogo André Bastos e sua esposa Prof. Dra Lauren Duarte.

Agradeço às minhas queridas amigas e Geólogas Fran, Julia e Thisi, que me acalutam os temores e crises de ansiedade... mesmo de longe; e o amigo, e eterno revisor, Leonardo Gruber.

Por fim, agradeço minha querida mãe que sempre me deu suporte, incentivo, muito carinho, atenção e os puxões de orelha necessários. Obrigada pela paciência!

Muito obrigada a todos!

RESUMO

A idade e intervalo de deposição do Grupo Bambuí no Cráton São Francisco tem sido motivo de controvérsia ao longo das últimas décadas. Este trabalho integra dados de razões isotópicas de estrôncio aos isótopos de C e O, aplicados na quimioestratigrafia, com a finalidade de um melhor entendimento das características da porção basal da bacia onde o Grupo Bambuí foi formado. A formação Sete Lagoas, a mais basal do grupo, apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,70714 a 0,70777, enquanto a Formação Lagoa do Jacaré apresenta valores entre 0,70746 a 0,7082, ambas abaixo do esperado para o Ediacarano, idade que é definida pela presença de fósseis índice, recentemente descobertos e reportados. Os resultados das análises de isótopos estáveis revelam comportamento similar ao já esperado para o grupo: $\delta^{18}\text{O}$ entre -5,60 e -15,04‰ para a Formação Lagoa do Jacaré e entre -8,31 e -11,08‰ para a Formação Sete Lagoas; e $\delta^{13}\text{C}$ entre +0,19 e +11,19‰ para a Formação Sete Lagoas (sequência superior); e entre +5,23 e +11,99‰ para a Formação Lagoa do Jacaré. Os resultados confirmam a hipótese de que a bacia representou um ambiente restrito, onde a homogeneização isotópica foi dificultada por barreiras físicas, e sugere que a ligação entre a bacia e o mar aberto possa ter ocorrido ao norte da bacia.

Palavras-chave: Grupo Bambuí; Quimioestratigrafia

ABSTRACT

The Sanfranciscana Basin, especially the Bambuí Group, covers a large area of the São Francisco Craton and of the eastern margin of the Brasília Fold Belt. The depositional age of the Bambuí Group has been controversial for more than three decades. This work includes Sr-C-O isotopic compositions and applied to chemostratigraphy with the purpose of a better understanding of the basin characteristics. The basal Sete Lagoas Formation, shows values of $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ranging from 0.70714 to 0.7077, while the Lagoa do Jacaré Formation has values between 0.70746 to and 0.7082, both lower than the expected values for the Ediacaran age which was indicated by the presence of an index fossils, recently discovered and described. The results of stable isotope analyzes show similar behavior to the expected for the group: $\delta^{18}\text{O}$ between -5.60 and -15.04 ‰ for the Lagoa do Jacaré Formation and between -8.31 and -11.08 ‰ for the Sete Lagoas Formation; and $\delta^{13}\text{C}$ between +0.19 and + 11.19 ‰ for the Sete Lagoas Formation (upper sequence); and between +5.23 and + 11.99 ‰ for the Lagoa do Jacaré Formation. The results confirm the hypothesis that the basin formed in a confined restricted environment where physical barriers made the isotopic homogenization more difficult. This suggests that the connection between the basin and the open sea may have occurred along the northern part of the basin.

Keywords: Bambuí Group; Chemostratigraphy

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS	vii
PREÂMBULO	viii

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	2
1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
1.4.1 CRÁTON SÃO FRANCISCO	4
1.4.2 BACIA DO SÃO FRANCISCO.....	6
1.4.3 GRUPO BAMBUÍ	9
1.5 REFERÊNCIAS.....	12

CAPÍTULO II

2 ESTADO DA ARTE	15
2.1 GRUPO BAMBUÍ.....	15
2.2 FÓSSEIS ÍNDICE DO EDIACARANO	18
2.2.1 GÊNERO <i>CLOUDINA</i>	18
2.2.2 GÊNERO <i>CORUMBELLA</i> (HAHN <i>et al.</i> , 1982)	20
2.3 REFERÊNCIAS.....	22

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA	34
3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	34
3.1.1 GEOQUÍMICA DOS CARBONATOS	34
3.1.2 QUIMIOESTRATIGRAFIA.....	39
3.1.3 SISTEMA Rb-Sr	44
3.1.4 ISÓTOPOS ESTÁVEIS.....	47
3.1.5 ESPECTROMETRIA DE MASSAS.....	50
3.2 AMOSTRAGEM	52
3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS.....	52

3.3.1	PREPARAÇÃO FÍSICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES EM ROCHA TOTAL	52
3.3.2	PREPARAÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DE ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	53
3.3.3	PREPARAÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DE C E O	54
3.4	<i>REFERÊNCIAS</i>	56

CAPÍTULO IV

4	ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GEOLOGIA USP – SÉRIE CIENTÍFICA	57
4.1	<i>INTRODUÇÃO</i>	58
4.2	<i>LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA</i>	59
4.2.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	59
4.2.2	CONTEXTO GEOLÓGICO	59
4.3	<i>MATERIAIS E MÉTODOS</i>	63
4.4	<i>RESULTADOS</i>	64
4.5	<i>DISCUSSÃO</i>	66
4.6	<i>CONCLUSÕES</i>	71
4.7	<i>REFERÊNCIAS</i>	73
	ANEXO A	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área estudada e dos pontos amostrados.	3
Figura 2 - Porção oeste do Gondwana, mostrando o cráton São Francisco e sua contra parte, o Cráton do Congo. A área de estudos está indicada pelo polígono preto (Alkmin <i>et al.</i> , 2012). A= Craton da Amazonia; SFC= Craton São Francisco P= La Plata; K= Cráton Kalahari; WA=Cráton Oeste Africano	5
Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco e área de estudos deste trabalho indicada pelo polígono preto (Alkmim <i>et al.</i> , 2004).	7
Figura 4 - Coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco, mostrando as principais unidades de preenchimento (Alkmim & Martins-Neto 2001).....	8
Figura 5 - Coluna estratigráfica e de ambientes de sedimentação dos Grupos Bambuí e Macaúbas (Modificada por Santos, 2011).....	11
Figura 6 - Paleo-reconstrução do Oceano Clymene e as ocorrências de Cloudina A ocorrência do fóssil no Grupo Bambuí é mostrada em preto. 1-Austrália, 2-Índia, 3-Antártica, África do 4-Oeste, 5-Congo-São Francisco, 6- Kalahari, 7-Paraná, 8-Rio de la Plata, 9-Amazônia, 10-Rio Apa, 11-Laurentia. (Warren <i>et al.</i> , 2014).	19
Figura 7 - Curva de variação isotópica mundial para $\delta^{13}\text{C}$ (VPDB) durante o Neoproterozoico. (Modificada de Halverson <i>et. al.</i> , 2010).....	41
Figura 8 - Distribuição de composição isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ para algumas substâncias terrestres em relação ao SMOW (Standard Mean Ocean Water). (Modificado de Allègre 2008).....	42
Figura 9 - Fatores determinantes da composição isotópica da água do mar. (Modificado de Allègre 2008).....	43
Figura 10 - Curva de variação isotópica mundial para Sr durante o Neoproterozoico. (Modificada de Halverson <i>et. al.</i> , 2010).....	44
Figura 11 - Quadro esquemático das porcentagens dos isótopos de Rb e Sr (Geraldès, 2010).	45
Figura 12 - Esquema de funcionamento do TIMS. Os círculos vazados e sólidos indicam isótopos leves e pesados respectivamente (Allègre, 2008).	51
Figura 13 - A) Tubo de reação utilizado nas análises de C e O em material carbonático; B) esquema da linha de extração de carbonatos em operação no Laboratório de Isótopos estáveis NEG – LABISE (Extraído de Nascimento, 2002).	55
Figura 14 - Mapa de localização da área de estudo.....	59
Figura 15 - Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco (Modificado de Alkmim, 2004).	60

Figura 16 - Coluna estratigráfica e de ambientes de sedimentação dos Grupos Bambuí e Macaúbas (Modificada por Santos, 2011).....	62
Figura 17 - Perfil isotópico em seção colunar esquemática do Grupo Bambuí.	66
Figura 18 - Curva de variação isotópica com os dados referentes ao Grupo Bambuí evidenciando o incremento radiogênio de estrôncio na água do mar e nos carbonatos, indicada pela seta vermelha, durante o período Ediacarano (Modificado de Halverson <i>et al.</i> 2007 por Cunha, 2012).	68
Figura 19 - Gráfico $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$. Os quadrados vermelhos representam as amostras apresentadas neste trabalho (Modificado de Paula-Santos <i>et al.</i> 2014)....	69
Figura 20 - Reconstrução paleogeográfica mostrando os crátons pré-Cambrianos próximos ao Cráton São Francisco (CSF). Os orógenos indicados compreendem cinturões desde o Neoproterozoico superior até o Cambriano inferior. CK – Cráton Kalahari, CA – Cráton Amazônico, CCO – Cráton Congo, COA – Cráton Oeste Africano. (Baseado em Torsvik e Cocks, 2013; Mendes & Lemos, 2007 e Warren <i>et al.</i> , 2014).....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tabela síntese dos principais trabalhos sobre o Grupo Bambuí e os tópicos abordados pelos autores.....	17
Tabela 2 Características físico-químicas dos carbonatos formadores de rocha mais abundantes.	34
Tabela 3 Abundâncias dos isótopos estáveis de oxigênio (Modificada de Faure, 2005).	47
Tabela 4 Abundâncias dos isótopos estáveis de carbono (Modificada de Faure, 2005).	49
Tabela 5 Resultados das análises das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, e de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$	65

PREÂMBULO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo “**Isótopos de Sr, C e O dos carbonatos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré: implicações para a idade deposicional e reconstrução paleoambiental da bacia Bambuí**”, submetido ao periódico **Geologia USP – Série Científica**.

Desta forma, a estruturação deste trabalho compreende os seguintes capítulos:

- 1) **Introdução:** abrange a apresentação do tema da dissertação, bem como os objetivos do trabalho. Neste capítulo também são apresentadas a localização da área e a geologia regional;
- 2) **Estado da Arte:** é composto pela revisão dos principais trabalhos sobre o Grupo Bambuí, desde sua primeira descrição até os trabalhos mais recentes;
- 3) **Geoquímica dos Carbonatos:** neste capítulo é feita uma breve revisão a respeito dos carbonatos;
- 4) **Metodologia:** este capítulo é composto por uma revisão a respeito do sistema Rb-Sr, e dos isótopos estáveis C e O. Também são descritas as metodologias de amostragem, preparação e análises executadas;
- 5) **Artigo científico:** o artigo científico submetido ao periódico é apresentado integralmente neste capítulo. O artigo está estruturado em:

Introdução: breve introdução sobre o estudo, os objetivos do trabalho;

Localização e Geologia: apresenta a localização da área de estudo e geologia da regional;

Metodologias: apresenta a metodologia empregada para coleta e análise das amostras;

Resultados: são apresentados os resultados das análises de C, O e Sr;

Discussão: são levantadas questões a respeito dos resultados em comparação com as referências mais recentes;

Conclusões: onde são apresentadas as conclusões do trabalho.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

O Grupo Bambuí é uma cobertura neoproterozoica que recobre extensas porções do Cráton São Francisco e da borda oriental da Faixa Brasília. As formações deste grupo apresentam exsudações de gás, cuja ocorrência abrange as margens do Rio São Francisco ao norte de Minas Gerais, demonstrando potencial para exploração de gás.

As formações que compreendem este grupo foram primeiramente descritas em 1832, e os primeiros levantamentos estratigráficos ocorreram nas décadas de 60 e 70. Com a evolução do conhecimento a respeito do grupo e possibilidade da utilização de técnicas de datação radiométrica, a idade e o significado geotectônico do Grupo Bambuí se tornou motivo de controvérsia na literatura geológica. A inexistência de rochas vulcânicas intercaladas à sequência sedimentar dificulta a determinação da idade de deposição desta. Assim, os dados apresentados, geralmente, tem relação com material detrítico das formações siliciclásticas do grupo.

Através da utilização da metodologia Pb-Pb em rochas carbonáticas da base da Formação Sete Lagoas, Babinski *et al.* (2007) indicaram uma idade de ca. 740Ma para essa unidade. Já Rodrigues (2008) e Pimentel *et al.* (2011,2012) apresentam zircões detríticos com idades mais jovens que 610Ma, chegando a 550Ma, referente a idade de máxima deposição do grupo. Já dados mais recentes (Paula-Santos *et al.*, 2014) apresentam zircões detríticos com idades também mais jovens, de 550Ma para a Formação Sete Lagoas Estes dados são corroborados pela presença de fósseis índice, encontrados ao norte da bacia, na parte basal do Grupo Bambuí por Warren *et al.* 2014.

Portanto, como verificado, apesar de diversas tentativas de reconstrução e entendimento do ambiente tectônico, e das diversas tentativas de datação radiométrica, ainda existe a necessidade de definir com maior precisão a idade da deposição e um melhor entendimento da evolução do Grupo Bambuí.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo contribuir para a definição do intervalo de idade da deposição e um melhor entendimento da dinâmica ambiental na qual foi formado o Grupo Bambuí através da utilização de ferramentas como a quimioestratigrafia. Não se trata, portanto, de um trabalho de refinamento detalhado da quimioestratigrafia da bacia Bambuí, mas sim de reconhecimento regional das duas unidades basais do Grupo Bambuí.

Os dados produzidos através do levantamento de campo e análises de isótopos estáveis e da composição isotópica do estrôncio serão integrados aos recentemente publicados, gerando um banco de dados útil para análise espacial da variação isotópica ao longo do tempo dentro da bacia.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos está localizada no estado de Minas Gerais, em um trecho que abrange desde o município de Belo Horizonte até município de Montes Claros, como indicado na Figura .

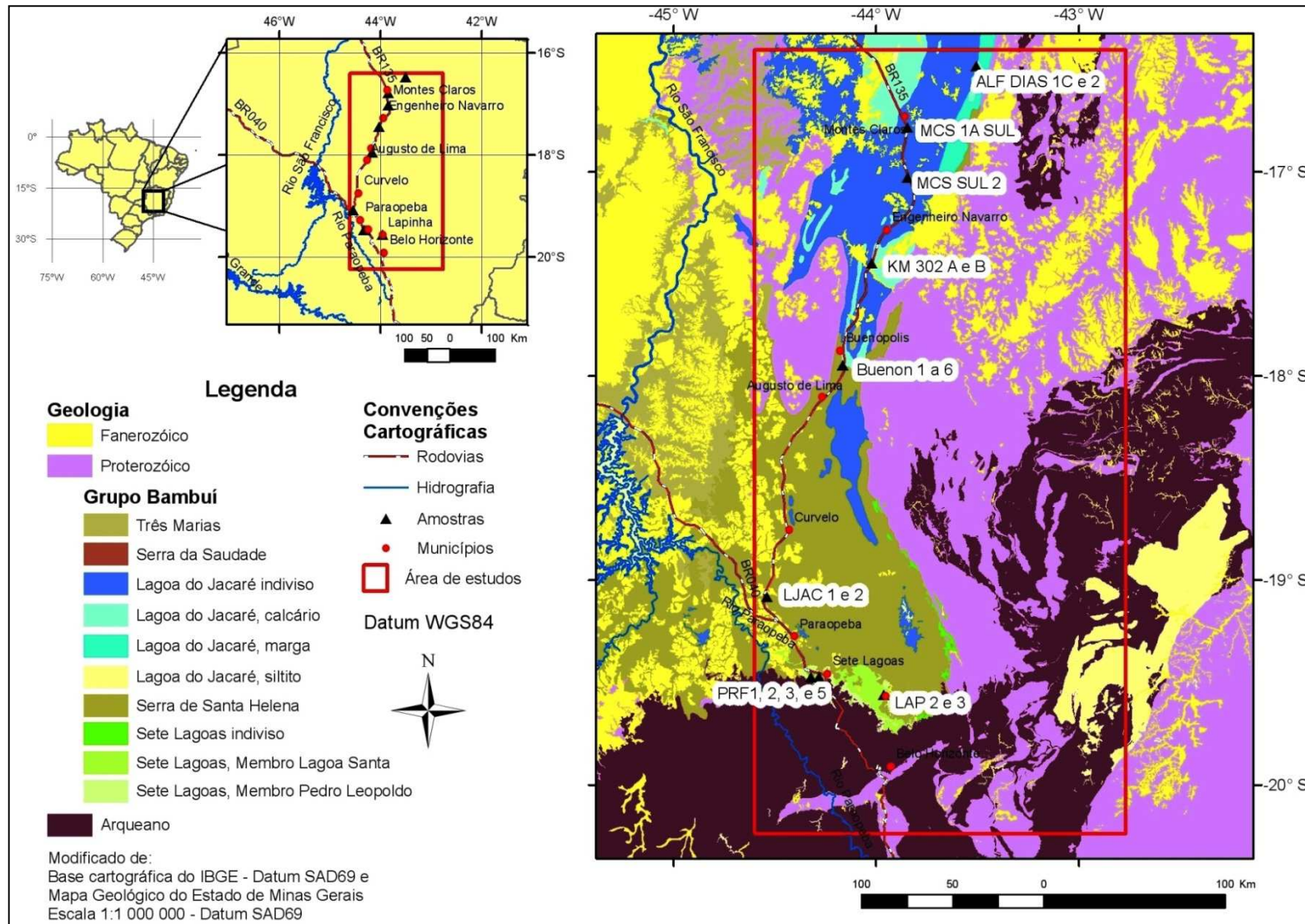


Figura 1- Localização da área estudada e dos pontos amostrados.

1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudos está situada na porção leste, no compartimento Ocidental, do Cráton São Francisco.

1.4.1 CRÁTON SÃO FRANCISCO

O Cráton São Francisco (CSF), bem como sua contraparte africana, o Cráton do Congo (Figura 2), e os demais crátons dos continentes sul-americano e africano, são interpretados como pedaços preservados do paleocontinente Gondwana, formados a partir do amalgamento de placas tectônicas ao final do Neoproterozoico em uma série de colisões diacratônicas (Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000; Alkmim *et al.*, 2001 *apud* Almeida, 2004). A individualização do Cráton do São Francisco ocorreu no interior da paleoplaca continental durante a orogenia Brasiliana, quando as inversões causadas pelas colisões ou fechamentos das bacias geraram cinturões orogênicos marginais moldando o antepaís do São Francisco.

Almeida (1977) sugere que o CSF adquiere estabilidade ao final do evento Transamazônico, assumindo, portanto, que rochas e feições tectônicas sejam mais antigas que 1,8 Ga. Os aspectos tectônicos permitem a discriminação de um orógeno paleoproterozoico e o seu antepaís, que estão presentes apenas de forma fragmentária no cráton (Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá) e no extremo sul do cráton (Quadrilátero Ferrífero) (Alkmim, 1977).

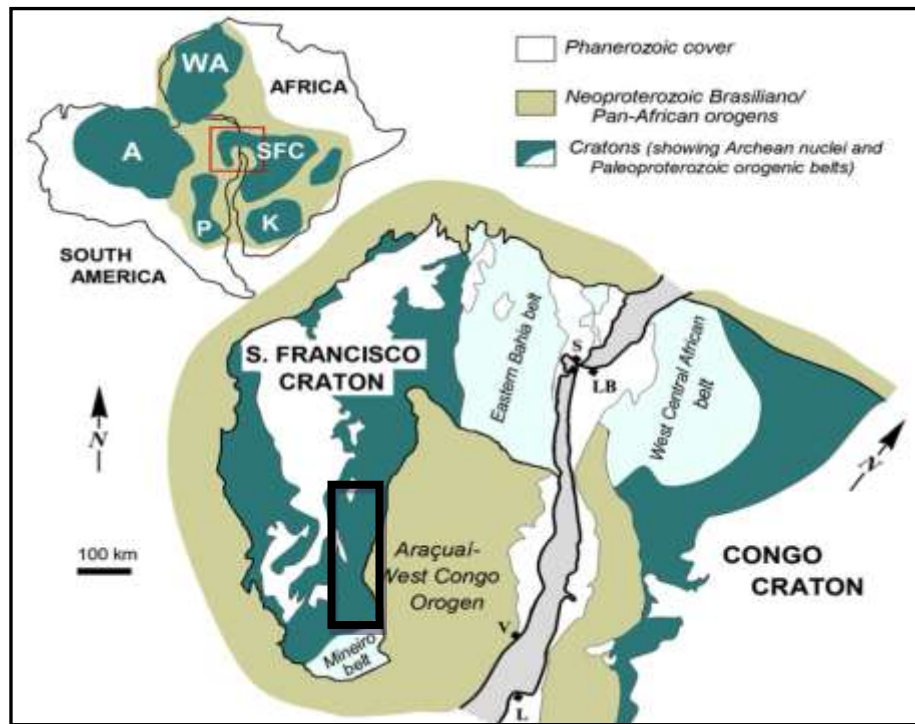


Figura 2 - Porção oeste do Gondwana, mostrando o cráton São Francisco e sua contra parte, o Cráton do Congo. A área de estudos está indicada pelo polígono preto (Alkmim *et al.*, 2012). A= Cráton da Amazonia; SFC= Cráton São Francisco P= La Plata; K= Cráton Kalahari; WA=Cráton Oeste Africano

Os cinturões orogênicos Brasilianos-Panafricanos correspondem às margens das placas e às partes adicionadas a elas durante o evento, sendo possível identificar zonas de sutura nos limites do cráton (Alkmim *et al.*, 1993, *apud* Almeida 2004). O cráton possui como limites sul e oeste a Faixa Brasília, como limite noroeste a Faixa Rio Preto, como limite norte as Faixas Sergipana e Riacho do Pontal, e como limite sudeste a Faixa Araçuaí (Almeida, 1977; 1981). A leste, o cráton é limitado pela margem continental que hospeda as bacias do Jequitinhonha, Almada, Camamu e Jacuípe.

O CSF possui a maior parte de sua área interior recoberta por unidades pré-cambrianas e fanerozoicas sendo possível identificar três grandes unidades morfotectônicas: a Bacia do São Francisco, o Aulacógeno do Paramirim e uma grande parte do Rife Recôncavo-Tucano-Jatobá (Figura 3) (Almeida, 1977).

1.4.2 BACIA DO SÃO FRANCISCO

A Bacia Sanfranciscana (Figura 3) é uma depressão tectônica de orientação norte-sul, que se estende por cerca de 1100 km, desde seu limite sul na região do Arco do Alto Paranaíba no Triângulo Mineiro, para ligar-se a norte à Bacia do Parnaíba na região da Chapada das Mangabeiras. Os sedimentos neoproterozoicos da Bacia do São Francisco afloram em extensas áreas no norte do estado de Minas Gerais.

Essa bacia é limitada, na base, por uma discordância com os sedimentos da Bacia do Espinhaço (Pflug, 1965; 1968; Pflug & Renger, 1973). Para leste os sedimentos encontram-se sobre uma discordância com o complexo de rochas do embasamento. Litoestratigraficamente, as rochas da Bacia São Francisco correspondem aos grupos Macaúbas e Bambuí, Formação Salinas e a todas as unidades que foram depositadas recobrando a discordância basal e/ou conformidade correlativa dessa bacia cujo desenvolvimento está relacionado à instalação de um ambiente glacial no CSF. Vestígios dessa glaciação foram reportados nos sedimentos do Grupo Macaúbas (Isotta *et al.*, 1969; Walde, 1976; Hettich, 1977; Karfunkel & Karfunkel, 1977; Karfunkel & Hoppe, 1988; *apud* Babinski, 2011) e da Formação Bebedouro, no Grupo Una (Söfner, 1973; Karfunkel & Hoppe, 1988; Guimarães, 1996).

De oeste para leste, recobrando a discordância basal da Bacia do São Francisco, a deposição dos sedimentos ocorreu nos seguintes paleoambientes:

1. Zonas proximais das geleiras, em contato com os sedimentos previamente litificados da Bacia do Espinhaço, bem como do embasamento (Karfunkel & Hoppe, 1988). Pavimentos estriados nas rochas sedimentares de topo da Bacia Espinhaço foram descritos por Walde (1976) na borda leste da Serra do Cabral e apontam a direção de transporte das geleiras de oeste para leste. Recobrando os pavimentos glaciais ocorrem tilitos que apresentam seixos angulosos de arenitos, rochas carbonáticas, gnaisses, granitos e quartzo de veio. A composição dos grãos detríticos da matriz dos tilitos apresenta grande quantidade de fragmentos líticos estáveis de rochas plutônicas, bem como grãos detríticos de feldspatos e quartzo (Karfunkel & Hoppe, 1988);

2. Área continental, com deposição de tilitos e desenvolvimento de planícies de *out-wash*;

3. Zona transicional entre o continente e o mar, com aporte de detritos oriundos das geleiras (Karfunkel & Hoppe, 1988);

4. Para leste ocorre uma zona distal, na qual os sedimentos dessa bacia recobrem o complexo de rochas ígneas-migmatíticas do embasamento. A deposição de turbiditos em águas profundas caracteriza esse ambiente distal (Hettich, 1977; Karfunkel & Karfunkel, 1977; Pedrosa-Soares *et al.*, 1992a; 1992b). Nessas porções o limite de sequências é representado pela conformidade correlativa à discordância.

