

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



**APLICAÇÃO DE RAZÃO $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ E GEOQUÍMICA EM MÁRMORES
DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

LEONARDO PAVLAK NEIS

ORIENTADORA:

Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

CO-ORIENTADOR:

Prof. Dr. Edinei Koester

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. Cassiana Michelin

Dra. Carla Klein

Dr. Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências

Porto Alegre, 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**Reitor:** Rui Vicente Oppermann**Vice-Reitor:** Jane Fraga Tutikian**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS****Diretor:** André Sampaio Mexias**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Neis, Leonardo Pavlak

Aplicação de razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e geoquímica em mármores do