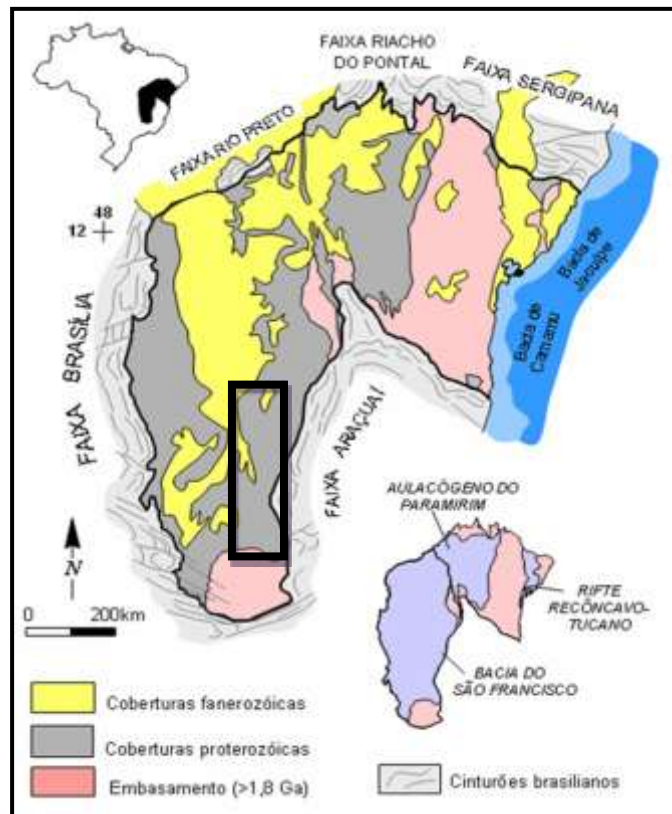


Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco e área de estudos deste trabalho indicada pelo polígono preto (Alkmim *et al.*, 2004).

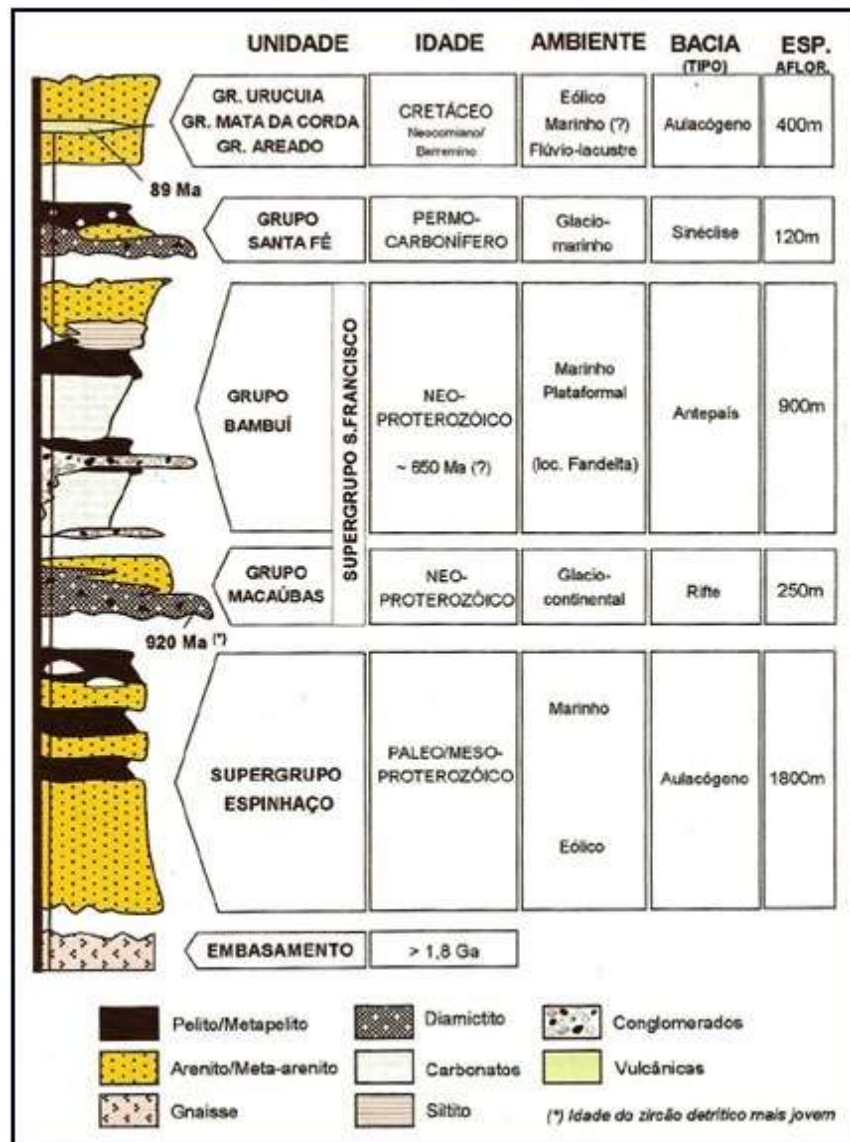


Figura 4 - Coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco, mostrando as principais unidades de preenchimento (Alkmim & Martins-Neto 2001).

Compartimentação tectônica

A bacia pode ser dividida em três compartimentos (Alkmim *et al.*, 1993, 1996, Alkmim & Martins-Neto 2001): (i) um compartimento oeste, que corresponde à porção externa da Faixa Brasília, com vergência estrutural para leste; (ii) uma porção central onde as unidades neoproterozoicas da Sequência Bambuí encontram-se praticamente indeformadas, e (iii) um compartimento leste, que corresponde à porção externa da Faixa Araçuai, com vergência estrutural para oeste. Observa-se ainda que o grau de metamorfismo é decrescente das faixas móveis adjacentes para a bacia, sendo que nos seus compartimentos oeste e central esse metamorfismo é

inexistente, se apresentando incipiente a baixo grau, passando a de maior intensidade para leste, onde pode chegar a atingir condições de fácies xisto verde (Alkmim & Martins-Neto 2001).

1.4.3 GRUPO BAMBUÍ

O Grupo Bambuí compreende uma sequência pelito-carbonática que recobre diversas unidades da Faixa Brasília e do Cráton São Francisco (Figura 3), sobreposta aos diamictitos da Formação Jequitaí. A organização estratigráfica adotada neste trabalho é a de Dardenne (2000) (Figura 5), segundo a qual o Grupo Bambuí é dividido, da base para o topo, em cinco formações: Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias, que se encontram mais ou menos constantes nos estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia e são descritas a seguir:

- A) Formação Sete Lagoas: é dividida em dois membros: Pedro Leopoldo e Lagoa Santa (Tuller *et al.*, 2010). Segundo o autor, o Membro Pedro Leopoldo é constituído por calcilutitos e calcissiltitos em camadas tabulares delgadas e espessas, laminadas, contínuas e/ou lenticulares com presença frequente de siltito esverdeado e intercalado numa disposição rítmica. Ocorrem ainda calcário dolomítico, doloarenito, níveis de marga, intraclastos e esteiras microbianas. Já o Membro Lagoa Santa é constituído de calcarenito fino a médio, calcirrudito, calcilutito, calcissiltito fino a grosso, esteiras microbianas e estromatólitos (*gymnosolenides*).
- B) Formação Serra de Santa Helena: composta essencialmente de folhelho e siltitos laminados, com raras camadas pouco espessas de arenito fino. São encontradas estruturas sedimentares do tipo estratificação cruzada e plano-paralela.
- C) Formação Lagoa do Jacaré: composta predominantemente de calcários oolíticos e pisolíticos bem como por siltitos carbonáticos de coloração verde.
- D) Formação Serra da Saudade: representada por folhelhos, siltitos esverdeados e algumas lentes de calcário cinza.

- E) Formação Três Marias: compreende unidade siliciclástica constituída por arcósios e siltitos com presença comum de estruturas do tipo estratificação plano-paralela e marcas de onda.

Os sedimentos do Grupo Bambuí foram depositados em uma plataforma epicontinental, inicialmente em um ambiente de mar raso, evoluindo para recifal e finalmente foi instaurado um sistema aluvial (Marini *et al.*, 1984a, Dardenne, 2000, D'Agrella-Filho *et al.*, 2000). A transgressão pós-glacial inundou o cráton, período no qual sedimentos pelíticos e carbonáticos foram depositados na porção basal do grupo Bambuí em uma área maior que 300.000 km². Essa associação sedimentar, que sucede a glaciação Jequitai, é repetida em três megaciclos regressivos numa sequência *swallowing upward*, cada um deles começando em uma transgressão marinha regional associada com a subsidência da bacia (Figura 5) (Dardenne, 2000). Cada megaciclo é evidenciado pela presença de fácies pelíticas marinhas profundas gradando para plataforma rasa e finalizando como sub-maré e supra-marés no topo da sequência.

Da base para o topo, esses mega ciclos estão arranados como:

Megaciclo I: calcário pelítico correspondente à Formação Sete Lagoas, formando uma sequência granocrescente ascendente com calcilutitos na base, gradando para dolomitos e calcários no topo. Na base, calcilutitos dolomíticos rosados com filmes argilosos são observados frequentemente, podendo passar, progressivamente, a calcilutitos cinza escuro ou preto. Os calcários geralmente se apresentam microcristalinos, cinza escuro ou preto, bem estratificados e homogêneos apesar de serem observados como lentes em escala regional. No topo, as fácies carbonáticas são predominantemente dolomíticas, sendo observados intraclastos e oólitos. Este primeiro ciclo termina com extensa exposição subaérea sendo marcada por estruturas tipo *tepee*, moldes de nódulos de sulfetos, dissolução de brechas e estromatólitos colunares e laminares.

Megaciclo II: tem início na Formação Serra Santa Helena, com sedimentos pelíticos na base e sinais de subsidência repentina, mas contínua, da bacia. A deposição dos pelitos foi seguida por calcários cinza escuro plataformais da Formação Lagoa do Jacaré, depositados em ambiente dominado por tempestades e marés.

Mega ciclo III: composto pela Formação Serra da Saudade, com sedimentos pelíticos e arenosos depositados em ambiente plataformal profundo com ocorrência episódica de tempestades na base da sequência; e pela Formação Três Marias no topo dominada por sedimentos arcóseos, depositados em ambiente plataformal raso influenciado por tempestade e ocorrência de marés e supra-marés. Os pelitos são esverdeados e possuem mica detrítica em camadas planas, enquanto os grãos arcóseos são esverdeados a avermelhados e ricos em plagioclásio e micas. Alguns fragmentos líticos vulcânicos, provenientes de um arco magmático de idade Brasileira, a leste são encontrados nesta sequência, sendo considerados sedimentos molássicos da bacia de *foreland*.

		Formação	Litologia	Sequência	Ambiente de sedimentação
Grupo Bambuí	Subgrupo Paraopeba	Três Marias (~100m)	Siltitos	Megaciclo I (argilo-arenosa)	Ambiente flúvio-continental. Ambiente marinho à sublitorâneo, alternante. Ambiente marinho agitado submetido à influência das ondas e correntes de maré: exposição subaérea temporária frequente na zona intermaré
			Arenitos		
			Arenitos arcóseos		
		Serra da Saudade (25-200m)	Folhelhos		
			Argilitos		
	Lagoa do Jacaré (0-100m)	Siltitos	Megaciclo II (argilo-carbonata)	Ambiente marinho litorâneo, agitado submetido a influência das ondas e correntes de maré	
		Calcário (lentes)			
		Calcário oolítico			
		Calcário psolítico			
		Siltitos			
Serra de Santa Helena (150-220m)	Margas	Megaciclo III (argilito-carbonatada)	Ambiente marinho sublitorâneo, abaixo do nível de base das ondas e correntes de maré, profundidade moderada		
	Folhelhos				
Sete Lagoas (200-250m)	Siltitos	Megaciclo III (argilito-carbonatada)	Ambiente marinho sublitorâneo, abaixo do nível de base das ondas e correntes de maré, profundidade moderada		
	Calário dolomítico				
	Calário micro-cristalino				
Dolomito com oólitos e estromatólitos					
Grupo Macaúbas		Jequitai (0-20m)	Paraconglomerado com seixos de quartzito, calcário, dolomito, cherts, gnaisses, micaxisto, granito e rocha vulcânica		Ambiente Glacial

Figura 5 - Coluna estratigráfica e de ambientes de sedimentação dos Grupos Bambuí e Macaúbas (Modificada por Santos, 2011)

1.5 REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F.; NEVES, B.B.B.; ALVES, J.A.C. Castro. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco-uma revisão. **O Cráton do São Francisco**, v. 1, p. 45-62, 1993.
- ALKMIM F.F., CHEMALE JR.F., ENDO I. A deformação das coberturas proterozoicas do Cráton do São Francisco e o seu significado tectônico. **Rev. Esc. Minas**, v.49, n .1, p . 22-38, 1996
- ALKMIM, FF. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 17-34. 2004
- ALKMIM F.F. & MARTINS-NETO M.A. A Bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, SBG/Núcleo MG, p. 9-30, 2001.
- ALKMIM, F. F., & MARTINS-NETO, M. A.. *Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil*. **Marine and Petroleum Geology**, v. 33, n. 1, p. 127-139, 2012.
- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Rev. Bras. Geoc.** v .7, p .349-364, 1977.
- ALMEIDA F.F.M., HASUI Y., BRITO NEVES B.B. and FUCK R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Sci Rev**, v . 17, p. 1–29, 1981.
- ALMEIDA F.F.M. **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida**. São Paulo. 647p. 2004.
- BABINSKI , M.; VIEI RA, L.C.; TRINDADE, R.I.F. *Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambuí Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events*. **Terra Nova**, v.19, p.1-6, 2007.
- BABINSKI, M. **Geocronologia das glaciações criogenianas do Brasil central**. 182p. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, 2011.
- BRITO NEVES, B.B., CAMPOS NETO, M.C. & FUCK, R.A.. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the BrasilianoPan African Cycle and orogenic collage. **Episodes**, v. 22, n .3, p. 155-166, 1999.
- CAMPOS NETO, M. C. *Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil*. **Tectonic Evolution of South America**, v. 31, p. 335-365, 2000.
- D'AGRELLA-FILHO, M.S.; BABINSKI, M.; TRINDADE, R.I.F.; VAN SCHMUS, W.R.; ERNESTO, M. *Simultaneous remagnetization and U-Pb isotope resetting in Neoproterozoic carbonates of the São Francisco Craton, Brazil*. **Precambrian Research**, v . 99, p .179-196, 2000.

- DARDENNE, M.A., THE BRASÍLIA FOLD BELT. *In*: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Tomas Filho, A. and CAMPOS, D.A., Editors, 2000. *Tectonic Evolution of South America. Proceedings of the XXXI INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Rio de Janeiro, p.231-263, 2000*
- GUIMARÃES, J. T. A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. *Unpublished Master Dissertation, IG-Federal University of Bahia, Salvador, Brazil*, p. 146, 1996.
- HETTICH, M. A glaciação Proterozóica no centro-norte de Minas Gerais Rev. **Bras. Geociênc.**, v. 7, p. 87–101, 1977
- ISOTTA, C.A.L., ROCHA-CAMPOS, A.C., YOSHIDA, R. Striated pavement of the upper Precambrian glaciation in Brazil. **Nature**, 222 (1969): 466–468, 1969.
- KARFUNKEL, B. & KARFUNKEL, J. Fazielle Entwicklung der mittleren Espinhaço-Zone mit besonderer Berücksichtigung des Tillit-Probles (Minas Gerais, Brasilien) **Geol. Jahrb.**, v. 24 pp. 3–91, 1977.
- KARFUNKEL, J. & HOPPE, A. Late Proterozoic glaciation in Central-Eastern Brazil: synthesis and model. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 65, p. 1–21, 1988.
- MARINI, J.O.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A.; LOGUÉRCIO, S.O.C.; RAMALHO, R. As Faixas de Dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. *In*: Schobbenhaus, C.; Diogenes, A.C.; Derge, G.R; Asmos, M.E. (coord.) Geologia do Brasil; **Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e Área Oceânica Adjacente, Incluindo Depósitos Minerais**, Escala 1:2.500.000. DNPM. 501p. 1984.
- PAULA-SANTOS, G.M., BABINSKI, M., KUCHENBECKER, M., CAETANO-FILHO, S., TRINDADE, R.I.F., PEDROSA-SOARES, A.C. *New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U–Pb data and isotope chemostratigraphy.* **Gondwana Research**, v.18, p.1-19, 2014.
- PEDROSA-SOARES A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P. & MONTEIRO, R.B.P. Discussão sobre novo modelo tectônico para a Faixa Aracuaí-Oeste Congolosa. **Rev. Esc. Minas**, v.45, p. 38-40, 1992a.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P.; MONTEIRO, R.B.P. & LEONARDOS, O.H. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 2, n.1/2, p. 33-47. 1992b.
- PFLUG, R. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes. **Bol. Dep. Nac. Prod. Min.**, Div. Geol. Min., v. 226, 51 pp. 1965.
- PFLUG, R. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. **Dep. Nac. Prod. Min.**, Div. Geol. Min., v.142, p. 20. 1968.

- PFLUG, R. & RENGER, F.E. Estratigrafia e evolução geológica da Margem SE do Craton Sanfranciscano. **Anais do 27 Cong. Bras. Geol.**, v. 2, p.5-19, 1973.
- PIMENTEL, M. M. ; RODRIGUES, J. B. ; DELLAGIUSTINA, M. E. S. ; JUNGES, S. ; MATTEINI, M. ; ARMSTRONG, R. *The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review.* **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- PIMENTEL, M. M. ; RODRIGUES, J. B. ; DELLAGIUSTINA, M. E. S. ; JUNGES, S. ; MATTEINI, M. ; ARMSTRONG, R. *The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review.* **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- PIMENTEL, M. *Zircon Provenance and the Tectonic Evolution of sedimentary basins in South America.* In: SSAGI, 2012, Medellin. **Abstracts**, 2012.
- SANTOS, T.C. Proveniência de sedimentos detríticos dos grupos Bambuí / Una, Bacia de Irecê – BA: Dados U-Pb por LA-ICPMS e SHRIMP. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2011.
- SÖFNER, B. Observações sobre a estratigrafia do Pré-Cambriano da Chapada Diamantina Sudeste e da área contígua. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA, CONGRESSO BRASILEIRA, 27, **Anais**, Aracajú, v. 1, p. 23–33, 1973.
- TULLER M. P., RIBEIRO J. H., SIGNORELLI N., FÉBOLI W. L., PINHO J. M. M. **Projeto Sete Lagoas-Abaeté: Folha Contagem (1:100.000).** Serviço Geológico do Brasil–CPRM, Belo Horizonte, 160p. 2010
- WALDE, D.H.G. Neue Hinweise für eine proterozoische Vereisung in stbrasilien Münster. **Forsch. Geol. Paleontol.**, v. 38–39, p. 47–59, 1976.
- WARREN, L. V., QUAGLIO, F., RICCOMINI, C., SIMÕES, M. G., POIRÉ, D. G., STRIKIS, N. M., ANELLI, L.E., STRIKIS, P. C. *The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil Cloudina reveals an old proto-Gondwana seaway.* **Geology**, v. 42, n. 5, p. 391-394, 2014.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 GRUPO BAMBUÍ

A primeira descrição, do que hoje conhecemos como Grupo Bambuí, segundo Costa *et al.* (1970), foi feita por Eschwege em 1832, que denominou as rochas “calcíferas e ardosianas” aflorantes a oeste do Rio São Francisco de “Übergangsgebirge”. A denominação Bambuí foi proposta por Rimann (1917), sendo aplicada aos sedimentos argilosos e carbonáticos neoproterozoicos que recobrem o Cráton São Francisco, o lado oriental da Faixa Brasília, e se estende por áreas de Goiás, Minas Gerais e Bahia, apresentando variações nos tamanhos das camadas carbonáticas e da espessura das formações (Almeida, 2004). A primeira tentativa de subdivisão foi feita por Freyberg (1932).

Os primeiros levantamentos estratigráficos foram realizados entre as décadas de 60 e 70. A primeira coluna estratigráfica foi apresentada por Costa & Branco, com a “série” Bambuí subdividida nas formações Carrancas (unidade basal), Sete Lagoas (intermediária) e Rio Paraopeba – unidade superior que incluía os membros Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Três Marias e Serra da Saudade. Esta “Série” foi elevada a categoria “Grupo” por Almeida (1967).

A coluna estratigráfica do grupo foi modificada ao longo dos anos por vários autores como Schöll (1976) que, mapeando a região entre a Serra do Espinhaço e Curvelo, modifica a divisão de Costa & Branco (1961) subdividindo a Formação Sete Lagoas em Fácies Carrancas, Pedro Leopoldo e Lagoa Santa. Grossi Sad & Quade (1985) retiram os calciofilitos da Formação Carrancas, posicionando-os em uma unidade chamada Formação Vespasiano, abandonando o termo Carrancas, que passaria a nomear apenas o conglomerado (Conglomerado Carrancas), pois, segundo Braun (1968), o conglomerado “... não poderia ser classificado como uma formação, pois é de espessura insignificante e não tem expressão areal, nem mesmo na própria localidade tipo”. Atualmente, utilizam-se as denominações originais de Costa & Branco (1961) com modificações.

Os estudos no Grupo Bambuí, baseados em análises faciológicas, paleogeográficas e de sistemas deposicionais, compreendem os trabalhos de Nobre-Lopes (1995, 2002), Lima (1997, 2000), Chiavegatto (1992), Chiavegatto *et al.* (1997), Chiavegatto & Dardenne (1997), Guimarães (1997), Seer *et al.* (1989), Chiavegatto *et al.* (2003) e Dominguez (1993). Diversos pesquisadores empenharam-se em definir o tipo de bacia em que se depositaram as rochas do Grupo Bambuí: Chang *et al.*, 1988; Martins- Neto *et al.* (1997); Thomaz Filho *et al.* (1998); Pinto & Martins-Neto (2001); Martins-Neto & Alkmim (2001); assim como na caracterização da evolução tectônica da bacia: Chang *et al.*, 1988; Castro, 1997, 2000; Alkmim *et al.*, 1989, 1993; Marshak & Alkmim, 1989; Uhlein, 1991; Chemale Jr *et al.*, 1993, *apud*: Vieira, L.C. *et al.*, 2007; Uhlein *et al.*, 1995; Martins-Neto, 1998; Castro & Dardenne, 1995, 2000; Carneiro *et al.*, 2000; Dardenne, 2000; Martins-Neto & Pedrosa- Soares, 2000; Martins-Neto *et al.*, 2001; Coelho *et al.*, 2006 e Pinho *et al.*, 2006. Diversos trabalhos focalizaram a área da geocronologia com obtenção de idades e outros na quimioestratigrafia, entre os quais Iyer, 1984; Iyer *et al.*, 1995; Chang *et al.*, 1993; Misi, 1993, 2001; Misi *et al.*, 2003, 2007; Misi & Veizer, 1996; Santos *et al.*, 1996, 1997, 2000; Alvarenga *et al.*, 1998, 2003, 2005; Babinski, 1993, 2001, 2005; Babinski *et al.*, 1999, 2007; Misi *et al.*, 2007; Babinski & Kaufman, 2003; Kaufman *et al.*, 2003; Vieira *et al.*, 2005, Rodrigues, 2008.

A evolução metalogenética também é enfoque de trabalhos no Grupo Bambuí os quais tentam modelar a gênese das mineralizações sulfetadas: Beurlen, 1973; Lopes, 1979; Iyer *et al.*, 1992; Chang, 1997; Misi, 1999; Misi *et al.*, 2000, 2004, 2005; Nobre-Lopes, 2002, 2005). Já os depósitos de fosfato foram estudados por Chaves *et al.* (1971) e, mais recentemente, por Araújo *et al.* (1992), Misi *et al.* (2005, 2006a, 2006b), Lima *et al.* (2005) e Gomes *et al.* (2006). A geofísica também está sendo utilizada na tentativa de solucionar alguns dos problemas pendentes sobre a Bacia do São Francisco. Dentre eles destacam-se os de Figueiredo & Trindade (2003), Vieira *et al.* (2004), Pinto *et al.* (2005) e Raposo *et al.* (2005).

Em relação aos trabalhos mais recentes, Cunha (2012) aplicou quimioestratigrafia como ferramenta de datação indireta, chegando a idades mais jovens, ca. 630Ma nos carbonatos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. Por sua vez, Reis (2013) desenvolveu um estudo detalhado de fácies sedimentares, aplicando isótopos estáveis. Seus resultados, obtidos de perfis levantados na Bahia,

evidenciaram a existência de duas sequencias deposicionais de 2ª ordem. Já Warren *et. al.* (2014), relata a presença de fósseis índice do Ediacarano, em uma região ao norte de Minas Gerais, na Formação Sete Lagoas. Em um dos trabalhos mais recentes, Paula-Santos *et. al.*(2014), questiona a relação entre as datações indiretas com a utilização de razões de estrôncio para o Grupo Bambuí, sugerindo idades mais recentes, evidenciadas pela presença de zircões mais jovens que 550Ma, cuja importância já havia sido reconhecida por Pimentel *et al.* (2011, 2012).

Tabela 1 Tabela síntese dos principais trabalhos sobre o Grupo Bambuí e os tópicos abordados pelos autores.

Tópico	Referências
Primeira descrição	Eschwege (1832)
Denominação "Bambuí"	Rimann (1917)
Primeira Subdivisão	Freyberg (1932)
Primeira coluna estratigráfica	Costa & Branco (1961)
Elevado a categoria Grupo	Almeida (1967)
Modificações na coluna estratigráfica	Schöll (1976), Grossi Sad & Quade (1985)
Análises faciológicas, paleogeografias e de sistemas deposicionais	Nobre-Lopes (1995, 2002), Lima (1997, 2000), Chiavegatto (1992), Chiavegatto <i>et al.</i> (1997), Chiavegatto & Dardenne (1997), Guimarães (1997), Seer <i>et al.</i> (1989), Chiavegatto <i>et al.</i> (2003) e Dominguez (1993)
Tipo e evolução tectônica da bacia	Chang <i>et al.</i> , 1988; Martins- Neto <i>et al.</i> (1997); Thomaz Filho <i>et al.</i> (1998); Pinto & Martins-Neto (2001); Martins-Neto & Alkmim (2001), Chang <i>et al.</i> , 1988; Castro, 1997, 2000; Alkmim <i>et al.</i> , 1989, 1993; Marshak & Alkmim, 1989; Uhlein, 1991; Chemale Jr <i>et al.</i> , 1993, apud: Vieira, L.C. <i>et al.</i> , 2007; Uhlein <i>et al.</i> , 1995; Martins-Neto, 1998; Castro & Dardenne, 1995, 2000; Carneiro <i>et al.</i> , 2000; Dardenne, 2000; Martins-Neto & Pedrosa- Soares, 2000; Martins-Neto <i>et al.</i> , 2001; Coelho <i>et al.</i> , 2006 e Pinho <i>et al.</i> , 2006
Geocronologia e quimioestratigrafia	Iyer, 1984; Iyer <i>et al.</i> , 1995; Chang <i>et al.</i> , 1993; Misi, 1993, 2001; Misi <i>et al.</i> , 2003, 2007; Misi & Veizer, 1996; Santos <i>et al.</i> , 1996, 1997, 2000; Alvarenga <i>et al.</i> , 1998, 2003, 2005; Babinski, 1993, 2001, 2005; Babinski <i>et al.</i> , 1999, 2007; Misi <i>et al.</i> , 2007; Babinski & Kaufman, 2003; Kaufman <i>et al.</i> , 2003; Vieira <i>et al.</i> , 2005, Rodrigues, 2008.
Evolução Metalogenética	Beurlen, 1973; Lopes, 1979; Iyer <i>et al.</i> , 1992; Chang, 1997; Misi, 1999; Misi <i>et al.</i> , 2000, 2004, 2005; Nobre-Lopes, 2002, 2005).

Depósitos de Fosfato	Chaves <i>et al.</i> (1971), <i>al.</i> (1992), Misi <i>et al.</i> (2005, 2006a, 2006b)
Geofísica	Figueiredo & Trindade (2003), Vieira <i>et al.</i> (2004), Pinto <i>et al.</i> (2005) e Raposo <i>et al.</i> (2005).
Dados mais recentes	Pimentel <i>et al.</i> , 2011, 2012, Cunha, 2012; Reis, 2013; Warren <i>et al.</i> , 2014, Paula-Santos <i>et al.</i> , 2014

2.2 FÓSSEIS ÍNDICE DO EDIACARANO

2.2.1 GÊNERO *CLOUDINA*

Esqueletos mineralizados apareceram nos últimos 10 Ma do Ediacarano, e sua diversidade foi sumarizada por Bengtson (2005). O gênero *Cloudina* foi primeiramente descrito na Namíbia, no Grupo Nama (Germs, 1972; Grant, 1990), e tem sido reportado globalmente em carbonatos do Ediacarano superior, incluindo Formações de Oman (Conway Morris *et al.*, 1990), Sul da China (Hua *et al.*, 2005), sudeste dos Estados Unidos (Signor *et al.*, 1987), México (McMenamin, 1985; Sour-Tovar *et al.*, 2007), Columbia Britânica (Hofmann and Mountjoy, 2001), Sibéria (Kontorovich *et al.*, 2008), e Espanha (Palacios, 1989; Vidal *et al.*, 1994).

Segundo Waggoner (2003), a distribuição paleogeográfica desses fósseis estaria centrada no Equador, com forte padrão, descoberto na Sibéria (Kontorovich *et al.*, 2008). Datações U-Pb em zircões detríticos de ocorrências na Namíbia e em Oman apresentam idades de ca. 548Ma e 542Ma (Grotzinger *et al.*, 1995; Amthor *et al.*, 2003), e o contexto quimioestratigráfico sugere uma idade comparável ao Ediacarano Superior (Corsetti and Hagadorn, 2003; Steiner *et al.*, 2007). Desta forma, segundo Grant, (1990), *Cloudina* é considerado um fóssil índice do Ediacarano superior. O autor mostrou que os esqueletos têm estruturas características que consistem em numerosos cones em forma de “ninho” com paredes finas, onde cada cone seria um elemento secretado independentemente com paredes e base. Portanto, *Cloudina* foi reconstruído como um tubo curvo com paredes complexas que consistem em diversas camadas e sucessivas rebarbas (Grant, 1990).

Cloudina é comparado a anelídeos tubulares (Glaessner, 1976; Hua *et al.*, 2005) e as duas espécies mais comumente repostadas são *Cloudina hartmannae*, e *Cloudina riemenkae* (Grant, 1990; Hua *et al.*, 2005). Entretanto diversas novas

espécies tem sido descritas, especialmente na China (Steiner *et al.*, 2007). Este táxon aparentemente ocupa locais com baixa energia, protegidos por acúmulos de microbiais ou por bancos de óoides, em áreas circundantes (Conway-Morris *et al.*, 1990; Grotzinger *et al.*, 2000; Hofmann and Mountjoy, 2001; Oliveira, 2010; Wood, 2011).

No Brasil, no Paraguai, no Uruguai e na Argentina, também são encontrados fósseis de metazoários como *Cloudina* (Zaine e Fairchild, 1987; Meira, 2011) e *Corumbella* (Pacheco *et al.*, 2011; Warren *et al.*, 2012).

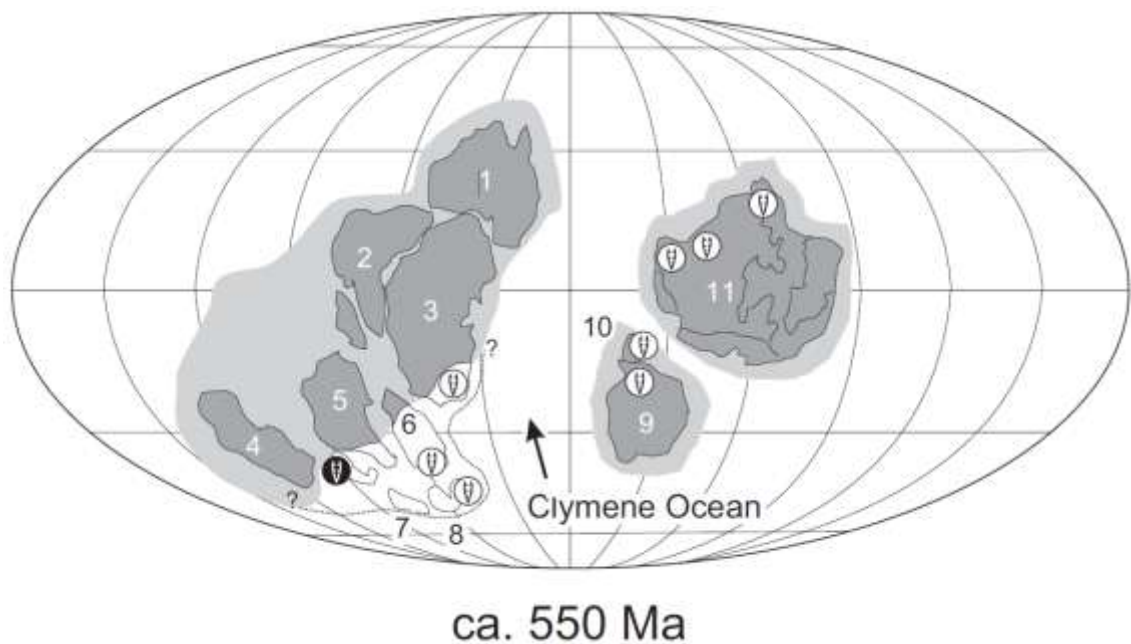


Figura 6 - Paleo-reconstrução do Oceano Clymene e as ocorrências de *Cloudina* A ocorrência do fóssil no Grupo Bambuí é mostrada em preto. 1-Austrália, 2-Índia, 3-Antártica, África do 4-Oeste, 5-Congo-São Francisco, 6- Kalahari, 7-Paraná, 8-Rio de la Plata, 9-Amazônia, 10-Rio Apa, 11-Laurentia. (Warren *et al.*, 2014).

Segundo Kerber *et al.* (2013), as primeiras ocorrências de *Cloudina* no Brasil foram relatadas por Beurlen e Sommer (1957), na Formação Tamengo (Grupo Corumbá), quando foram descritos como algas da espécie *Aulophycus lucianoi*. Zaine e Fairchild (1985) e Hahn e Pflug (1985) contataram a similaridade desta ocorrência com o gênero *Cloudina* descrito por Germs (1972), entretanto o trabalho de Zaine e Fairchild (1985) propôs a combinação nova *Cloudina lucianoi*, enquanto Hahn e Pflug (1985) atribuíram um novo nome: *Cloudina waldei*. Zaine e Fairchild (1987) colocaram *C. waldei* como sinônimo júnior de *C. lucianoi*. Conway Morris *et*

al. (1990) argumentou que o fóssil “*Aulophycus luciano*” não estaria no âmbito da International Commission on Zoological Nomenclature (ICZN) e *Cloudina waldei* seria a nomenclatura válida.

Zaine (1991) observou alguns aspectos tafonômicos, e Meira (2011) detalhou estes conhecimentos tafonômicos, deposicionais e estratigráficos, aumentando, inclusive, a zona estratigráfica de ocorrência do fóssil para a Formação Guaicurus. Além disso, o autor também descreveu uma possível nova espécie.

Segundo Kerber *et al.* (2013), gênero *Cloudina* também foi encontrado em outras três localidades na América do Sul. No nordeste do Paraguai (Grupo Itapucumi) (Boggiani e Gaucher, 2004) a espécie relatada foi *Cloudina luciano*. *Cloudina* também foi encontrada no Uruguai por Gaucher e Sprechmann (1998) e Gaucher e Sprechmann (1999), na Formação Yermal do Grupo Arroyo del Soldado e foram atribuídos a uma das espécies de menor tamanho do gênero *Cloudina*, *C. riemkeae*. Esses fósseis apresentaram características não encontradas anteriormente para a espécie, como espinhos e brotamento.

A espécie, *Cloudina riemkeae* também foi registrada na Formação Polanco por Gaucher *et al.* (2005) que correlacionou o Grupo Arroyo del Soldado (Uruguai) ao Grupo Sierras Bayas (Argentina), e divulgou, de forma preliminar, a presença do gênero *Cloudina* na Formação Loma Negra, Grupo Sierra Bayas.

2.2.2 GÊNERO *CORUMBELLA* (HAHN *et al.*, 1982)

Corumbella weneri foi, inicialmente, documentada em Mato Grosso do Sul (Hahn *et al.*, 1982; Walde *et al.*, 1982), ocorrendo na mesma formação que o fóssil *Cloudina*. Outros registros também foram observados nos arenitos de Great Basin (Hagadorn e Waggoner, 2000) e nos *grainstones* e *mudstones* do Grupo Itapucumi, no Paraguai (Warren *et al.*, 2011; 2012).

As primeiras descrições e interpretações sistemáticas e paleoecológicas desse táxon foram realizadas por Hahn *et al.* (1982). Estudos recentes designaram seguramente *C. weneri* ao filo Cnidaria, classe Schyphozoa, com afinidades com conulários e coronados (Babcock *et al.*, 2005; Pacheco *et al.*, 2010b; Pacheco *et al.*, 2011c; Pacheco *et al.*, 2011b; Pacheco, 2012). Os atributos de *Corumbella* podem

remeter esse táxon aos grupos dos mais antigos conulários paleozoicos (Yi *et al.*, 1997) e neoproterozoicos afins (Ivantsov e Fendokin, 2002; Van Iten *et al.*, 2013).

O gênero *Corumbella* está entre os primeiros metazoários a realizar esqueletogênese orgânica ou fracamente mineralizada (Pacheco *et al.*, 2011; Warren *et al.*, 2012) e as conchas de *Cloudina* representam o mais antigo animal com esqueleto biomineralizado (Bengtson e Zhao, 1992; Hua *et al.*, 2003). Nesse sentido, estes metazoários refletem grande importância no estabelecimento das relações ecológicas e suas consequências nas inovações morfológicas e diversidade biológica (Warren *et al.*, 2012).

2.3 REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F.; CHEMALE Jr., F.; BACELLA R, L.A.P.; OLIVEIRA, J.R.P.; MAGALHÃE S, P.M. Arcabouço estrutural da porção sul da Bacia do São Francisco. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5, 1989, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, p.289-293, 1989.
- ALKMIM, F.F.; NEVE S, B.B. de B.; ALVE S, J.A.C. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – Uma Revisão. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, p.45-62, 1993.
- ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim DNPM/DGM**, Rio de Janeiro, n. 241, p.36, 1967.
- ALMEIDA F.F.M. 2004, **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida**. São Paulo. 647p. 2004.
- ALVARENGA, C.J.S.; SANTO S, R.V.; CADAMURO, A.L.M.; CUNHA FILHO, E.M.; BROD, E.R. Aplicação de isótopos estáveis ($\delta^{13}C$ e $\delta^{18}O$) nas correlações estratigráficas entre os grupos Paranoá e Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1998, Salvador. **Boletim de Resumos Expandidos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.4, 1998.
- ALVARENGA, C.J.S.; SANTO S, R.V.; DANTAS, E.L.; BROD, E.R., GIOIA, S.M.C.L. C, O and Sr isotope in the cap carbonate sequence overlying Sturtian-Rapitan and Varanger-Marinoan glacial events in Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, **Short Papers** Salvador, p.313-316, 2003.
- ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; GIUSTINA, M.E.S.; SANTO S, R.V.; GIOIA, S.M.C.L.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V. *Integrated chronostratigraphy based on sedimentology and C, Sr isotopes, Paranoá and Bambuí groups western borders of São Francisco Craton, Brazil*. In: *Symposium on Neoproterozoic Early Paleozoic Events in southwestern Gondwana*, 2, 2005, Windhoek. **Extended Abstract**. Windhoek: Geological Survey of Namibia, p.5-7, 2005.
- ARAÚJO, P.R.R.; FLICOTEAUX, R.; PARRON, C.; TROMPETTE, R. *Phosphorite of Rocinha mine-Patos de Minas (Minas Gerais, Brazil): genesis and evolution of a Middle Proterozoic deposit tectonized by the Brasiliano Orogeny*. **Economic Geology, Lancaster**, v.87, p.332-351, 1992.
- BABCOCK, L. E., GRUNOW, A. M., SADOWSKI, G. R., & LESLIE, S. A. Corumbella an Ediacaran-grade organism from the Late Neoproterozoic of Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 220, n. 1, p. 7-18, 2005.
- BABINSKI, M. Idades isocrônicas Pb-Pb e geoquímica isotópica de Pb das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, na porção sul da Bacia do São Francisco.

1993. 150p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- BABINSKI, M.; VANSCHUMS, W.R.; CHEMALE Jr., F. *Pb-Pb dating and Pb isotope geochemistry of Neoproterozoic carbonate rocks from the São Francisco basin, Brazil: implications for the mobility of Pb isotopes during tectonism and metamorphism. **Chemical Geology**, Amsterdam v.160, n.3, p.175-99, 1999*
- BABINSKI, M. *Pb isotopes on carbonate rocks: implication for the evolution of the São Francisco basin. In: CONTRIBUTIONS PRESENTED AT THE 1ST IGCP 450 FIELD WORKSHOP. Belo Horizonte e Paracatu, p.38-40, 2001.*
- BABINSKI, M.; KAUFMAN, A. J. *First direct dating of a Neoproterozoic post-glacial cap carbonate. In: South American Symposium on Isotope Geology, **Short Papers**, Salvador, p.321-323, 2003.*
- BABINSKI, M. A idade do Supergrupo São Francisco: Revisão e implicações nas glaciações neoproterozóicas. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3, 2005, Salvador. **Short Papers...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. CD-ROM.
- BABINSKI, M.; VIEIRA, L.C.; TRINDADE, R.I.F. *Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambuí Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events. **Terra Nova**, v.19, p.1-6, 2007.*
- BENGTSON, S.; ZHAO, Y.. *Predatorial borings in late Precambrian mineralized exoskeletons. **Science**, v. 257, n. 5068, p. 367-369, 1992.*
- BENGTSON, S. *Mineralized skeletons and early animal evolution. In: Evolving form and function: fossils and development. **Proceedings of a symposium honoring Adolf Seilacher for his contributions to paleontology, in celebration of his 80th birthday. Peabody Museum of Natural History, New Haven, Connecticut. p.101-124, 2005.***
- BEURLEN, K., SOMMER, W.F. Observações estratigráficas e paleontológicas sobre o calcário Corumbá. DNPM, 1957.
- BEURLEN, H. Ocorrências de chumbo, zinco e fluorita nas rochas sedimentares do precambriano superior no Grupo Bambuí em Minas Gerais (Brasil Central) [Tradução do autor]. 1973. 165 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Naturais, Universidade Karl Ruprecht, Heidelberg, 1973.
- BOGGIANI, P.C., GAUCHER, C., *Cloudina from the Itapucumi Group (Vendian, Paraguay): age and correlations. In: 1st Symposium on Neoproterozoic – Early Paleozoic Events in SW-Gondwana, 2004.*
- BRAUN, O.P.G. Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, p.155-166, 1968.
- CARNEIRO, M.A.; OLIVEIRA, A.H.; FERNANDES, R.A.; TEIXERA, W. *Recent advances concerning the tectonic evolution of the southern portion of the São Francisco Craton, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS.*

Abstracts... Sociedade Brasileira de Geologia. Rio de Janeiro, p. 324-5, 2000.

- CASTRO, P.T.A.; DARDENNE, M.A. O conglomerado Samburá (Grupo Bambuí, Proterozóico Superior) e rochas sedimentares associadas no flanco leste da Serra da Pimenta, SW de Minas Gerais: sedimentação associada à inversão tectônica na porção meridional externa da Faixa Brasília. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, 1995, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia/ Núcleo RS – Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGQ-UFRGS), p.274-276, 1995.
- CASTRO, P.T.A. Os conglomerados da borda SW do Craton do São Francisco junto à porção S da Faixa Brasília: sedimentologia e relações estratigráficas com as rochas do Grupo Bambuí. 1997. 264 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- CASTRO, P.T.A. *The sedimentology, stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southwestern boundary of the São Francisco Craton.* **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.30, n.1, p.345-347, 2000.
- CHANG, H.K.; MIRANDA, F.P.; MAGALHÃES, L.; ALKMIM, F.F. Considerações sobre a evolução tectônica da Bacia do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém, **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, v.5, p.2076-2090, 1988.
- CHANG, H.K.; KAWASHITA, K.; ALKMIM, F.F.; MOREIRA, M.Z. Considerações sobre a estratigrafia isotópica do Grupo Bambuí. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, p.195-196, 1993.
- CHANG, H.K. Isótopos estáveis (C,H,O) e $87\text{Sr}/86\text{Sr}$: implicações na estratigrafia e na paleocirculação de fluidos na Bacia do São Francisco. 1997, Tese (Livro-Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.
- CHAVES A.G.; HEINECK, C.A.; TAVARES, W.P. Projeto Cedro do Abaeté; relatório final. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 67p, 1971.
- CHIAVEGATO, J.R.S. Análise estratigráfica das seqüências tempestíticas da Formação Três Marias (Proterozóico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco. 1992. 216p. Tese (Mestrado) - Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1992.
- CHIAVEGATO, J.R.S.; DARDENNE, M.A. Contribuição à sedimentologia e estratigrafia do Grupo Bambuí no norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9, 1997, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, p.81-82, 1997
- CHIAVEGATO, J.R.S.; GOMES, N.S.; DARDENNE, M.A. Estratigrafia do Grupo Bambuí na região norte de Minas Gerais: Uma nova unidade estratigráfica e um contexto de inversão de bacia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS

- GERAIS, 12, 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, 2003. 1 CD-ROM.
- COELHO, J.C.C.; MARTINS-NETO, M.A.; MARINHO, M.S. Estilos estruturais e evolução tectônica da porção mineira da bacia Proterozóica do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracajú, **Anais...** Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.16. 2006.
- COSTA, M.T.; BRANCO, J.J.R. Roteiro Geológico Belo Horizonte-Brasília. Publ. Instituto de Pesquisas Radioativas. Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, n.15, p. 9-25, 1961
- COSTA, L.A.M. da; ANGEIRAS, A.C.; VALENÇA, J.G.; STEVENAZZI, V. Novos conceitos sobre o Grupo Bambuí e sua divisão em tectonogrupos. **Boletim Instituto de Geociências**. Rio de Janeiro, v.5, p.3-34. 1970.
- CUNHA, R.B. Químioestratigrafia $^{87}\text{SR}/^{86}\text{SR}$ das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Trabalho de conclusão. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.
- DARDENNE, M.A. The Brasilia Fold Belt In: TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA - INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, p.231-264, 2000.
- OLIVEIRA, R. S. DEPÓSITOS DE RAMPA CARBONÁTICA EDIACARANA DO GRUPO CURUMBÁ, REGIÃO DE CURUMBÁ, MATO GROSSO DO SUL. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. 2010.
- DOMINGUEZ, J.M.L; MISI, A. (Eds). As coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993.
- FIGUEIREDO, F.T. & TRIN DADE, R.I.F. Sedimentação após a Snowball Earth: magnetoestratigrafia da Pedreira Samba (Sete Lagoas, MG). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IAG/USP, 8, 2003, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP, p.30, 2003.
- FREYBERG, B. *Ergebnisse geologische Forschung in Minas Geraes (Brasilien)*. *Neues Jb. Min. Paleon., II*, 401, 1932. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 19, 1965, Rio de Janeiro. **Anais...** [Traduzido por CAMPOS, J.M. para o Simpósio das Formações Eopaleozóicas do Brasil, 223p. 1932.
- GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. *Upper Vendian skeletal fauna of the Arroyo del Soldado Group, Uruguay*. **Beringeria**, v. 23, p. 55-91, 1999
- GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. *Grupo Arroyo del Soldado: paleontología, edad y correlaciones (Vendiano-cámbrico Inferior, Uruguay)*. **Actas del II Congreso Uruguayo de Geología, Punta del Este, Uruguay**, p. 183-187, 1998.
- GAUCHER, C., POIRÉ, D. G., GÓMEZ, P. L., & CHIGLINO, L. Litoestratigrafía, bioestratigrafía y correlaciones de las sucesiones sedimentarias del

- Neoproterozoico-Cámbrico del Cratón del Rio de la Plata (Uruguay y Argentina). **Latin American journal of sedimentology and basin analysis**, 2005.
- GERMS, G.J.B. *New shelly fossils from Nama Group, south west Africa*. **American Journal of Science**, v. 272, n. 8, p. 752-761, 1972.
- GLAESSNER, M. F. *Early Phanerozoic annelid worms and their geological and biological significance*. **Journal of the Geological Society**, v. 132, n. 3, p. 259-275, 1976.
- GOMES, A.S.R.; COELHO, C.E.S.; MISI, A. Estudo de inclusões fluidas das mineralizações sulfetadas de Pb-Zn hospedadas em carbonatos de Serra do Ramalho (BA) e Montalvânia (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracajú, **Anais...** Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.124, 2006.
- GRANT, S. W. *Shell structure and distribution of Cloudina, a potential index fossil for the terminal Proterozoic*. **American Journal of Science**, v. 290, p. 261-294, 1989.
- GROSSIAD, J.H.; QUADRO, H. Revisão estratigráfica do Grupo Bambuí (Bloco Oriental), em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Minas Gerais, CNPq, SEME, 1985. p.68-83.
- GROTZINGER, J. P.; WATTERS, W. A.; KNOLL, A. H. *Calcified metazoans in thrombolite-stromatolite reefs of the terminal Proterozoic Nama Group, Namibia*. 2009.
- GUIMARÃES, E.M. Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos Grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra-Cabeceiras (Go). 1997. 270p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- HAGADORN, J. W.; WAGGONER, B. *Ediacaran fossils from the southwestern Great Basin, United States*. **Journal Information**, v. 74, n. 2, 2000.
- HAHN, G., HAHN, R., LEONARDOS, O. H., PFLUG, H. D., & WALDE, D. H. G. *Körperlich erhaltene Scyphozoen-Reste aus dem Jungpräkambrium Brasiliens*. **Geologica et Palaeontologica**, v. 16, p. 1-18, 1982.
- HOFMANN, H. J.; MOUNTJOY, E. W. *Namacalathus-Cloudina assemblage in Neoproterozoic Miette Group (Byng Formation), British Columbia: Canada's oldest shelly fossils*. **Geology**, v. 29, n. 12, p. 1091-1094, 2001.
- HUA, H.; PRATT, B. R.; ZHANG, L. *Borings in Cloudina shells: complex predator-prey dynamics in the terminal Neoproterozoic*. **Palaos**, v. 18, n. 4-5, p. 454-459, 2003.
- HUA, H., CHEN, Z., YUAN, X., ZHANG, L., XIAO, S. *Skeletogenesis and sexual reproduction in the earliest biomineralizing animal Cloudina*. **Geology**, v.33, p. 277-280, 2005.

- IVANTSOV, A. Y.; FEDONKIN, M. A. *Conulariid-like fossil from the Vendian of Russia: a metazoan clade across the Proterozoic/Palaeozoic boundary*. **Palaeontology**, v. 45, n. 6, p. 1219-1229, 2002..
- IYER, S.S. *A discussion on the lead isotope geochemistry of galenas from the Bambuí Group, Minas Gerais, Brazil*. **Mineralium Deposita**, Berlim, v.19, p.132-137, 1984.
- IYER, S.S.; HOEFS, J.; KROUSE, H.R. *Sulfur and lead isotope geochemistry of galenas from the Bambuí Group, Minas Gerais, Brazil: implications for ore genesis*. **Economic Geology**, v.87, p.737-743, 1992
- IYER, S.S.; BABINSKI, M.; KROUSE, H.R.; CHEMALE Jr., F. *Highly ¹³C enriched carbonate and organic matter in the Neoproterozoic sediments of the Bambuí Group, Brazil*. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.73, p.271-282, 1995.
- KAUFMAN, A.J.; VARNI, M.A.; HEBERT, C.L.; WING, B.; BABINSKI, M.; HALVERSON, G.P.; CORSETTI, F.A. *Carbon isotopic evidence for Neoproterozoic glacial cycles driven by iron- and phosphorus-stimulated productivity*. In: **SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY**, 4, 2003, Salvador. **Short Papers**, p.359-360, 2003.
- KERBER, B. B., ROSA, A. L. Z. D., GABAS, S. G., LEME, J. D. M., & PACHECO, M. L. A. F. *O registro fossilífero de metazoários ediacaranos na América do Sul e suas implicações nos estudos sobre origem e complexificação da vida animal*. **Geologia USP. Série Científica**, v. 13, n. 3, p. 51-64, 2013.
- KONTOROVICH, A. E., VARLAMOV, A. I., GRAZHDANKIN, D. V., KARLOVA, G. A., KLETS, A. G., KONTOROVICH, V. A., ... & FILIPPOV, Y. F. *A section of Vendian in the east of West Siberian Plate (based on data from the Borehole Vostok)*. **Russian Geology and Geophysics**, v. 49, n. 12, p. 932-939, 2008.
- LIMA, O.N.B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. *Geologia dos depósitos fosfáticos do Grupo Bambuí na Serra da Saudade, Cedro do Abaeté, Minas Gerais*. In: **SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO**, 3, 2005, Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia, **Short Papers**, 2005. 1 CD-ROM.
- LIMA, S.A.A. *Fácies, ambiente deposicional e aspectos diagenéticos das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região norte de Minas Gerais, Bacia do São Francisco*. 1997, 121p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 1997.
- LIMA, S.A.A. *Facies and depositional environment of carbonate rocks of Sete Lagoas Formation, São Francisco Basin, Brazil*. In: **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SEDIMENTOLOGIA Y VIII REUNIÓN ARGENTINA DE SEDIMENTOLOGIA**, 2, 2000, Mar del Plata. **Resúmenes...** Mar del Plata: v.1, p.99, 2000.
- LOPES, O.F. *Minéralisations en plomb, zinc et fluorine encaissées dans le Groupe Bambuí du Proterozoïque Supérieur de la région d'Itacarambi (Minas Gerais, Brésil)*. 1979, 210 p. These (Docteur en Géologie Appliquée) - Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 1979.

- MARSHAK , S.; ALK MIM, F.F. *Proterozoic contraction/ extention tectonics of southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics***, v.8, n. 3, p.555-571, 1989.
- MARTINS-NETO , M. A. ; CASTRO, P. T. A. ; HERCOS, C. M. . O Supergrupo São Francisco (Neoproterozóico) no Cráton do São Francisco em Minas Gerais. In: Boletim do SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9, Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia-MG, boletim nº 14, p.22-24, 1997.
- MARTINS-NETO , M.A. *Mantle plume, rifting and the early Neoproterozoic glaciation in the São Francisco craton and the Araçuaí fold belt, southeastern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECAMBRIAN CRATON TECTONICS, 14 – INTERNATIONAL CONFERENCE ON BASEMENT TECTONICS, Abstracts*, Ouro Preto. p.32-34. 1998.
- MARTINS-NETO , M. A. ; PEDROSA-SOARES, A. C. . *Superposition of sedimentary basin cycles from late Paleoproterozoic to late Neoproterozoic in the São Francisco Craton and Araçuaí fold belt, eastern Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro, Abstracts...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, p.78, 2000.
- MARTINS-NETO , M.A.; TULLER, M.P.; RIBEIRO, J.H. Bambuí Group, Sete Lagoas área, southeastern Bambuí Basin. In: MISI, A. & TEIXEIRA, J.B. (Org.). *Proterozoic Base Metal Deposits of Africa and South America. Contributions presented at the 1st Field Workshop, International Geological Correlation Programme 450 IGCP*, p.105-114, Belo Horizonte e Paracatu, Brazil. 2001.
- MARTINS-NETO, M.A.; ALK MIM, F.F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozoicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: registros da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. In: PINTO , C.P.; MARTINS-NETO , M.A. (Eds.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos minerais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia-MG, CBMM, COMIG, **GEO SOL** , p.31- 54. Cap. 3, 2001.
- MEIRA, F. V. E. Caracterização tafonômica e estratigráfica de *Cloudina lucianoi* (Beurlen & Sommer, 1957) Zaine & Fairchild, 1985, no Grupo Corumbá, Ediacarano do sudoeste do Brasil. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências-USP.
- MISI, A.; VEIZER, J. *Chemostratigraphy of Neoproterozoic carbonate sequences of the Una Group, Irecê Basin*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 39, 1996, Salvador, **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v.5, p. 487- 489, 1996
- MISI, A. Um modelo de evolução metalogenética para os depósitos de zinco e chumbo hospedados em sedimentos proterozóicos de cobertura do Cráton do São Francisco (Bahia e Minas Gerais). 1999. 151p. Tese (Professor titular) - Instituto de Geociências. Universidade da Bahia, Salvador, 1999.
- MISI, A.; IYER, S.S.; KYLE , J.R.; COELHO, C.E.S.; TASSINARI, C.G.G.; FRANCA-ROCHA, W.J.S.; GOMES, A.S.R.; CUNHA, I.A.; TOULKERIDIS, T; SANCHEZ, A.L. *A metallogenic evolution model for the lead-zinc deposits of the Meso and Neoproterozoic sedimentary basin of the São Francisco Craton*,

Bahia and Minas Gerais, Brazil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.30, n.2, p.302-305, 2000.

- MISI, A. Estratigrafia isotópica das sequências do Supergrupo São Francisco, Coberturas Neoproterozóicas do Cráton do São Francisco. Idade e Correlações. In: PINTO, C.P.; MARTIN S-NETO, M.A. (Eds.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia-MG, CBMM, COMIG, GEO SOL, p.67- 92. Cap.5. 2001.
- MISI, A., TEIXEIRA, J.B.G., GAUCHER, C., REMUS, M.V.D., BOGGIANI, P.C. AND IYER, S.S. *Chemostratigraphic correlation of the Neoproterozoic sequences from South America*. In: *SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4, 2003, Salvador. **Short Papers**, p.368-371, 2003.
- MISI, A.; IYER, S.S.; TASSINARI, C.G.G.; FRANCA-ROCHA, W.J.S.; COELHO, C.E.S.; CUNHA, I.A.; GOMES, A.S.R. Dados isotópicos de chumbo e zinco em sulfetos e a evolução metalogenética dos depósitos de zinco e chumbo das coberturas neoproterozóicas do Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.34, p.263-274, 2004.
- MISI, A.; SANCHES, A.L.; KAUFMAN, A. J.; VEIZE R, J.; AZMY, K.; POWIS, K.; TEIXEIRA, J. B. G. *Phosphorites and the chemostratigraphic correlations of the Neoproterozoic sequences of the São Francisco Craton and the Brasília Fold Belt*. In: *SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO*, 3, 2005, Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia, **Short Papers**, 2005. 1 CDROM.
- MISI, A.; SANCHES, A.L.; KAUFMAN, A. J.; AZMY, K. As seqüências carbonáticas neoproterozóicas do Cráton do São Francisco e os depósitos de fosfato. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 43, 2006, Aracajú, **Anais...** Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.157. 2006a
- MISI, A.; SANCHES, A.L.; KAUFMAN, A. J.; VEIZE R, J.; AZMY, K.; POWIS, K.; TEIXEIRA, J. B. G. $\delta^{13}C$ and $87Sr/86Sr$ of phosphorites from Neoproterozoic sequences of the São Francisco Craton, Brazil: phosphogenesis and correlations. In: *SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 5 (V SSAGI). Punta del Este - Uruguay. **Short Papers**, 2006b.
- MISI, A.; KAUFMAN, A.J.; VEIZE R, J.; POWIS, K.; AZMY, K.; BOGGIANI, C.P.; GAUCHER, C.; TEIXEIRA, J.B.G.; SANCHES, A.L.; IYER, S.S. *Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America*. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.237, n.1-2, p.143-167, 2007.
- MORRIS, S. C.; MATTES, B. W.; CHEN, M. *The early skeletal organism Cloudina: new occurrences from Oman and possibly China*. **American Journal of Science**, p. 245-260, 1990.
- NOBRE-LOPES, J. Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais. 1995. 166p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

- NOBRE-LOPES, J. *Diagenesis of the dolomites hosting Zn/Ag mineral deposits in the Bambuí Group at Januária region, MG*. 2002. 124p. Tese (Doutorado em Metalogênese) - Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- PACHECO, M. L. A. F.; LEME, J. M.; FAIRCHILD, T. R. *Re-evaluation of the morphology and systematic affinities of Corumbella weneri Hahn et al. 1982, Tamengo Formation (Ediacaran), Corumbá, Brazil*. In: **X Congresso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía., VII Congreso Latinoamericano de Paleontología**. 2010.;
- PACHECO, M. L. A. F.; LEME, J. M.; FAIRCHILD, T. R. Análise tafonômica de *Corumbella weneri Hahn et al. 1982* (Formação Tamengo, Grupo Corumbá, Mato Grosso do Sul): alterações morfológicas e implicações no estabelecimento de afinidades taxonômicas. In: **XXII Congresso Brasileiro de Paleontologia**. p. 449-452, 2011
- PACHECO, M. L. A. F. Reconstituição morfológica e análise sistemática de *Corumbella weneri Hahn et al. 1982* (Formação Tamengo, Ediacarano, Grupo Corumbá), Mato Grosso do Sul, Brasil: implicações paleoecológicas e tafonômicas. 2012.
- PACHECO, M. L. A. F., LEME, J. M., MACHADO, A. F. Taphonomic analysis and geometric modeling for the reconstitution of the Ediacaran metazoan *Corumbella weneri* (Tamengo Formation, Corumbá Basin, Brazil). **Journal of taphonomy**, v. 9, n. 4, p. 269-283, 2012
- PALACIOS, T.M., *Microfósiles de pared orgánica del Proterozoico Superior (región central de la Península Ibérica)*. Diputación General de Aragón, 1989.
- PAULA-SANTOS, G.M., BABINSKI, M., KUCHENBECKER, M., CAETANO-FILHO, S., TRINDADE, R.I.F., PEDROSA-SOARES, A.C. *New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U–Pb data and isotope chemostratigraphy*. **Gondwana Research**, v.18, p.1-19, 2014.
- PIMENTEL, M. M. ; RODRIGUES, J. B. ; DELLAGIUSTINA, M. E. S. ; JUNGES, S. ; MATTEINI, M. ; ARMSTRONG, R. *The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- PIMENTEL, M. *Zircon Provenance and the Tectonic Evolution of sedimentary basins in South America*. In: SSAGI, 2012, Medellin. **Abstracts**, 2012.
- PINHO, J.M.M.; RIBEIRO, J.H.; TULLE R, M.P.; FÉBOLI , W.L.; SIGNO RELI , N. Arcabouço estrutural do Grupo Bambuí na região sudeste do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 43, 2006, Aracajú, **Anais...** Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.111, 2006.

- PINTO, C.P.; MARTINS-NETO, M.A. (Eds.) *Bacia do São Francisco – Geologia e Recursos Minerais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia-MG, CBMM, COMIG, **GEO SOL**, 349p, 2001.
- PINTO, L.G.R.; USSAMI, N.; SÁ, N.C. Aquisição e interpretação preliminar de dados gravimétricos do SE do Cráton do São Francisco. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEO PHYSICAL SOCIETY, 9, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1 CD-ROM, 2005.
- RIMMAN, E. *A Kimberlita no Brazil*. **Anais da Escola de Minas**, Ouro Preto, v.15, p.27-32, 1917.
- REIS, C. Geologia, sistemas deposicionais, e estratigrafia isotópica do Grupo Bambuí na região de Santa Maria. Dissertação (mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2013.
- RODRIGUES, J.B. Proveniência de sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí – Um estudo de zircões detríticos e Idades Modelo Sm- Nd. 2008, 141p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, 2008.
- SANTOS, R.V., ALVARENGA, C.J.S., DARDENNE, M.A., SIAL, A. N.; FERREIRA, V.P. Isótopos de carbono e oxigênio em carbonatos do Grupo Bambuí na Serra de São Domingos, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v.5, p.516-520, 1996.
- SANTOS, R.V., ALVARENGA, C.J.S., SIAL, A. N., FERREIRA, V.P. *A carbon isotope stratigraphic marker in the Bambuí Group, Brazil*. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1, Campos do Jordão, 1997. **Anais...** Campos do Jordão, p.283-285, 1997.
- SANTOS, R.V.; ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P. *Carbon and oxygen isotope profiles across Meso-Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá groups*. **Precambrian Research**, v.104, p.107-122, 2000.
- SCHÖLL, W.U. Sedimentologia e Geoquímica do Grupo Bambuí na parte sudeste da Bacia do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1976, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p. 207-231, 1976.
- SEER, H.J.; MORAES, L.C.; FOGAÇA, A.C.C. Roteiro Geológico para a região de Lagoa Formosa – Chumbo – Carmo do Paranaíba – MG. Belo Horizonte: SBG/ MG, 58p, 1989.
- SIGNOR, P. W.; MOUNT, J. F.; ONKEN, B. R. *A pre-trilobite shelly fauna from the White-Inyo region of eastern California and western Nevada*. **Journal of Paleontology**, p. 425-438, 1987.
- SOUR-TOVAR, F.; HAGADORN, J. W.; HUITRÓN-RUBIO, T.. *Ediacaran and Cambrian index fossils from Sonora, Mexico*. **Palaeontology**, v. 50, n. 1, p. 169-175, 2007.

- STEINER, M., LI, G., QIAN, Y., ZHU, M., & ERDTMANN, B. D. *Neoproterozoic to early Cambrian small shelly fossil assemblages and a revised biostratigraphic correlation of the Yangtze Platform (China)*. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 254, n. 1, p. 67-99, 2007.
- THOMAZ FILHO, A.; KAWA SHITA, K.; CORDANI, U.G. A origem do Grupo Bambuí no contexto da evolução geotectônica e de idades radiométricas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.70, n.3, p. 527-548, 1998.
- UHLEIN, A. Transição Cráton – faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais; aspectos estratigráficos e estruturais. 1991. 245p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- UHLEIN, A.; TROMPETTE, R.; EGYDIO-SILVA, M.; VAUCHEZ, A. Rifteamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton do São Francisco. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.3, n.1, p.99-107, 1995.
- VAN ITEN, H., LEME, J. D. M., MARQUES, A. C., & SIMÕES, M. G. *Alternative interpretations of some earliest Ediacaran fossils from China*. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 58, n. 1, p. 111-113, 2013.
- VIDAL, G., PALACIOS T., MOCZYDLOWSKA M., & GUBANOV, A. P.. *Age constraints from small shelly fossils on the early Cambrian terminal Cadomian Phase in Iberia*. **GFF**, v. 121, n. 2, p. 137-143, 1999.
- VIEIRA, L.C.; TRINDADE, R.I.F.; FIGUEIREDO, F.P. Faciologia, estratigrafia magnética e química da formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí: dados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004, Araxá. **Anais...** Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia-MG, ANP, 2004. 1 CD-ROM.
- VIEIRA, L.C.; TRINDADE, R.I.F.; NOGUEIRA, A.C.R. Químioestratigrafia da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3, 2005, Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia, **Short Papers**, 2005. 1 CD-ROM.
- VIEIRA, L.C.; TRINDADE, R.I.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; ADER, M. *Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil*. **Comptes Rendus, Géosciences**, v.339, n.3-4, p.240-258, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>.
- WAGGONER, B.. *The Ediacaran biotas in space and time*. **Integrative and Comparative Biology**, v. 43, n. 1, p. 104-113, 2003.
- WALDE, D. H. G., LEONARDOS, O. H., HAHN, G., HAHN, R., PFLUG, H. *The first Precambrian megafossil from South América, Corumbella weneri*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 54, n. 2, p. 461, 1982.
- WARREN, L. V., FAIRCHILD, T. R., GAUCHER, C., BOGGIANI, P. C., POIRE, D. G., ANELLI, L. E., & INCHAUSTI, J. C. *Corumbella and in situ Cloudina in*

association with thrombolites in the Ediacaran Itapucumi Group, Paraguay. Terra Nova, v. 23, n. 6, p. 382-389, 2011.

- WARREN, L. V., PACHECO, M. L. A. F., FAIRCHILD, T. R., SIMÕES, M. G., RICCOMINI, C., BOGGIANI, P. C., & CÁCERES, A. A. *The dawn of animal skeletogenesis: Ultrastructural analysis of the Ediacaran metazoan Corumbella weneri. Geology*, v. 40, n. 8, p. 691-694, 2012.
- WOOD, R. A. *Paleoecology of the earliest skeletal metazoan communities: Implications for early biomineralization. Earth-Science Reviews*, v. 106, n. 1, p. 184-190, 2011.
- YI, Q., VANITEN, H., COX, R. S., ZHU, M-Y., ZHUO, E-J. *A brief account of Emeiconularia trigemme, a new genus and species of protoconulariids. Acta Micropalaeontologica Sinica. Acta Micropalaeontologica Sinica*, v. 14, n. 4, p. 475-488, 1997.
- ZAINE, M. F.; FAIRCHILD, T. R. *Comparision of Aulophycus-Lucianoi Beuren and Sommer from Ladário (MS) and the genus Cloudina Germs GERMS, Ediacaran of Namíbia. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências. Academia Brasileira de Geociências*, p. 130-130, 1985.
- ZAINE, M. F.; FAIRCHILD, T. R. *Novas considerações sobre os fósseis da Formação Tamengo, Grupo Corumbá, SW Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia*. p. 54, 1987.
- ZAINE, M. F. *Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental. Unpublished Doctoral dissertation, University of São Paulo, São Paulo, Brasil, 1991.*

3 METODOLOGIA

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir será apresentada breve revisão a respeito das metodologias empregadas como os sistemas geoquímicos envolvidos, fracionamento dos isótopos estáveis, além de detalhar os procedimentos de amostragem e processamento das amostras.

3.1.1 GEOQUÍMICA DOS CARBONATOS

Os carbonatos constituem o grupo de minerais nos quais a unidade estrutural determinante é o íon CO_3^{2-} . Há mais de 60 carbonatos conhecidos, embora muitos sejam raros, como os hidratados, ou os que possuem o íon hidroxila ou os halogênios, ou mesmo os compostos por radicais de sulfato ou fosfato (Deer, Howie & Zussman, 1965). Na Tabela 2 são apresentadas as características físico-químicas e cristalográficas dos principais carbonatos formadores de rochas. Entre eles a calcita, a dolomita e a aragonita, os mais abundantes.

Tabela 2 Características físico-químicas dos carbonatos formadores de rocha mais abundantes.

Mineral	Formula	Sistema cristalino	Densidade
Calcita		Trigonal	2,72
Magnesita		Trigonal	2,98
Rodocrosita		Trigonal	3,70
Siderita		Trigonal	3,96
Dolomita		Trigonal	2,86

Aragonita	Ortorrômbico	2,94
Estroncionita	Ortorrômbico	3,72
Witherita	Ortorrômbico	4,30
Ankerita	Trigonal	2,86-2,93

Entre os minerais formadores de rocha os polimorfos de CaCO_3 constituem o maior e mais abundante grupo, compreendendo os carbonatos do grupo da calcita, da aragonita e a vaterita. Entre estes polimorfos a calcita é o mineral mais abundante, e termodinamicamente, mais estável. Já a aragonita é 1,5 vezes mais solúvel do que a calcita, mesmo contendo cátions maiores do que a calcita em seus sítios cristalinos. Entretanto, por ser mais densa, a aragonita é mais estável em pressões elevadas (Deer, Howie & Zussman, 1965).

De forma geral, os carbonatos com cátion divalente menor do que o cálcio são reunidos no grupo da calcita, enquanto os carbonatos com cátion divalente maiores do que o cálcio pertencem ao grupo da aragonita. Os carbonatos de metais de transição, como a siderita e a rodocrosita possuem estruturas equivalente ao grupo da calcita. Entre carbonatos do grupo da aragonita encontram-se a estroncionita e a witherita. Por fim, a caterita possui estrutura cristalina hexagonal, sendo cerca de 3,5 vezes mais solúvel do que a calcita e 2,5 vezes mais solúvel do que a aragonita, sendo metaestável, e raramente encontrada na natureza (Deer, Howie & Zussman, 1965).

A dolomita possui estrutura cristalina romboédrica, semelhante a calcita, mas com menor simetria. Os diedros de calcita, os quais são interceptados pelos átomos de C e nos quais estão situados os átomos de O, não estão presentes na dolomita. Pode-se considerar que a dolomita é constituída por uma camada de calcita seguida por uma camada de magnesita (Deer, Howie, & Zussman, 1965).

Calcita e dolomita são os mais abundantes em calcários. A aragonita é rara, e outros minerais carbonáticos precipitam em ambientes restritos, como lagoas evaporíticas ou sob condições hidrotermais. A calcita e a dolomita compreendem 10 a 15% da massa das rochas sedimentares e constituem cerca de 20% do registro

sedimentar Fanerozóico (Morse & Mackenzie, 1990). Os registros paleozoicos apresentam maior quantidade de dolomita do que os mesozoicos e cenozoicos, de forma que há uma progressiva diminuição do conteúdo de dolomita.

Segundo Morse & Mackenzie (1990), há uma distribuição diferenciada dos carbonatos marinhos de águas rasas e de águas profundas, considerando-se os fatores controladores da fonte, da mineralogia e da diagênese desses carbonatos. Em mares profundos, por exemplo, os sedimentos são ricos em carbonatos em baixo teor de Mg, com predomínio de CaCO_3 . Esses sedimentos são derivados de organismos esqueletais pelágicos, sendo os cocolitoforos (algas) e os foraminíferos, os mais abundantes. A aragonita pode ocorrer em águas de profundidade intermediária.

Já em águas rasas, os sedimentos ricos em carbonatos encontram-se em latitudes subtropicais e tropicais, mas também podem ocorrer em altas latitudes. A ocorrência dos carbonatos em águas rasas é fortemente influenciada pela temperatura e pelo aporte de sedimentos terrígenos. Os carbonatos ocorrentes nesses ambientes são compostos predominantemente por aragonita, seguida por calcita rica em Mg. Calcita de baixo teor de Mg e de dolomita ocorrem em ambientes especiais, e não é predominante em águas rasas. Os carbonatos formados neste ambiente são gerados inicialmente por desintegração dos esqueletos de organismos como corais, equinoides, moluscos e algas, sendo que em alguns ambientes também há precipitação de carbonatos inorgânicos sob a forma de cimentos e partículas carbonáticas como oóides e oncóides (Morse & Mackenzie, 1990).

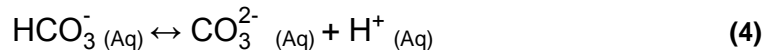
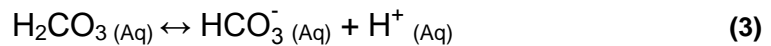
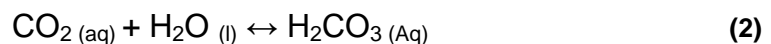
As calcitas magnesianas constituem importante componente dos sedimentos marinhos encontrados em águas rasas, sendo derivados de esqueletos de organismos, bem como de cimentos precipitados quimicamente neste ambiente. A solubilidade de calcitas magnesianas é altamente influenciada pelo teor de Mg. Em ambiente marinho, a calcita magnesiana com cerca de 11(mol)% de MgCO_3 pode ter a mesma solubilidade da aragonita (Morse & Mackenzie, 1990).

A dolomita ocorre em quantidades inferiores à calcita nos sedimentos atuais, entretanto, ela é um dos constituintes mais abundantes nas rochas sedimentares. Esta relação, entretanto, não ocorre devido a formação direta de dolomita no ambiente, mas sim por processos diagenéticos. A maior parte dos depósitos de

dolomita seriam formados em meios com elevada força iônica, derivada da evaporação da água do mar ou em lagos localizados em regiões áridas. Os depósitos encontrados em ambientes como sabkas ou em ambientes de supramaré são exemplos dessas ocorrências. Uma característica comum a estes ambientes são as altas concentrações de Mg^{2+} em relação às de Ca^{2+} , as quais parecem promover a dolomitização (Morse & Mackenzie, 1990).

3.1.1.1 SISTEMA CO_2 – ÁCIDO CARBÔNICO

De acordo com Morse & Mackenzie (1990), os carbonatos fazem parte do sistema CO_2 - ácido carbônico composto pelos íons carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), e pelos compostos ácido carbônico H_2CO_3 e dióxido de carbono (CO_2 (aq) e CO_2 (g)). Esses componentes se relacionam por meio da seguinte sequência de reações:

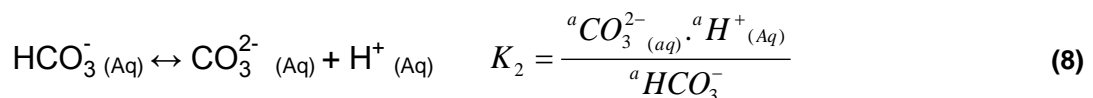
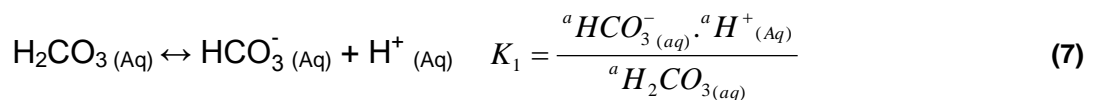
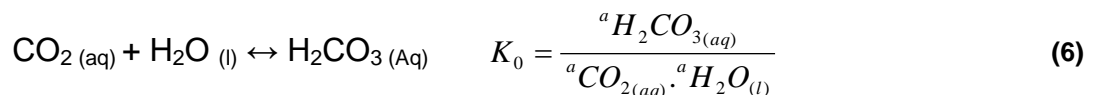
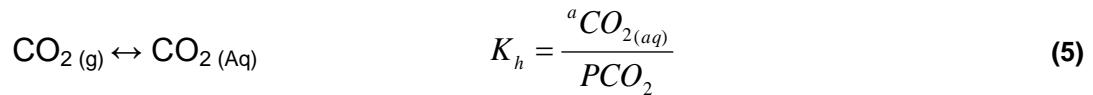


O componente indicativo do pH é o íon H^+ , o qual indica também a capacidade de tamponamento, ou de atuar como uma solução tampão, mantendo o equilíbrio do pH mesmo com adição de ácidos ou bases no sistema. A atividade do ânion carbonato (CO_3^{2-}) determina, em parte, o grau de saturação das águas em relação aos minerais carbonáticos. A atividade de um determinado componente dissolvido está relacionada a sua concentração (m) e a um coeficiente de atividade (γ), de forma que:

$$a_i = \gamma_i * m_i$$

$$m_i = a_i / \gamma_i$$

A determinação da atividade e da concentração dos componentes do sistema não é simples, mas é necessário para a interpretação de processos, tais como a precipitação – dissolução de cimentos carbonáticos e de reações de recristalização. Entretanto, a partir da relação entre atividade e concentração, as proporções relativas dos componentes do sistema podem ser calculadas por meio de constantes de equilíbrio termodinâmico (Morse & Mackenzie, 1990):



Os valores para estas constantes são função da pressão e da temperatura, afetando as reações do sistema.

Segundo os autores, as variações de pressão e temperatura do sistema tem influência na solubilidade dos carbonatos, bem como na distribuição dos componentes do sistema. A solubilidade da calcita diminui à medida que aumenta a temperatura, da mesma forma que a solubilidade do CO₂ na água aumenta com a elevação da temperatura, levando à precipitação da calcita como cimento dos poros das rochas sedimentares marinhas submetidas a soterramento.

O comportamento dos carbonatos na água do mar se refere à concentração dos sais na água, considerada constante. A concentração iônica dos sais mais abundantes é a mesma para todo o oceano, com exceções como lagoas hipersalinas e rios próximos a cadeias de montanhas. Sendo assim, a composição dos íons maiores da água do mar pode ser determinada através da salinidade.

A salinidade da água (S) é obtida indiretamente a partir de cálculos que envolvem a condutividade e a temperatura da água. A condutividade expressa o teor

de sais dissolvidos, entre os quais podem se destacar: cloretos de sódio, magnésio e cálcio, os sulfatos de magnésio, potássio e cálcio, e os carbonatos e nitratos de cálcio e magnésio. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. A condutividade aumenta com a temperatura, portanto, emprega-se 25°C como temperatura padrão. Este parâmetro é fundamental devido a associação com a temperatura, e a sua influência na solubilidade dos minerais compostos por carbonato, como calcita e aragonita (Morse & Mackenzie, 1990).

Outro parâmetro, relacionado ao comportamento geoquímico dos carbonatos na água do mar, é o estado de saturação da água em relação aos carbonatos. A saturação é a razão da atividade iônica ou concentração relativa à solubilidade. O cálculo da saturação da água do mar em relação à calcita pode ser expresso por meio da seguinte equação:

$$\Omega_{calcita} = mCa^{2+} + mCO_3^{2-} / K_{calcita}^* \quad (9)$$

Onde

$\Omega_{calcita}$: Saturação do carbonato

Desta forma, se $\Omega=1$, a solução (água do mar) está em equilíbrio, se $\Omega<1$, a solução está subsaturada em calcita, podendo ocorrer dissolução mineral. Entretanto, se $\Omega>1$, a solução está supersaturada em calcita e pode ocorrer precipitação mineral. Para a água do mar normal a concentração de cálcio pode ser calculada a partir da salinidade. Já para ambientes costeiros, plataformas carbonáticas e lagoas, podem ocorrer alterações de salinidade significativas, podendo influenciar nas concentrações de Ca. Em ambientes anóxicos, por exemplo, as concentrações de sulfato podem alterar a composição da solução.

3.1.2 QUIMIOESTRATIGRAFIA

De acordo com Halverson *et. al.* (2010), quimioestratigrafia, ou estratigrafia química, é o estudo das variações na composição química dos sedimentos. As

substâncias alvo da quimioestratigrafia são diagnósticas da química da água do mar no caso dos sedimentos marinhos, assim como das condições ambientais no momento da deposição dos sedimentos, podendo ser ainda, indicadores de proveniência. A quimioestratigrafia é uma ferramenta para correlação de bacias em uma escala global que se baseia no estudo das tendências geoquímicas recentes e sua aplicação ao passado geológico da Terra. Seu uso também é possível na cronoestratigrafia indireta, com relação ao conteúdo radiométrico em seções de referência, análogas à bioestratigrafia e à magnetoestratigrafia. Esta ferramenta tem papel importante no estudo de sequências pré-cambrianas, onde o uso da bioestratigrafia é dificultado pela presença esparsa de fósseis. Além disso, a estratigrafia química, associada a outros dados sedimentológicos, pode ser utilizada também para quantificação de mudanças tectônicas, e em casos de quantificação ambiental, em tempo e espaço.

Os isótopos estáveis leves são os mais amplamente aplicados nesta metodologia. Dados de rochas neoproterozoicas revelam as anomalias mais extraordinárias e extremas da história de nosso planeta.

Os isótopos de carbono, em carbonatos inalterados, precipitados em equilíbrio com a água do mar mantém a composição do carbono inorgânico dissolvido na água. O consenso geral é de que, inseridos nos altos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e nas expressivas anomalias negativas relacionadas aos eventos glaciais no Neoproterozoico, existem sinais que pontuam a flutuação de carbono exógeno ao ciclo. Baseado nisso, os dados que refletem a variação secular na composição da água do mar, os isótopos de carbono são utilizados para estudos de correlação de arquitetura de bacias e de sequências estratigráficas carbonáticas, modelando o ciclo global do carbono, e a sua relação com os eventos de oxigenação. A curva de variação isotópica mundial, proposta por Halverson *et. al.* (2010) é apresentada na Figura 7.

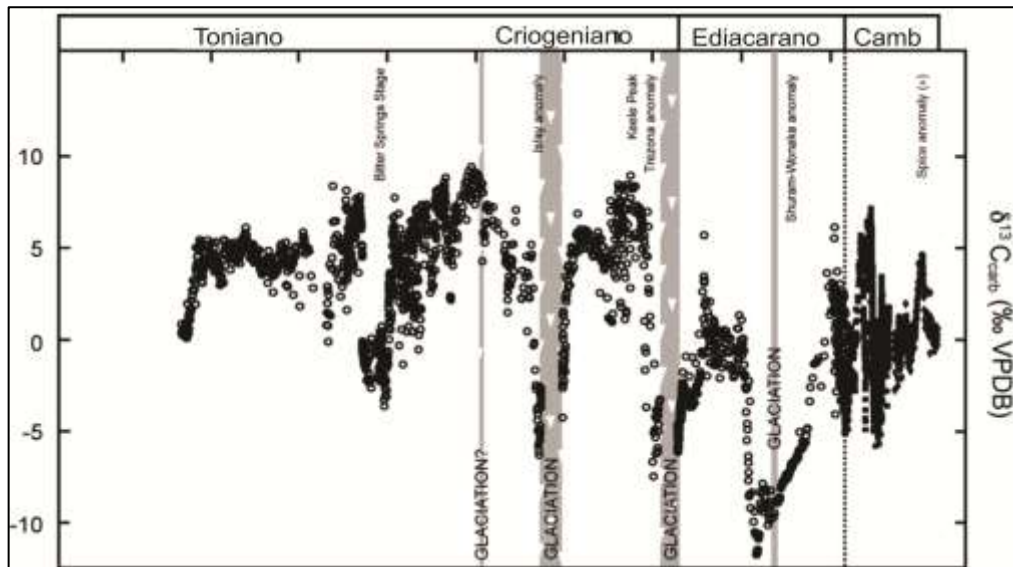


Figura 7 - Curva de variação isotópica mundial para $\delta^{13}\text{C}(\text{VPDB})$ durante o Neoproterozoico. (Modificada de Halverson *et. al.*, 2010)

A aplicação dos isótopos de oxigênio em rochas pré-cambrianas é controversa, sendo bem reconhecida para carbonatos cenozoicos. Entretanto, estudos baseados na análise da composição isotópica de conchas mostram que a variação do $\delta^{18}\text{O}$, ao longo da história da Terra, vão de valores extremamente negativos no Neoproterozoico (-10‰) até valores próximos aos atuais já no Ordoviciano. O $\delta^{18}\text{O}$ também é utilizado para estudos sobre paleotemperatura devido ao seu fracionamento, já que o vapor produzido é enriquecido em O_{16} , resultando no enriquecimento em O_{18} na água do mar. Desta forma, as alterações relacionadas à evaporação (temperatura, insolação, salinidade, glaciações, fluxo de água doce) ficam registrados nos depósitos carbonáticos. Ainda, segundo Allègre (2008), o $\delta^{18}\text{O}$ também reflete a natureza química, independente da localização temporal ou geográfica de modo que as rochas ígneas e metamórficas apresentam o $\delta^{18}\text{O}$ positivo variando de +5 a +13‰, os calcários são enriquecidos, apresentando com valores entre +7 e +35‰, e os valores negativos pertencem à água doce, com teores menores que -10‰, em relação ao padrão SMOW (*Standard Mean Ocean Water*) (Figura 8).

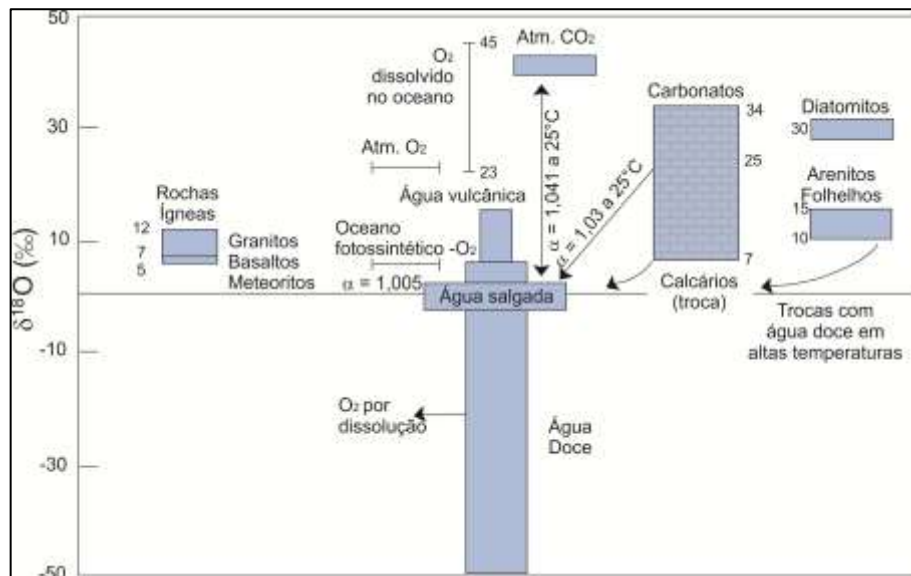


Figura 8 - Distribuição de composição isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ para algumas substâncias terrestres em relação ao SMOW (Standard Mean Ocean Water). (Modificado de Allègre 2008).

A estratigrafia química também se vale de isótopos radiogênicos, como os isótopos de estrôncio. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da água do mar mostram a relação entre o influxo de material fluvial, proveniente dos continentes onde o substrato sofre intemperismo químico, e o influxo do estrôncio proveniente de hidrotermalismo. Desta forma, as razões de estrôncio são uma ferramenta eficiente para mensurar mudanças climáticas, em regimes de tempo maiores que 1Ma, bem como mudanças tectônicas globais, indicando se a contribuição majoritária é de fontes mantélicas ou de fontes crustais.

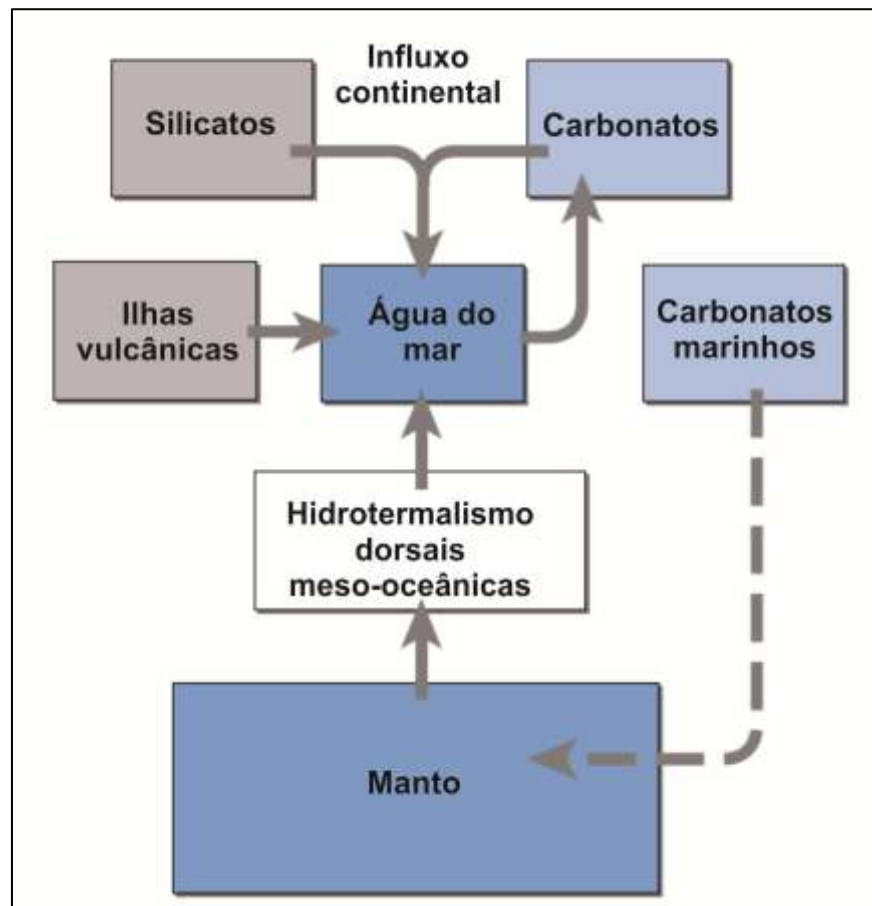


Figura 9 - Fatores determinantes da composição isotópica da água do mar. (Modificado de Allègre 2008).

O registro de Sr é tipicamente reconstruído a partir de minerais precipitados diretamente da água do mar, sendo particularmente útil para estabelecimento de idades por correlação com seções de referencia calibradas. Entretanto, os registros mais precisos e detalhados de isótopos de estrôncio são reconhecidos para o Cenozoico e para o Mesozoico, enquanto para o Neoproterozoico a resolução é relativamente menor (Figura 10).

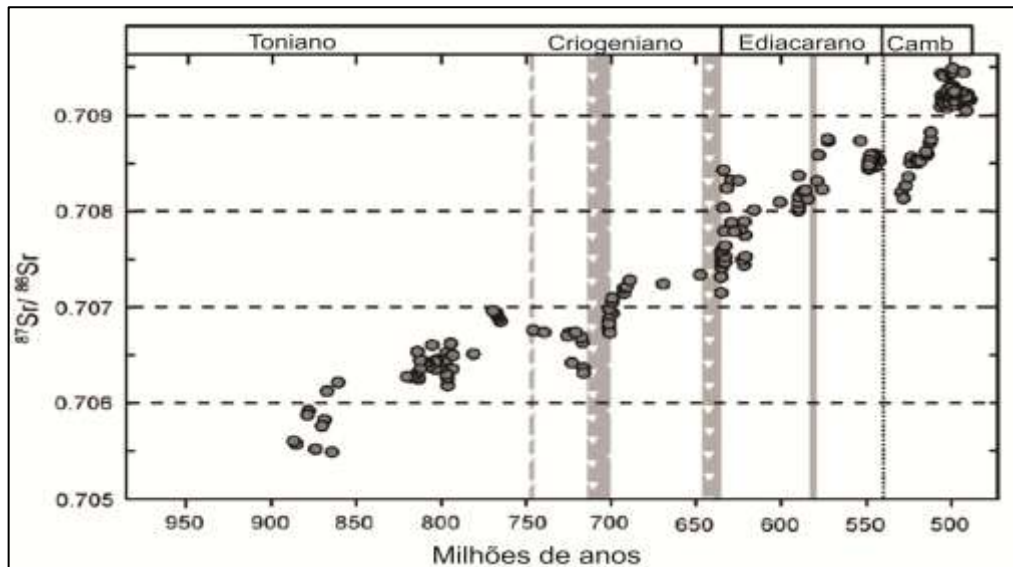


Figura 10 - Curva de variação isotópica mundial para Sr durante o Neoproterozoico. (Modificada de Halverson *et. al.*, 2010)

3.1.3 SISTEMA Rb-Sr

Geraldes (2010) descreve os elementos rubídio e estrôncio da seguinte maneira:

- O rubídio (Rb) pertence ao grupo I (metais alcalinos) da tabela periódica, tratando-se de um elemento químico que não forma minerais próprios na natureza, e sendo sempre encontrado como impureza em minerais potássicos. Este comportamento está relacionado ao raio iônico deste elemento, 1,48 Å, que é muito semelhante ao raio iônico do potássio, sendo apenas 11% maior. O Rb apresenta dois isótopos de ocorrência natural: ^{85}Rb (estável) e ^{87}Rb (instável) (Figura 11).

- O estrôncio (Sr) pertence ao grupo II da tabela periódica, e possui raio iônico de 1,13 Å, sendo aproximadamente 13% maior em relação ao raio iônico do Ca o que torna possível a substituição deste último por Sr em minerais como a calcita. O Sr apresenta quatro isótopos de ocorrência natural: ^{84}Sr , ^{86}Sr , e ^{88}Sr como isótopos não radiogênicos, e ^{87}Sr como isótopo radiogênico (Figura 11).

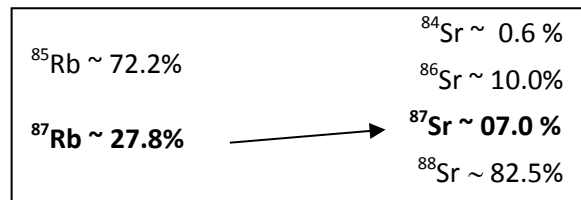


Figura 11 - Quadro esquemático das porcentagens dos isótopos de Rb e Sr (Geraldes, 2010).

O método radiométrico Rb-Sr baseia-se na desintegração radioativa do isótopo pai, ou isótopo radioativo, ^{87}Rb , que por meio da liberação de uma partícula β^- , decai para seu isótopo filho, ou isótopo radiogênico, ^{87}Sr conforme mostra a equação $^{87}_{37}\text{Rb} \rightarrow ^{87}_{38}\text{Sr} + \beta^- + \bar{\nu} + Q$ (10 (Faure, 1986)). Este processo ocorre segundo uma constante de decaimento (λ) de valor conhecido ($1,42 \times 10^{-11} \text{ano}^{-1}$) (Geraldes, 2010). A meia vida do Rb corresponde a de 48,8 Ga, aproximadamente (Neuman & Huster, 1974 *apud* Geraldes, 2010).



Onde:

β^- = Partícula beta negativa

$\bar{\nu}$ = Antineutrino

Q = Energia liberada no decaimento (0,275 MeV)

O crescimento da quantidade de isótopo ^{87}Sr pode ser descrito pela equação 11, equivalente à lei da radioatividade, onde o número total de Sr é função do Sr inicial somado ao número de isótopos de Rb que sofreram decaimento em um período de tempo t (Geraldes, 2010).

$$^{87}\text{Sr}_{(Total)} = ^{87}\text{Sr}_{(inicial)} + ^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1) \quad (11)$$

Para fins de facilitar o processo de datação, a equação acima é dividida pelo valor de ^{86}Sr , visto que os espectrômetros de massa determinam mais facilmente razões do que números de átomos. A equação resultante (equação 12) é utilizada para o cálculo de idade Rb-Sr (Geraldes, 2010).

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(Total)}} = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(inicial)}} + \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda T} - 1) \quad (12)$$

3.1.3.1 RAZÕES $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Carbonatos biogênicos cumprem os requisitos para datação: são resistentes a alteração diagenética e desde que secretados diretamente em água marinha não contém partículas detríticas (Faure, 1986).

Sendo então compostas predominantemente por minerais ricos em carbonato, as rochas carbonáticas puras possuem pouco ou nenhum mineral potássico, fazendo com que o conteúdo de rubídio seja insignificante (equação 12). Esta condição permite que a quantidade de ^{87}Sr não aumente pelo decaimento do ^{87}Rb , ficando próxima ao valor no momento do fechamento do sistema, sendo possível identificar razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos carbonatos (equação 14), que pode ser utilizada então, como ferramenta de datação indireta (Faure, 1986), especialmente para rochas neoproterozoicas.

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(Total)}} = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(inicial)}} + \frac{\cancel{^{87}\text{Rb}}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda T} - 1) \quad (13)$$

↓
0

Logo:

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(Total)}} = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_{(inicial)}} \quad (14)$$

A utilização deste método na construção de curvas de evolução isotópica se baseia no princípio de que o tempo de residência do Sr seria suficientemente grande

na água do mar (ca. 4 Ma) em relação ao tempo de homogeneização interoceânica (1500 anos) (Broecker & Peng, 1982 *apud* Babinski, 2011) permitindo que os carbonatos precipitados em ambiente marinho assumam a composição isotópica de Sr no momento de sua deposição, e que suas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ representem excelentes registros dos eventos ocorridos em oceanos conectados (Babinski, 2011). A utilização deste método é eficaz como traçador isotópico, pois as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ são diretamente relacionáveis com ambientes geológicos distintos, por exemplo, a média da crosta continental é de cerca de 0,730 enquanto a água do mar possui valores atuais em torno de 0,709, e rochas de fontes mantélicas 0,702 a 0,706 (Geraldes, 2010).

3.1.4 ISÓTOPOS ESTÁVEIS

Diferentemente do fracionamento dos isótopos radioativos, que sofrem decaimento, os isótopos estáveis de vários elementos são fracionados durante mudanças físico-químicas. De acordo com Faure (2005) a extensão deste fracionamento, para isótopos de um mesmo elemento, é controlada pela diferença de massas entre os mesmos e pela temperatura do ambiente. Desta forma, as variações resultantes das composições isotópicas destes isótopos podem fornecer informações a respeito dos processos que atuaram sobre as rochas que os contém.

3.1.4.1 ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO

O elemento Oxigênio possui número atômico 8, e apresenta três isótopos estáveis: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . Destes, o mais abundante é o ^{16}O seguido pelo ^{18}O (Tabela 3).

Tabela 3 Abundâncias dos isótopos estáveis de oxigênio (Modificada de Faure, 2005).

Isótopo	Abundância (%)
^{16}O	99,762
^{17}O	0,038

¹⁸O

0,200

A força das ligações covalentes das moléculas é afetada pela relação entre as massas dos elementos. De acordo com a teoria da mecânica quântica, a energia de uma molécula (E) diatômica, à temperatura absoluta zero, tem um valor finito que depende da sua frequência de vibração (ν). Sendo assim, quando um isótopo leve de um elemento em uma molécula é substituído por um isótopo pesado, a frequência de vibração da molécula diminui, causando uma diminuição equivalente na energia da molécula (Equação 15). Este fenômeno tem como consequência o aumento da estabilidade das moléculas que contém isótopos pesados em relação às mesmas moléculas quando contém isótopos leves. Entretanto, moléculas com isótopos pesados também são menos ativas (Faure, 2005).

$$E = \frac{1}{2} h\nu \quad (15)$$

A relação entre as massas de isótopos de um mesmo elemento também é utilizada para determinação de velocidades de moléculas nos gases em determinadas temperaturas. Isótopos leves permitem uma maior velocidade, enquanto isótopos pesados deixariam a molécula mais lenta em uma mesma temperatura. Desta forma, uma molécula de água que contém isótopos leves possuirá maior velocidade se comparado à molécula com isótopos pesados. Este comportamento também se aplica a taxas de difusão em resposta a um gradiente de concentração sob temperatura constante. A diferença das massas entre os isótopos é à base do fracionamento dos isótopos de O e H nas moléculas de água formadas na evaporação e condensação (Faure, 2005).

De acordo com Faure (2005), a composição isotópica do O, e de todos os elementos cujos isótopos são fracionados, é expressa como a razão entre o isótopo pesado e o isótopo leve (R), expressa em números de átomos. Para o oxigênio a razão $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ é 0,002004. Estas razões são mensuradas em espectrômetros de massa e são expressas em relação ao padrão da água dos oceanos (SMOW). A relação entre a amostra e o padrão é dada pela equação 16:

$$\delta^{18}O = \left(\frac{R_{amostra} - R_{padrão}}{R_{padrão}} \right) \times 10^3\text{‰} \quad (16)$$

O δO pode ser positivo, negativo ou nulo (zero). Valores positivos indicam que razão $^{16}O/^{18}O$ é maior que o padrão, enquanto valores negativos indicam que esta razão é menor que o padrão. Quando um composto como água em estado líquido muda suas características físicas através da evaporação sob temperatura constante, os valores da razão $^{16}O/^{18}O$ do vapor diferem dos valores da razão da água remanescente. Este fracionamento condicional à temperatura é a base para aplicação do oxigênio nos estudos paleoambientais. A extensão do fracionamento isotópico durante a evaporação pode ser expressa pelo fator de fracionamento isotópico (α), definido pela equação 17, onde R_l é a razão isotópica do líquido, e R_v é a razão isotópica do vapor (Faure, 2005).

$$\alpha_v^1 = \frac{R_l}{R_v} \quad (17)$$

3.1.4.2 ISÓTOPOS DE CARBONO

O Carbono possui número atômico 6, e é o quarto elemento mais abundante no Sistema Solar, precedido por H, He e O. Este elemento possui dois isótopos estáveis (^{12}C e ^{13}C) e um isótopo radioativo (^{14}C).

Tabela 4 Abundâncias dos isótopos estáveis de carbono (Modificada de Faure, 2005).

Isótopo	Abundância (%)
^{12}C	98,90
^{13}C	1,10

A razão entre C^{13} e C^{12} é 1,083612. Segundo Faure (2005), o fracionamento, químico e biológico, destes isótopos ocorre devido à diferença de massa entre os

mesmos. A massa do C^{13} é cerca de 8,36% maior que a massa do C^{12} . A composição isotópica de C pode ser expressa pelo δC^{13} :

$$\delta C^{13} = \left(\frac{(^{13}C/^{12}C)_{amostra} - (^{13}C/^{12}C)_{padr\tilde{a}o}}{(^{13}C/^{12}C)_{padr\tilde{a}o}} \right) \times 10^3 \text{‰} \quad (18)$$

Para as análises de carbono o padrão mais utilizado é o PDB (Pee Dee Belemnite) que corresponde à razão isotópica de uma concha de Belemnite de idade cretácea da Formação Pee Dee (Carolina do Sul, Estados Unidos). Valores de $\delta^{13}C$ positivos indicam o enriquecimento em ^{13}C em relação ao padrão, enquanto valores negativos significam depleção do mesmo. O fator de fracionamento (α) é dado pela equação 19, onde a e b são compostos de carbono ou fases de equilíbrio isotópico em dada temperatura, e R é a razão $^{13}C/^{12}C$ (Faure, 2005).

$$\alpha_b^a = \frac{R_a}{R_b} \quad (19)$$

3.1.5 ESPECTROMETRIA DE MASSAS

A espectrometria de massas se baseia na separação de partículas atômicas a partir de suas diferentes massas, cargas e movimentos em campos magnéticos e elétricos. São usados diversos tipos de equipamento, de acordo com a forma de ionização, modo de separação das massas e natureza do material analisado (Faure, 2005).

O equipamento utilizado neste trabalho foi do tipo TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometer*) modelo TRITON da Thermo-Finnigan, o qual utiliza a ionização das amostras a partir do aquecimento de um filamento metálico inserido junto à fonte iônica (fonte de ionização térmica). Sob alto vácuo no interior do espectrômetro de massa, o filamento é aquecido através de passagens de correntes elétricas. Este aquecimento provoca a vaporização do elemento depositado gerando partículas

carregadas positivamente que são aceleradas para o interior do campo eletromagnético ao passarem pelas janelas de colimação. Os íons resultantes são acelerados e colimados em feixes (Figura 12).

A eficiência de ionização varia em função do tipo de filamento utilizado (Re, Ta, Pt ou W), da função de trabalho (energia necessária para que um elétron possa vencer a barreira potencial e ficar livre do filamento de metal no vácuo) e do potencial de ionização do elemento analisado (energia mínima necessária para arrancar um elétron de um átomo) (Sato & Kawashita, 2002) sendo de extrema importância a purificação das amostras a partir da separação química das mesmas. Para o elemento Sr, geralmente são utilizados filamentos de tântalo (Ta) (Dickin, 2005)

O campo magnético interfere na trajetória dos íons com intensidade proporcional a massa dessas partículas, desta forma as trajetórias são modificadas conforme a diferença de massa, e assim chegando ao final do tubo analisador, separadas em função de suas respectivas massas.

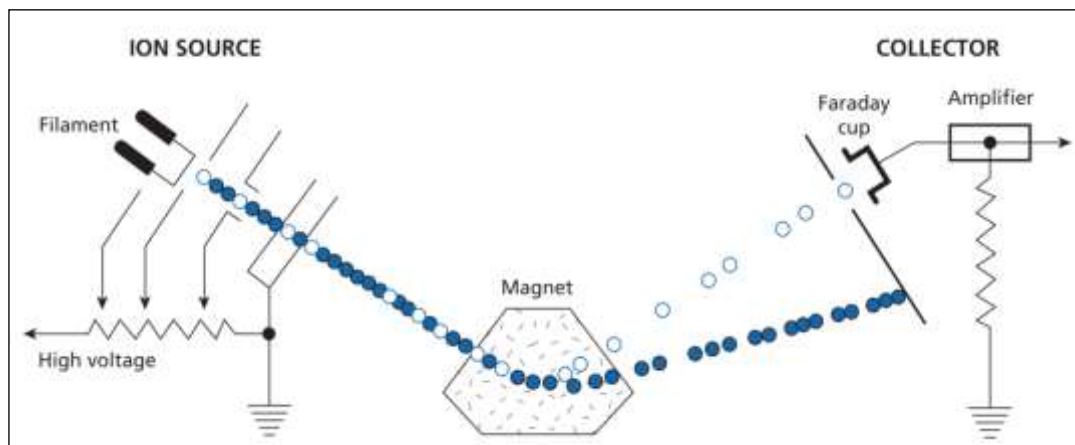


Figura 12 - Esquema de funcionamento do TIMS. Os círculos vazados e sólidos indicam isótopos leves e pesados respectivamente (Allégre, 2008).

Depois de separadas, as partículas são captadas por sensores metálicos separados do tubo analisador por pequenas janelas. Um computador acoplado aos espectrômetros de massa através de interfaces adequadas controla as diversas operações do equipamento. As correntes iônicas obtidas por um voltímetro digital são armazenadas e processadas posteriormente pelo computador, e desta forma as razões isotópicas assim são obtidas.

3.2 AMOSTRAGEM

A amostragem ocorreu em Minas Gerais, ao longo das rodovias BR 040 e BR 135, entre os municípios de Belo Horizontes e Montes Claros.

Foram coletadas 23 amostras de rochas das formações carbonáticas do grupo, totalizando oito amostras da Formação Sete Lagoas, duas amostras da Formação Serra de Santa Helena, e treze amostras da Formação Lagoa do Jacaré.

3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

O processamento das amostras foi realizado em duas etapas: preparação física e preparação e abertura química das amostras. Estes procedimentos serão descritos a seguir.

3.3.1 PREPARAÇÃO FÍSICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES EM ROCHA TOTAL

A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Preparação de amostras da UFRGS, e teve início pelo controle e homogeneização das amostras, a fim de evitar a análise de material cujas concentrações de Sr tenham sido alteradas por alterações e/ou migração para estruturas mais favoráveis. Para controle de potencial contaminação, as amostras foram embaladas, individualmente, em sacos plásticos identificados antes de submetidas à britagem em prensa hidráulica.

Com a utilização de uma prensa hidráulica, foram esmagadas com cargas acima de 10 toneladas. O material recolhido é então separado para posterior pulverização feita em um moinho de bolas. No caso de eventual dificuldade para utilização da sala de preparação, utilizou-se também gral e pilão para pulverização, conseguindo chegar ao mesmo resultado do moinho de bolas.

As amostras pulverizadas são colocadas em frascos de *teflon* a fim de evitar contaminação externa antes da preparação química.

3.3.2 PREPARAÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DE $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Para realização da análise em espectrômetro de massas, são necessários alguns estágios de preparação química das amostras: pesagem, abertura da amostra e separação química. Os procedimentos detalhados a seguir são realizados como padrão no Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS.

3.3.2.1 ABERTURA DA AMOSTRA

A abertura das amostras para separação e coleta da alíquota de estrôncio é feita através da digestão em ácido acético, como descrito a seguir.

Para abertura da amostra, são adicionados 5 mL do ácido a 20% a frio em 0,1 gramas de amostra em um tubo de ensaio de polipropileno, que é colocado no ultrassom por 45 minutos e em seguida é centrifugado durante 10 minutos. O sobrenadante (líquido) é coletado em um *Savillex* e posto para secar em chapa elétrica em capela, e após a completa evaporação da fase líquida adiciona-se ao recipiente 3 mL de HCl 2,5N fracionadamente (1 mL por vez) a fim de retirar toda amostra do *Savillex*, colocando esta em um tubo de ensaio de polipropileno para centrifugá-lo por 10 minutos. Após a centrifugação as amostras estão prontas para a fase de separação química.

3.3.2.2 SEPARAÇÃO QUÍMICA

Este estágio da preparação das amostras é feito em colunas de separação catiônica, que se valem do uso de resinas para segregação dos elementos de interesse de acordo com o comportamento deles.

Para tanto, primeiro é feito um condicionamento da resina (Rb/Sr Ag 50w-x8 200-400 *mesh hydrogen form*) da coluna Rb-Sr através da adição de 20 mL de ácido clorídrico (HCl) 2,5N na coluna. Em seguida 1 mL da amostra, preparada na etapa de abertura, é adicionado à coluna. Visando a eluição da amostra (dissolução ácida), dá-se início a fase de lavagem por meio da adição de 1 mL HCl 2,5N, que é repetida por mais duas vezes, seguido de mais 20 mL HCl 2,5N; todos os eluidos devem ser desprezados.

A coleta das alíquotas de elementos tem início pela fase do Rb. São adicionados a coluna mais 6 ml de HCl 2,5N, entretanto, como este estudo baseia-se na análise das razões de Sr, esta fase foi descartada. Antes da nova fase de separação, são adicionados 17 mL de HCL 2,5N na coluna, desprezando-se em seguida. A coleta da alíquota de Sr tem início com a adição à coluna de 14 mL de HCl 2,5N, coletados em *Saville* de 15 mL, aos quais se adiciona 2 gotas de HNO₃ 7,0N. O recipiente, com a alíquota de Sr em solução ácida, é colocado para secar, aberto, em chapa quente.

As soluções das amostras são então depositadas sobre os filamentos metálicos, para prosseguirem para análise no TIMS.

3.3.3 PREPARAÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DE C E O

As amostras selecionadas para a análise de C e O foram as mesmas selecionadas para análise das razões de Sr. Aproximadamente 20mg de amostra foi pesada e colocada em um tubo de reação ao qual foi adicionado ácido ortofosfórico (H₃PO₄), 100%. O tubo é levado à linha de extração para retirada do ar e consequente implantação de vácuo no sistema. O tubo é então colocado em banho-maria, a 25°C, ocasionando a seguinte reação:



O tempo de reação varia de acordo com a composição do carbonato na amostra. Amostras com calcita pura requerem um tempo menor do que as que contém dolomita. A rotina do laboratório utiliza o intervalo de 24 horas para amostras

com calcita (pura ou magnesiana) e 72 horas para amostras dolomíticas. A temperatura deve ser controlada durante o período de reação, devido às correções realizadas para o fracionamento do oxigênio a partir da calcita, que é constante e depende da temperatura (Nascimento, 2002).

O gás CO_2 liberado é coletado na linha de extração (Figura 13), é coletado em um sistema de injeção dupla (*Isotech Duplo inlet*), e analisado nos espectrômetros de massa *SIRA II* triplo ou *ThermoFinnigan Delta V Advantage*. Os resultados foram reportados na notação δ (delta) em permil (‰) relativo ao padrão VPDB. As incertezas nas medições dos isótopos são de 0,1‰ para carbono e 0,2‰ para oxigênio, e são baseadas em múltiplas análises em um padrão interno ao laboratório (BSC).

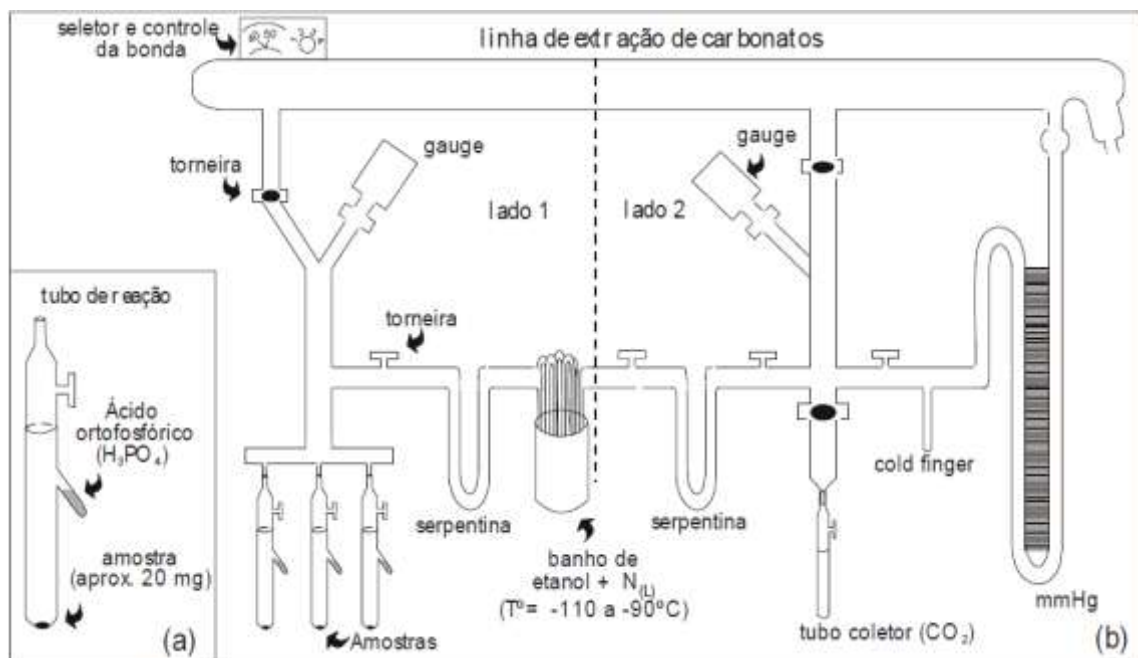


Figura 13 - A) Tubo de reação utilizado nas análises de C e O em material carbonático; B) esquema da linha de extração de carbonatos em operação no Laboratório de Isótopos estáveis NEG – LABISE (Extraído de Nascimento, 2002).

3.4 REFERÊNCIAS

- BABINSKI, M. 2011 **Geocronologia das glaciações criogenianas do Brasil central**. 182p. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo.
- BROECKER, W. S.; PENG, T. H. *Tracers in the Sea*. Lamont-Doherty Geol. Obs., Palisades, NY, 1982. 690 p.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. *An introduction to the rock forming minerals*. London, Longman, 1965. 528 p.
- DICKIN, A. P. *Radiogenic isotope geology*. Cambridge University Press, 2005.
- FAURE, G.; MENSING, T. M. *Isotopes: principles and applications*. John Wiley & Sons Inc, 2005.
- GERALDES, M.C. **Introdução à Geocronologia**. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo. 2010. 146 pp.
- HALVERSON, G. P., WADE, B. P., HURTGEN, M. T., & BAROVICH, K. M. Neoproterozoic chemostratigraphy. *Precambrian Research*, v. 182, n. 4, p. 337-350, 2010.
- MORSE, J. W.; MACKENZIE, F. T. *Geochemistry of sedimentary carbonates*. Elsevier, 1990.
- NACIMENTO, R.S.C. Químioestratigrafia de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ aplicada a mármore da Faixa Seridó, província Borborema, NE do Brasil: implicações geotectônicas e paleoambientais. Tese de doutorado. 133p. 2002.

4 ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GEOLOGIA USP – SÉRIE CIENTÍFICA**ISÓTOPOS DE SR, C E O DOS CARBONATOS DAS FORMAÇÕES SETE LAGOAS E LAGOA DO JACARÉ: IMPLICAÇÕES PARA A IDADE DEPOSICIONAL E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA BACIA BAMBUÍ**

Cunha, R.B.; Remus, R.V.D.; Pimentel, M.M.; Sial, A.N.

RESUMO: A idade e intervalo de deposição do Grupo Bambuí no Cráton São Francisco tem sido motivo de controvérsia ao longo das últimas décadas. Este trabalho integra dados de razões isotópicas de estrôncio aos isótopos de C e O, aplicados na quimioestratigrafia, com a finalidade de um melhor entendimento das características da porção basal da bacia onde o Grupo Bambuí foi formado. A formação Sete Lagoas, a mais basal do grupo, apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,70714 a 0,7077, enquanto a Formação Lagoa do Jacaré apresenta valores entre 0,70746 a 0,7082, ambas abaixo do esperado para o Ediacarano, idade que é definida pela presença de fósseis índice, recentemente descobertos e reportados. Os resultados das análises de isótopos estáveis revelam comportamento similar ao já esperado para o grupo: $\delta^{18}\text{O}$ entre -5,60 e -15,04‰ para a Formação Lagoa do Jacaré e entre -8,31 e -11,08‰ para a Formação Sete Lagoas; e $\delta^{13}\text{C}$ entre +0,19 e +11,19‰ para a Formação Sete Lagoas (sequência superior); e entre +5,23 e +11,99‰ para a Formação Lagoa do Jacaré. Os resultados confirmam a hipótese de que a bacia representou um ambiente restrito, onde a homogeneização isotópica foi dificultada por barreiras físicas, e sugere que a ligação entre a bacia e o mar aberto possa ter ocorrido ao norte da bacia.

Palavras-chave: Grupo Bambuí; Quimioestratigrafia

ABSTRACT: The Sanfranciscana Basin, especially the Bambuí Group, covers a large area of the São Francisco Craton and of the eastern margin of the Brasília Fold Belt. The depositional age of the Bambuí Group has been controversial for more than three decades. This work includes Sr-C-O isotopic compositions and applied to chemostratigraphy with the purpose of a better understanding of the basin characteristics. The basal Sete Lagoas Formation, shows values of $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ranging from 0.70714 to 0.7077, while the Lagoa do Jacaré Formation has values between 0.70746 to and 0.7082, both lower than the expected values for the Ediacaran age which was indicated by the presence of an index fossils, recently discovered and described. The results of stable isotope analyzes show similar behavior to the expected for the group: $\delta^{18}\text{O}$ between -5.60 and -15.04 ‰ for the Lagoa do Jacaré Formation and between -8.31 and -11.08 ‰ for the Sete Lagoas Formation; and $\delta^{13}\text{C}$ between +0.19 and + 11.19 ‰ for the Sete Lagoas Formation (upper sequence); and between +5.23 and + 11.99 ‰ for the Lagoa do Jacaré Formation. The results confirm the hypothesis that the basin formed in a confined restricted environment where physical barriers made the isotopic homogenization more difficult. This suggests that the connection between the basin and the open sea may have occurred along the northern part of the basin.

Keywords: Bambuí Group; Chemostratigraphy

4.1 INTRODUÇÃO

A Bacia Sanfranciscana, em especial o Grupo Bambuí, cobre extensas áreas do Cráton do São Francisco e da borda oriental da Faixa Brasília e representa uma importante bacia para exploração de gás. Exsudações de gás são há muito conhecidas no leito do Rio São Francisco em Minas Gerais e demonstram potencial para exploração. Muito embora dados concretos sobre a fonte do gás sejam desconhecidos, é possível que as rochas geradoras sejam os folhelhos negros que constituem a base do Grupo Bambuí (e.g. Formação Sete Lagoas).

A evolução sobre o conhecimento do Grupo Bambuí, envolvendo as características da bacia onde os sedimentos foram depositados e sua idade, tem se mostrado rápida e controversa ao longo dos últimos anos. Datações em rochas carbonáticas da base da Formação Sete Lagoas indicaram uma idade isocrônica de ca. 740 Ma (Babinski *et al.*, 2007). Por outro lado, Rodrigues (2008) e Pimentel *et al* (2011, 2012) relataram a presença de zircões detríticos nesta formação com idade de ca. 610 Ma e alguns até mais jovens com idades U-Pb de 550 Ma, o que representaria, portanto, a idade máxima de sedimentação da sequência Bambuí. Adicionalmente, segundo Rodrigues (2008), os dados isotópicos mostrando idades de 740 Ma associados à interpretação geofísica, sugerem que a sequência inferior da Formação Sete Lagoas não pertenceria ao Grupo Bambuí. Entretanto, a descoberta recente de fósseis índice do gênero *Cloudina* trouxeram a idade do grupo para ca. 540Ma (Warren *et al.*, 2014).

Este trabalho tem como objetivo contribuir e ampliar o conhecimento regional da geoquímica isotópica e em consequência do contexto geológico da bacia onde o Grupo Bambuí foi formado, através da análise e correlação de dados de isótopos estáveis (C e O) e de razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de amostras coletadas na porção sul da bacia, com dados publicados por outros autores, abrangendo uma área maior da bacia. Não se trata, portanto, de um trabalho de refinamento detalhado da quimioestratigrafia da bacia Bambuí, mas sim de reconhecimento regional das duas unidades basais do Grupo Bambuí

4.2 LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA

4.2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área do estudo está situada no estado de Minas Gerais, em um trecho que compreende uma porção entre o norte da capital Belo Horizonte e o município de Sete Lagoas na Rodovia BR040, e segue na BR 135, desde o município de Paraopeba até o sul do município de Montes (Figura 14) Claros. As amostras foram coletadas em afloramentos em cortes de estrada, onde ha exposição das formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, e Lagoa do Jacaré, pertencentes ao Grupo Bambuí.

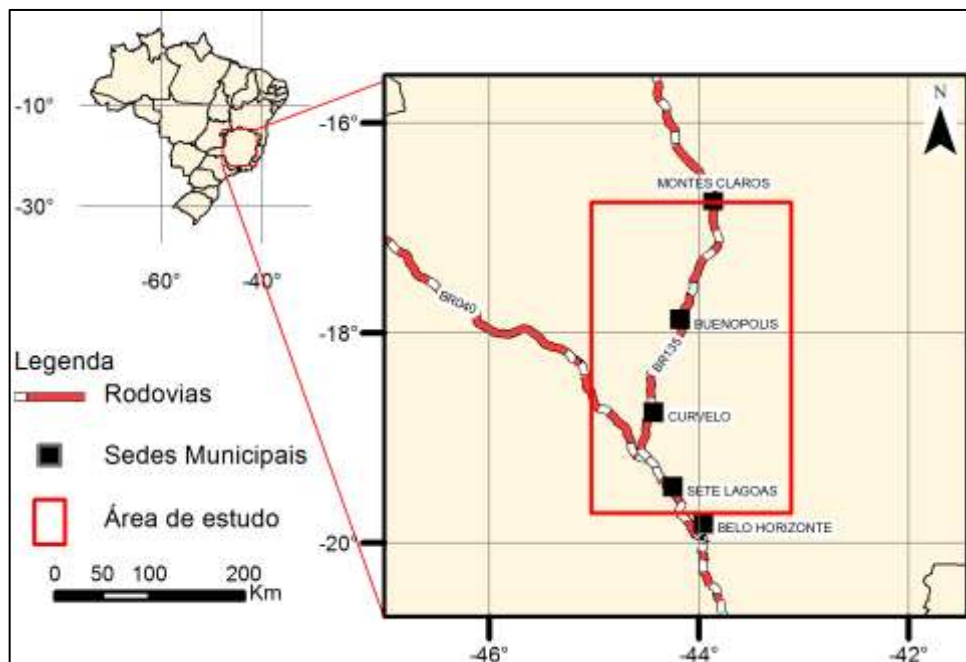


Figura 14 - Mapa de localização da área de estudo.

4.2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo compreende as coberturas neoproterozóicas no Cráton São Francisco (CSF). De acordo com Alkmim *et al.* (1993), a borda do cráton, bem como da placa que o originou, formaram-se após a fragmentação diacrônica do Supercontinente Rodinia e da posterior amalgamação com blocos remanescentes durante a Orogênese Brasiliana. Segundo Pereira (2007), a geometria do CSF está

relacionada às orogêneses proterozoicas. A primeira orogênese, paleoproterozoica, soldou os diferentes elementos crustais arqueanos que formam o cráton, enquanto a segunda orogênese, neoproterozoica, retrabalhou seus limites, resultando em seu formato atual. O CSF possui a maior parte de sua área recoberta por unidades pré-cambrianas e fanerozoicas (Figura 15), sendo possível identificar três grandes unidades morfotectônicas: a Bacia do São Francisco, na qual está inserido o Grupo Bambuí, o Aulacógeno do Paramirim, e uma grande parte do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (Almeida, 1977).

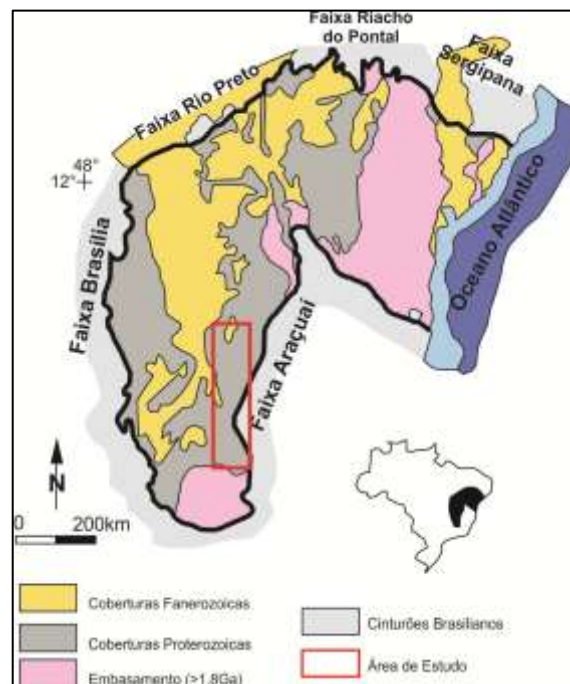


Figura 15 - Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco (Modificado de Alkmim, 2004).

A Bacia do São Francisco (BSF) é uma depressão tectônica de orientação norte-sul, que se estende por cerca de 1100 km, desde seu limite sul na região do Arco do Alto Paranaíba, no Triângulo Mineiro, ligando-se ao norte à Bacia do Paranaíba na região da Chapada das Mangabeiras. A bacia se encontra limitada na base, por uma discordância com as rochas sedimentares do Supergrupo Espinhaço (Pflug, 1965; 1968; Pflug e Renger, 1973). Para leste, os sedimentos encontram-se sobre uma discordância com as rochas do embasamento. Em termos litoestratigráficos, as rochas da BSF correspondem aos grupos Macaúbas e Bambuí,

à Formação Salinas e a todas as unidades que foram depositadas recobrando a discordância basal e/ou a conformidade correlativa dessa bacia, cujo desenvolvimento está relacionado à instalação de um ambiente glacial no CSF. Vestígios dessa glaciação foram reportados nas rochas sedimentares do Grupo Macaúbas (Isotta *et al.*, 1969; Walde, 1976; Hettich, 1977; Karfunkel e Karfunkel, 1977; Karfunkel e Hoppe, 1988) e da Formação Bebedouro, no Grupo Una (Söfner, 1973; Karfunkel e Hoppe, 1988; Guimarães, 1996).

Os ambientes deposicionais encontrados na BSF compreendem zonas proximais de geleiras, sendo eles evidenciados por pavimento estriado nos sedimentos previamente litificados da Bacia do Espinhaço e do embasamento (Karfunkel e Hoppe, 1988); a área continental, com deposição de tilitos e desenvolvimento de planícies de *out-wash*; zona transicional, entre o continente e o mar, com aporte de detritos oriundos das geleiras (Karfunkel e Hoppe, 1988); e zona distal, na qual os sedimentos dessa bacia recobrem o complexo de rochas ígneas-migmatíticas do embasamento.

O Grupo Bambuí (GB) é composto por uma sequência pelito-carbonática, com espessura estimada de 850m, que recobre diversas unidades da Faixa Brasília e do CSF. O GB está sobreposto aos diamictitos da Formação Jequitaí. Segundo Dardenne (2000), o GB é dividido em cinco formações:

- F) Formação Sete Lagoas: é dividida em dois membros: Pedro Leopoldo e Lagoa Santa (Tuller *et al.*, 2010). Segundo o autor, o Membro Pedro Leopoldo é constituído por calcilutitos e calcissiltitos em camadas tabulares delgadas e espessas, laminadas, contínuas e/ou lenticulares com presença frequente de siltito esverdeado e intercalado numa disposição rítmica. Ocorrem ainda calcário dolomítico, doloarenito, níveis de marga, intraclastos e esteiras microbianas. Já o Membro Lagoa Santa é constituído de calcarenito fino a médio, calcirrudito, calcilutito, calcissiltito fino a grosso, esteiras microbianas e estromatólitos (*gymnosolenides*).
- G) Formação Serra de Santa Helena: composta essencialmente de folhelho e siltitos laminados, com raras camadas pouco espessas de arenito fino. São encontradas estruturas sedimentares do tipo estratificação cruzada e plano-paralela.

- H) Formação Lagoa do Jacaré: composta predominantemente de calcários oolíticos e pisolíticos bem como por siltitos carbonáticos de coloração verde.
- I) Formação Serra da Saudade: representada por folhelhos, siltitos esverdeados e algumas lentes de calcário cinza.
- J) Formação Três Marias: compreende unidade siliciclástica constituída por arcóseos e siltitos com presença comum de estruturas do tipo estratificação plano-paralela e marcas de onda.

As rochas sedimentares do Grupo Bambuí foram depositados em uma plataforma epicontinental, inicialmente em um ambiente de mar raso, evoluindo para ambiente recifal, que foi seguido por um sistema aluvial (Marini *et al.*, 1984, Dardenne, 2000, D'Agrella-Filho *et al.*, 2000). A transgressão pós-glacial inundou o cráton, período no qual sedimentos pelíticos e carbonáticos foram depositados na porção basal do Grupo Bambuí. Essa associação sedimentar, que sucede a Formação Jequitáí, e compreende três megaciclos regressivos, sendo que cada um teve início em uma rápida transgressão de amplitude regional, é associada à repentina subsidência da bacia passando a plataformas rasas sob o domínio de marés (Pimentel *et al.*, 2011). O primeiro megaciclo compreende a Formação Sete Lagoas; o segundo megaciclo compreende as formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré; e o terceiro megaciclo abrange as formações Serra da Saudade e Três Marias (Figura 16) (Dardenne, 2000).

		Formação	Litologia	Sequência	Ambiente
Grupo Bambuí	Subgrupo Parapeleba	Três Marias (~100m)	Siltitos	Megaciclo I (argilo - arenosa)	Ambiente fluvio-continental, ambiente marinho a litorâneo, alternante. Ambiente marinho agitado submetido à influência das ondas e correntes de maré; exposição subaérea temporária frequente na zona de maré
			Arenitos		
			Arenitos acósios		
		Serra da Saudade (25 - 200m)	Folhelhos		
			Argilitos		
	Lagoa do Jacaré (0 - 100m)	Siltitos	Megaciclo II (argilo - carbonatada)	Ambiente marinho litorâneo, agitado submetido a influência das ondas e correntes de maré	
		Calcário (lentes)			
		Calcário oolítico			
		Calcário pisolítico			
		Siltitos			
Serra de Santa Helena (150 - 220m)	Margas	Megaciclo III (argilo - carbonatada)	Ambiente marinho sublitorâneo, abaixo do nível de base das ondas e correntes de maré, profundidade moderada		
	Folhelhos				
Sete Lagoas (200 - 250m)	Siltitos				
	Calcário dolomítico				
		Calcário microcristalino			
		Dolomito com oólitos e estromatólitos			
Grupo Macaúbas		Jequitáí (0 - 20m)	Paraconglomerado com seixos de quartzo, calcário, dolomito, cherts, gnaíse, micaxisto, granito e rocha vulcânica		Ambiente Glacial

Figura 16 - Coluna estratigráfica e de ambientes de sedimentação dos Grupos Bambuí e Macaúbas (Modificada por Santos, 2011).

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta das amostras ocorreu em perfis em cortes de estrada, ao longo das Rodovias Federais BR 040 e BR 135 em Minas Gerais. Ao todo, foram coletadas 23 amostras de rochas carbonáticas e selecionadas 21 para análise de isótopos estáveis (C e O) e para determinação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

A metodologia de processamento das amostras seguiu o protocolo do Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS (LGI) para análise de rocha total. As razões de estrôncio foram determinadas no próprio LGI, enquanto as análises de C e O foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pernambuco.

A abertura das amostras, para separação e coleta da alíquota de Sr, foi realizada através da digestão em ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$). Em um tubo de ensaio de polipropileno são adicionados 0,1 gramas da amostra e 5ml de $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, 20%, a frio. O tubo é colocado no ultrassom por 45 minutos e posteriormente centrifugado durante 10 minutos. O sobrenadante, coletado e colocado em um recipiente de *Savillex*, é colocado para secar em chapa elétrica em capela. Após completa evaporação da fase líquida, adiciona-se ao recipiente 3ml de HCl, 2,5N, 1ml por vez, a fim de retirar toda amostra do recipiente. A amostra é colocada em um tubo de ensaio de polipropileno para nova centrifugação que dura mais 10 minutos. A separação química foi realizada em colunas de separação catiônica com resina AG 50W-X8 200-400 *mesh hydrogen form*. A coleta das alíquotas de elementos inicia-se pela fase do Rb. São adicionados 6 ml de HCl, 2,5N, que são descartados após passar pela coluna. Antes da coleta da alíquota de Sr são adicionados 17 ml de HCl, 2,5N desprezando-se em seguida esta solução. São adicionados mais 14 ml de HCl 2,5N, coletados em *Savillex* de 15 ml, aos quais se adiciona 2 gotas de HNO_3 , 7,0N. O recipiente aberto, com a alíquota de Sr em solução ácida, é colocado para secar, em chapa quente. A solução foi depositada sobre os filamentos metálicos e seguiu para análise no TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometer*) modelo TRITON da Thermo-Finnigan.

A extração de CO₂, para a realização das análises de C e O, foi feita em uma linha de alto vácuo convencional após a reação da amostra com ácido ortofosfórico (H₃PO₄), 100%, a 25°C. O gás CO₂ liberado foi coletado em um sistema de injeção dupla (*Isotech Duplo inlet*), e analisado nos espectrômetros de massa *SIRA II* triplo ou *ThermoFinnigan Delta V Advantage*. Os resultados foram reportados na notação δ (delta) em permil (‰) relativo ao padrão VPDB. As incertezas nas medições dos isótopos são de 0,1‰ para carbono e 0,2‰ para oxigênio, e são baseadas em múltiplas análises em um padrão interno ao laboratório (BSC).

4.4 RESULTADOS

Os resultados das análises isotópicas das razões de estrôncio e dos isótopos estáveis são apresentados na Tabela 5.

As análises das razões de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr apresentaram valores médios de 0,7076 e 0,7078 para as formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, respectivamente. As razões compreenderam os intervalos de 0,70714 a 0,7077 para a Formação Sete Lagoas e 0,70746 a 0,7082 para a Formação Lagoa do Jacaré. As amostras cujos valores se apresentaram mais elevados (Bueno – 0,71342 e LAP 06 – 0,71134), não foram consideradas neste estudo, pois, segundo Misi *et al.* (2007), os valores mais baixos de quaisquer intervalos observados são considerados os mais representativos da composição isotópica primária, refletindo as condições deposicionais.

Os resultados das análises de $\delta^{18}\text{O}$ apresentaram valores que variaram entre -5,60 e -15,04‰ para a Formação Lagoa do Jacaré, enquanto que para a formação Sete Lagoas os resultados obtidos variaram entre -8,31 e -11,08‰. O valor médio de $\delta^{18}\text{O}$ para a formação Sete Lagoas foi de -9,64‰, enquanto que para a Formação Lagoa do Jacaré foi de -9,14‰. Já os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ apresentam valores entre +0,19 e +11,19‰ para a Formação Sete Lagoas, ao passo que, para a Formação Lagoa do Jacaré, variaram entre +5,23 e +11,99‰, apresentando valores médios de +9,50 e +9,75‰ para as formações Lagoa do Jacaré e Sete Lagoas, respectivamente. Um perfil esquemático do GB, com os perfis isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$, é apresentado na Figura 17.

Tabela 5 Resultados das análises das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, e de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$

Amostra	Formação	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	% S.E	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ VPDB	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ VPDB
Bueno	Lagoa do Jacaré	0,71342	0,0022	5,23	-15,04
Buenon 1	Lagoa do Jacaré	0,70804	0,0021	8,63	-7,54
Buenon 2	Lagoa do Jacaré	0,70771	0,0021	8,68	-7,89
Buenon 3	Lagoa do Jacaré	0,70766	0,0011	9,43	-7,30
Buenon 4	Lagoa do Jacaré	0,70805	0,0016	9,11	-7,59
Buenon 5	Lagoa do Jacaré	0,70815	0,0026	9,46	-8,04
Buenon *06	Lagoa do Jacaré	0,7076	0,0016	9,22	-6,98
ALF DIAS 1C	Lagoa do Jacaré	0,70808	0,0011	9,67	-9,70
ALF DIAS 2	Lagoa do Jacaré	0,70755	0,0022	9,85	-8,26
MCS 1A SUL	Lagoa do Jacaré	0,7082	0,0026	10,19	-13,10
MCS SUL2	Lagoa do Jacaré	0,70803	0,0034	8,95	-13,39
KM 302A	Lagoa do Jacaré	0,70779	0,003	9,61	-6,18
KM 302B	Lagoa do Jacaré	0,70761	0,0025	10,52	-5,60
LJ1 TOPO	Serra de Santa Helena	0,70746	0,0019	11,90	-10,34
LJ 2 BASE	Serra de Santa Helena	0,70758	0,0018	11,99	-10,21
PRF 2	Sete Lagoas	0,70754	0,0019	11,09	-9,93
PRF 3	Sete Lagoas	0,70754	0,0015	10,91	-10,30
PRF 5	Sete Lagoas	0,70714	0,0033	11,03	-10,34
LAP 2	Sete Lagoas	0,70765	0,0016	7,06	-8,56
LAP 3	Sete Lagoas	0,70764	0,0008	7,19	-8,31
LAP 06	Sete Lagoas	0,71134	0,0017	0,19	-8,94

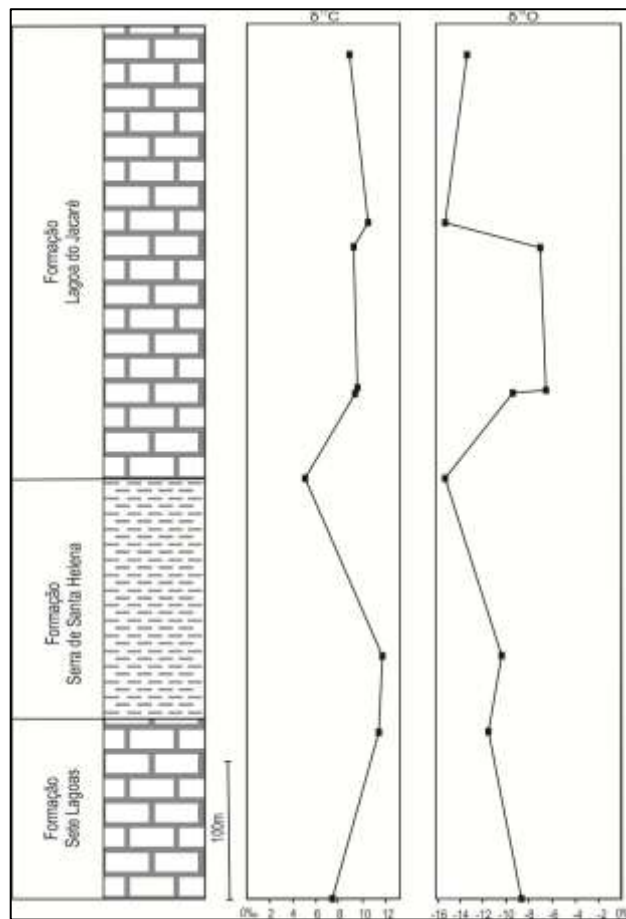


Figura 17 - Perfil isotópico em seção colunar esquemática do Grupo Bambuí.

4.5 DISCUSSÃO

A análise das amostras de carbonatos compreende as formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, cujas razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ apresentaram valores médios de 0,7076 e 0,7078 respectivamente. Misi *et al.* (2007) obtiveram valores entre 0,707436 e 0,707507 nas amostras menos alteradas, e ainda segundo os autores, valores encontrados para rochas na base da formação Sete Lagoas, logo acima dos diamictitos da Formação Jequitai (0,70720 a 0,70748). Estes dados são semelhantes aos encontrados pelo autor em rochas do topo desta formação (ca. 0,7074), sendo coerentes também com os encontrados no presente trabalho: 0,70714 a 0,7077 para a Formação Sete Lagoas e 0,70746 a 0,7082 para a Formação Lagoa do Jacaré. Segundo Alvarenga *et al.* (2007), elevados valores das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ têm sido interpretados como devidos a efeitos pós deposicionais, assim, apenas as amostras com razões isotópicas de Sr inferiores a 0,7079 foram

utilizadas. Além disso, Fraga *et al.* (2014) obtiveram resultados parecidos para a Formação Sete Lagoas, com teores de Sr 0,7083, ainda dentro do limite de carbonatos com sinal isotópico pouco alterado ($Mn/Sr < 2$).

Quando plotadas na curva de variação global proposta para o Neoproterozoico (Halverson *et al.*, 2007) estas razões indicam idades entre 630 e 600Ma (Cunha, 2012). Entretanto, de acordo com a curva apresentada por Misi *et al.*(2007) (modificada de Brasier e Shields, 2000), estas razões de Sr estariam mais bem relacionadas com idades entre 580 e 570Ma. Adicionalmente, descobertas recentes de fósseis do gênero *Cloudina* trazem a idade da Formação Sete Lagoas para aproximadamente 540Ma (Warren *et al.*,2014), o que concorda com as idades de máxima deposição propostas por Pimentel *et al* (2012) e Paula-Santos *et al.*(2014). Contudo, ainda de acordo com Halverson *et al.* (2007), as razões isotópicas de $^{87}Sr/^{86}Sr$ para ca. 548Ma seriam próximas a 0,7085, assim, ao contrário de outras unidades Ediacaranas, o Grupo Bambuí teria razões mais baixas do que o conhecido para o período em questão. Entretanto, mesmo não atingindo os valores esperados para o período, é possível verificar que existe um incremento das razões isotópicas de estrôncio, que chegam a superar 0,7080 na Formação Lagoa do Jacaré (Figura 18). Este comportamento evidencia a possível homogeneização do conteúdo isotópico durante as eventuais conexões em eventos de transgressão entre a bacia e o oceano.

Sobre o comportamento dos isótopos estáveis, e sua relação entre as diferenças deposicionais observadas ao longo da Formação Sete Lagoas, segundo Misi *et al* (2007), valores elevados de $\delta^{13}C$ estariam relacionados à sequência superior da formação, cujo intervalo abrangeria valores entre +5 e +14‰, portanto as amostras coletadas neste trabalho devem corresponder à sequência superior da formação, como pode ser visualizado na Figura 19. De acordo com Warren *et al.*(2014), a ocorrência de fósseis do tipo *Cloudina*, estaria associada a valores de $\delta^{13}C$ próximos de zero, no topo da sequência basal, evidenciando que a ocorrência dos fósseis precede a excursão fortemente positiva observada.

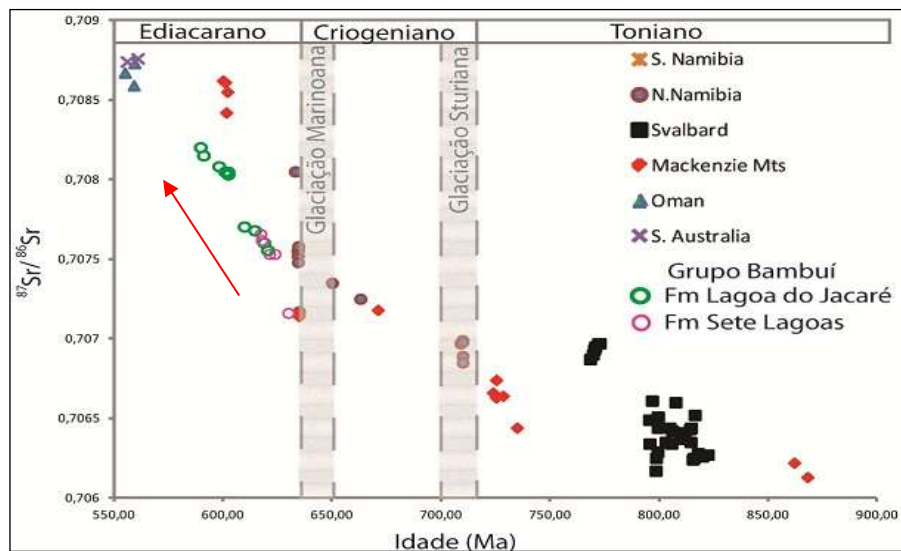


Figura 18 - Curva de variação isotópica com os dados referentes ao Grupo Bambuí evidenciando o incremento radiogênico de estrôncio na água do mar e nos carbonatos, indicada pela seta vermelha, durante o período Ediacarano (Modificado de Halverson *et al.* 2007 por Cunha, 2012).

Segundo Reis (2013), os valores fortemente positivos de $\delta^{13}\text{C}$, no topo da sequência superior da Formação Sete Lagoas, estão relacionados ao aumento de atividade microbológica, com presença de lâminas algais e estromatólitos, chegando a +10‰. Este comportamento isotópico estaria marcando a transição entre o controle de deposição puramente químico para um controle influenciado pela produção orgânica na bacia. Para a Formação Lagoa do Jacaré, Reis (2013) apresenta valores muito semelhantes aos apresentados neste trabalho, cuja interpretação paleoambiental seria um ambiente com circulação restrita, com condições que propiciariam a preservação de matéria orgânica e o registro de eventuais variações globais nos reservatórios de carbono.

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$, em ambas as formações, variando entre -8 e -15‰ são semelhantes aos apresentados por Fraga *et al.* (2014), que mostram uma variação entre -8 e -10‰, e corroboram a interpretação de um ambiente de circulação restrita, com taxas de evaporação superiores às taxas de influxo hídrico na bacia, com apresentam um enriquecimento progressivo para o topo. Segundo Vieira *et al.* (2007), estes calcários poderiam ser interpretados como um depósito rampa externa associada à água do mar supersaturado em CaCO_3 em um ambiente calmo, e que progressivamente passam a um ambiente com mais energia.

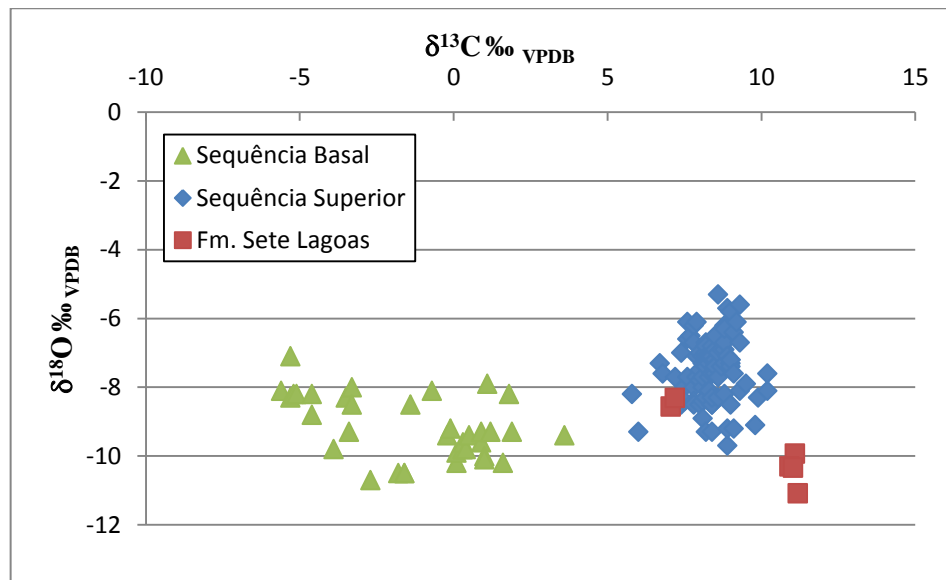


Figura 19 - Gráfico $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$. Os quadrados vermelhos representam as amostras apresentadas neste trabalho (Modificado de Paula-Santos *et al.* 2014).

Enquanto fósseis de estromatólitos e esteiras algais aparecem amplamente dispersos, os fósseis de metazoários são identificados, até o momento, em uma área mais restrita, localizados na porção central da bacia. Este comportamento pode indicar que a comunicação desta parte da bacia com outros mares, que ocorreria preferencialmente naquela região, possibilitou a maior ocorrência dos táxons observados, bem como um ambiente mais propício a proliferação da vida dos mesmos. Adicionalmente, a presença desses fósseis índice sugere que, pelo menos durante o tempo necessário para o estabelecimento desta fauna no local, estes mares teriam comunicação frequente com os demais locais onde a ocorrência destes fósseis caracterizam a idade em questão, e onde as razões de Sr esperadas são maiores que 0,70850.

A restrição de circulação entre esses mares internos à BGB e o oceano, impossibilitaria a homogeneização isotópica das razões de Sr. Misi *et al.* (2007) sugere uma redução nas razões de estrôncio pós-glaciais desde 0,7078 até 0,7072 durante a excursão positiva de $\delta^{13}\text{C}$. Segundo Narbonne *et al.* (2012), a curva de variação da razão isotópica mundial de estrôncio apresenta ligeira queda durante o período Ediacarano seguido por um novo incremento nas razões, alcançando o valor de 0,7080. Este comportamento pode caracterizar uma fase de quiescência da bacia. Um menor influxo fluvial, com pouco aporte de sedimentos detríticos, associado à restrição geográfica da bacia, pode ter auxiliado na manutenção das

razões isotópicas de Sr mais baixas, anteriormente relacionadas aos carbonatos de capa pós-Marinoanos.

Em comparação aos carbonatos da base do Grupo Una, que está localizado na porção mais a norte do CSF, na Bahia, correlatos a Formação Sete Lagoas, apresentam valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ acima de 0,7078, chegando a 0,70847 (Misi e Veizer, 1998). Esses valores mais próximos do esperado para o período Ediacarano, na formação basal do Grupo Una, apresentam redução gradativa para o topo do grupo, chegando a valores entre 0,70745 a 0,70769. Considerando que o Grupo Bambuí está relacionado a um ambiente mais restrito, com teores de Sr que refletem uma homogeneização isotópica ineficiente, talvez seja possível relacionar este comportamento de inversão isotópica do Grupo Una à existência de uma descontinuidade entre estas bacias. As transgressões permitiriam a homogeneização parcial do conteúdo isotópico entre as bacias, com entrada de material pela área onde hoje é o norte/nordeste do CSF.

Segundo Crowmey & Burke (1998), a dinâmica de passagens oceânicas que comunicam diferentes bacias pode ser importante na migração de organismos terrestres e marinhos, mas também afetará a circulação oceânica tanto em superfície quanto em profundidade (Figura 20). Consequentemente as trocas termo-halinas e a homogeneização isotópica entre massas oceânicas também serão afetadas. Um cenário possível seria a formação de células de circulação restrita, formadas durante o amalgamento do Gondwana Oeste, a partir do fechamento das bacias e formação dos cinturões orogênicos entre os crátons africanos e sul-americanos (Kearey, 2014), acarretando em uma dificuldade de homogeneização isotópica observada no Grupo Bambuí.

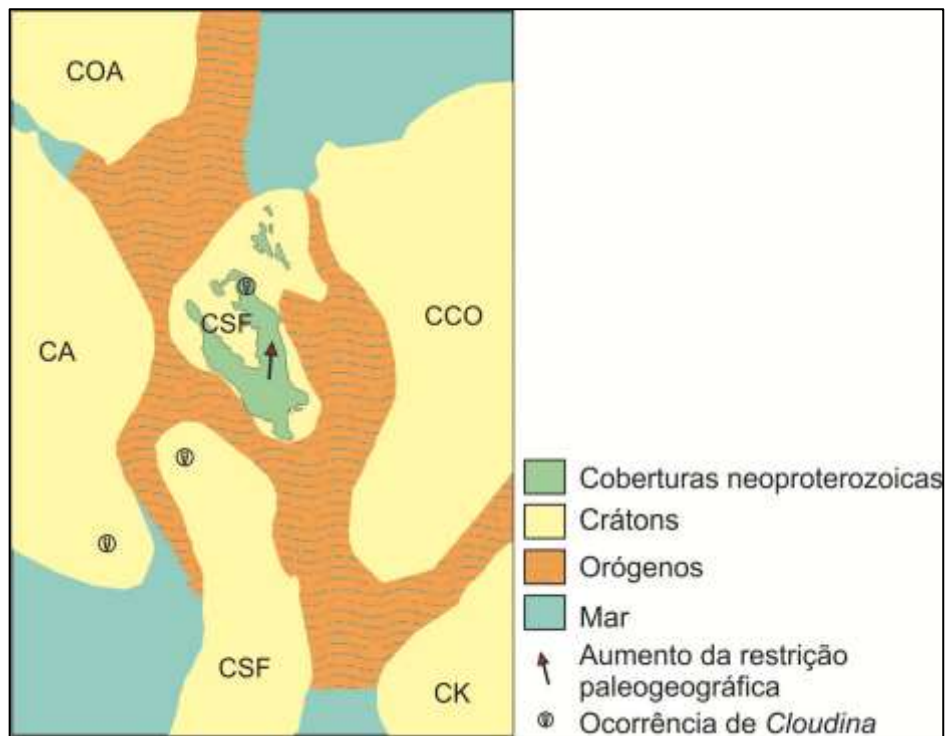


Figura 20 - Reconstrução paleogeográfica mostrando os crátons pré-Cambrianos próximos ao Cráton São Francisco (CSF). Os orógenos indicados compreendem cinturões desde o Neoproterozoico superior até o Cambriano inferior. CK – Cráton Kalahari, CA – Cráton Amazônico, CCO – Cráton Congo, COA – Cráton Oeste Africano. (Baseado em Torsvik e Cocks, 2013; Mendes & Lemos, 2007 e Warren *et al.*, 2014).

4.6 CONCLUSÕES

- (1) Os carbonatos da Formação Sete Lagoas inseridos na área de estudos compreendem a sequência superior, definida pela presença de estromatólitos e esteiras algais, e assinaturas isotópicas características, com $\delta^{13}\text{C}$ entre +5 e +14‰;
- (2) Apesar da composição isotópica de estrôncio - entre 0,7076 e 0,7078 para as formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré, respectivamente - ser menor do que a esperada (acima de 0,7085) para a idade atualmente aceita, seu incremento ao longo do tempo apresenta valores relacionáveis ao Ediacarano, com idades entre 600 e 570Ma;
- (3) A eventual homogeneização entre a bacia Bambuí e a bacia onde foi depositado o Grupo Una é evidenciada pela inversão isotópica presente no

registro desta. Sua posição, no nordeste do Cráton São Francisco reforça a possibilidade de uma ligação entre as bacias pelo norte/nordeste do cráton, evidenciada, também, pela presença de fósseis índice limitada, até o momento, a esta porção da bacia.

- (4) Possivelmente ocorreram restrições paleogeográficas para dispersão dos táxons considerados fósseis índice devido a barreiras criadas pelos cinturões orogênicos neoproterozoicos;

Agradecimentos: Este artigo faz da dissertação de mestrado da autora Rosalia Barili da Cunha, apoiado pelo Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências da Petrobrás – PRH 215 (Convênio FAURGS nº. 6000.0069471.11.4). Os autores agradecem ao PRH 215 pelo fomento dos recursos necessários, ao Laboratório de Geoquímica Isotópica (LGI) do Instituto de Geociências da UFRGS pelo apoio na realização das análises isotópicas das razões de estrôncio, e ao Laboratório de Isótopos Estáveis (NEG – LABISE) do Departamento de Geologia da UFPE pelo apoio na realização das análises de C e O.

4.7 REFERÊNCIAS

- ALKIMIN, F.F.; NEVES, B.B.B.; ALVES, J.A.C. CASTRO. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco-uma revisão. **O Cráton do São Francisco**, v. 1, p. 45-62, 1993.
- ALKIMIN, FF. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 17-34, 2004.
- ALMEIDA, F.F.M. O cráton do São Francisco. **Brazilian Journal of Geology**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
- ALVARENGA, C.J.S., GIUSTINA, M.E.S.D., SILVA, C.N.G., SANTOS, R.V., GIOLA, S.M.C.L., GUIMARÃES, E.M. DARDENNE, M.A., SIAL, A.N., FERREIRA, V.P. Isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. *Rev. Bras. Geociências*, v. 37 n. 4, p. 147-155, 2007
- BABINSKI, M., VIEIRA, L.C., TRINDADE, R.I.F. *Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambuí Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events*. **Terra Nova**, v. 19, n. 6, p. 401-406, 2007.
- BRASIER, M. D., SHIELDS, G. *Neoproterozoic chemostratigraphy and correlation of the Port Askaig glaciation, Dalradian Supergroup of Scotland*. **Journal of the Geological Society**, v. 157, n. 5, p. 909-914, 2000
- CROWLEY, T.J.; BURKE, K. (Ed.). **Tectonic boundary conditions for climate reconstructions**. Oxford University Press, 1998.
- CUNHA, R.B. Químioestratigrafia $^{87}\text{SR}/^{86}\text{SR}$ das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Trabalho de conclusão. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012
- D'AGRELLA-FILHO, M.S.; BABINSKI, M.; TRINDADE, R.I.F.; VAN SCHMUS, W.R.; ERNESTO, M. *Simultaneous remagnetization and U-Pb isotope resetting in Neoproterozoic carbonates of the Sao Francisco craton, Brazil*. **Precambrian Research**, v. 99, n. 3, p. 179-196, 2000
- DARDENNE, M.A. *The Brasília fold belt*. **Tectonic Evolution of South America**, v. 1, p. 231-263, 2000.
- FRAGA, L., NEVES, S. C., UHLEIN, A., SIAL, A. N., PIMENTEL, M. M., & HORN, A. H. *C-, Sr-isotope stratigraphy of carbonate rocks from the Southern Espinhaço Ridge, Minas Gerais, southeastern Brazil*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 633-648, 2014
- GUIMARÃES, J. T. A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. **Unpublished Master Dissertation, IG-Federal University of Bahia, Salvador, Brazil**, p. 146, 1996.

- HALVERSON, G.P.; DUDÁS, F.Ö, MALOOF, A.C., BOWRING, S.A. *Evolution of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ composition of Neoproterozoic seawater. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 256, n. 3, p. 103-129, 2007.*
- HETTICH, M. A glaciação Proterozóica no centro-norte de Minas Gerais Rev. Bras. Geociênc., v. 7, 87–101, 1977.
- ISOTTA, C.A.L., ROCHA-CAMPOS, A.C., YOSHIDA, R. *Striated pavement of the Upper Pre-Cambrian glaciation in Brazil. **Nature***, v. 222, p. 466-468, 1969.
- KARFUNKEL, B., KARFUNKEL, J. *Fazielle Entwicklung der mittleren Espinhaço-Zone mit besonderer Berücksichtigung des Tillit-Probles (Minas Gerais, Brasilien) **Geol. Jahrb.***, v. 24, p. 3–91, 1977.
- KARFUNKEL, J., HOPPE, A. *Late Proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: synthesis and model. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology***, v. 65, n. 1, p. 1-21, 1988.
- KEAREY, P. *Global tectonics*. 3.ed. Porto Alegre : Bookman. 2014.
- MARINI, J.O.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A.; LOGUÉRCIO, S.O.C.; RAMALHO, R. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o maciço mediano de Goiás. **Geologia do Brasil**, p. 251-303, 1984.
- MARTINS, M., LEMOS, V. B. Análise estratigráfica das seqüências neoproterozóicas da Bacia do São Francisco. **Brazilian Journal of Geology**, v. 37, n. 4, p. 156-167, 2007.
- MISI, A., KAUFMAN, A.J., VEIZER, J., POWIS, K., AZMY, K., BOGGIANI, P.C., GAUCHER, C., TEIXEIRA, J.B.G., SANCHES, A.L., IYER, S.S.S. *Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America. **Chemical Geology***, v. 237, n. 1, p. 143-167, 2007.
- MISI, A., VEIZER, J. *Neoproterozoic carbonate sequences of the Una Group, Irecê Basin, Brazil: chemostratigraphy, age and correlations. **Precambrian Research***, v. 89, n. 1, p. 87-100, 1998.
- NARDONNE, G. M.; XIAO, S.; SHIELDS, G. *The Ediacaran Period. **Geologic Timescale***. In GRADSTEIN, F. M.; OGG, G.; SCHMITZ, M. (Ed.). **The Geologic Time Scale 2012 2-Volume Set**. Elsevier, 2012.
- PAULA-SANTOS, G.M., BABINSKI, M., KUCHENBECKER, M., CAETANO-FILHO, S., TRINDADE, R.I.F., PEDROSA-SOARES, A.C. *New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U–Pb data and isotope chemostratigraphy. **Gondwana Research***, v.18, p.1-19, 2014.
- PEREIRA, R. S.; FUCK, R. A. *Archean nucleii and the distribution of kimberlite and related rocks in the São Francisco craton, Brazil. **Brazilian Journal of Geology***, v. 35, n. 4, p. 93-104, 2007.

- PFLUG, R. **A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais**. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1966.
- PFLUG, R. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. DNPM, Div. Geol. Min., v. 142, p.2-, 1968.
- PFLUG, R., RENGGER, F.E. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sanfranciscano. In: **SBG, Congresso Brasileiro de Geologia**. 1973. p. 5-19.
- PIMENTEL, M. M. ; RODRIGUES, J. B. ; DELLAGIUSTINA, M. E. S. ; JUNGES, S. ; MATTEINI, M. ; ARMSTRONG, R. *The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- PIMENTEL, M. *Zircon Provenance and the Tectonic Evolution of sedimentary basins in South America*. In: SSAGI, 2012, Medellin. **Abstracts**, 2012.
- REIS, C. Geologia, sistemas deposicionais, e estratigrafia isotópica do Grupo Bambuí na região de Santa Maria. Dissertação (mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2013.
- RODRIGUES, J.B. Proveniência de sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí – Um estudo de zircões detríticos e Idades Modelo Sm-Nd. 2008. 128fls. Tese (doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2008
- SANTOS, T.C. Proveniência de sedimentos detríticos dos grupos Bambuí / Una, Bacia de Irecê – BA: Dados U-Pb por LA-ICPMS e SHRIMP. Trabalho de conclusão. Porto Alegre: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.
- SÖFNER, B. Observações sobre a estratigrafia do pré-cambriano da Chapada Diamantina, sudeste e da área contígua. **Missão Geológica Alemã/SUDENE, Divisão de Hidrogeologia**, v. 1, p. 23-32, 1973.
- TULLER M. P., RIBEIRO J. H., SIGNORELLI N., FÉBOLI W. L., PINHO J. M. M. Projeto Sete Lagoas-Abaeté: Folha Contagem (1:100.000). Serviço Geológico do Brasil–CPRM, Belo Horizonte, 160p, 2010.
- WALDE, D.H.G. *Neue Hinweise für eine proterozoische Vereisung in stbrasilien Münster. Forsch. Geol. Paleontol.*, v.38, n.39, p.47–59, 1976.
- WARREN, L. V., QUAGLIO, F., RICCOMINI, C., SIMÕES, M. G., POIRÉ, D. G., STRIKIS, N. M., ANELLI, L.E., STRIKIS, P. C. *The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil Cloudina reveals an old proto-Gondwana seaway*. **Geology**, v. 42, n. 5, p. 391-394, 2014.
- VIEIRA, L. C., TRINDADE, R. I., NOGUEIRA, A. C., & ADER, M. *Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil*. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 339, n. 3, p. 240-258, 2007.

ANEXO A

**SINOPSE DA SUBMISSÃO DO ARTIGO NO SISTEMA DA REVISTA GEOLOGIA
USP – SÉRIE CIENTÍFICA**

Geologia USP. Série Científica


[PÁGINA INICIAL](#)
[SOBRE](#)
[PÁGINA DO USUÁRIO](#)
[NOTÍCIAS](#)
[Página inicial](#) > [Usuário](#) > [Autor](#) > [Submissões](#) > [#255](#) > [Resumo](#)

#255 Sinopse

[RESUMO](#)
[AVALIAÇÃO](#)
[EDIÇÃO](#)

Submissão

Autores	Rosalia Barili da Cunha, Marcus Vinícius Dorneles Remus, Marcio Martins Pimentel, Alcides Nobrega Sial	
Título	Isótopos de Sr, C e O dos carbonatos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré: implicações para a idade deposicional e reconstrução paleoambiental da bacia Bambuí	
Documento original	GUSPSC-255-255-1329-1-SM.DOCX 2015-01-06	
Docs. sup.	Nenhum(a)	INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR
Submetido por	Rosalia Barili da Cunha	
Data de submissão	January 6, 2015 - 04:12 PM	
Seção	Artigos	
Editor	Nenhum(a) designado(a)	

Situação

Situação	Aguardando designação
Iniciado	2015-01-06
Última alteração	2015-01-06

Metadados da submissão

Autores

Nome	Rosalia Barili da Cunha
URL do currículo online	http://lattes.cnpq.br/0739702500410086
Instituição/Afiliação	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Contato principal para correspondência.	
Nome	Marcus Vinícius Dorneles Remus
Instituição/Afiliação	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	Marcio Martins Pimentel
Instituição/Afiliação	Universidade de Brasília - UnB
País	—

USUÁRIO

 Logado como:
rosaliabarili
[Meus periódicos](#)
[Perfil](#)
[Sair do sistema](#)

NOTIFICAÇÕES


[Visualizar](#)
[Gerenciar](#)

AUTOR

 Submissões
[Ativo \(1\)](#)
[Arquivo \(0\)](#)
[Nova submissão](#)

IDIOMA

Português (Brasil) ▼

Resumo da Biografia	—
Nome	Alcides Nobrega Sial 
Instituição/Afiliação	Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
País	—
Resumo da Biografia	—

Título e Resumo

Título	Isótopos de Sr, C e O dos carbonatos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré: implicações para a idade deposicional e reconstrução paleoambiental da bacia Bambuí
Resumo	A idade e intervalo de deposição do Grupo Bambuí no Cráton São Francisco tem sido motivo de controvérsia ao longo das últimas décadas. Este trabalho integra dados de razões isotópicas de estrôncio aos isótopos de C e O, aplicados na quimioestratigrafia, com a finalidade de um melhor entendimento das características da porção basal da bacia onde o Grupo Bambuí foi formado. A formação Sete Lagoas, a mais basal do grupo, apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,70714 a 0,7077, enquanto a Formação Lagoa do Jacaré apresenta valores entre 0,70746 a 0,7082, ambas abaixo do esperado para o Ediacarano, idade que é definida pela presença de fósseis índice, recentemente descobertos e reportados. Os resultados das análises de isótopos estáveis revelam comportamento similar ao já esperado para o grupo: $\delta^{18}\text{O}$ entre -5,60 e -15,04‰ para a Formação Lagoa do Jacaré e entre -8,31 e -11,08‰ para a Formação Sete Lagoas; e $\delta^{13}\text{C}$ entre +0,19 e +11,19‰ para a Formação Sete Lagoas (sequência superior); e entre +5,23 e +11,99‰ para a Formação Lagoa do Jacaré. Os resultados confirmam a hipótese de que a bacia representou um ambiente restrito, onde a homogeneização isotópica foi dificultada por barreiras físicas, e sugere que a ligação entre a bacia e o mar aberto possa ter ocorrido ao norte da bacia.

Indexação

Área e sub-área do Conhecimento	Ciências Exatas e da Terra; Geologia; Estratigrafia química
Palavras-chave	Grupo Bambuí; Quimioestratigrafia
Idioma	pt

Apoio e financiamento

Agências	PRH 2015
----------	----------

ISSN: 1519-874X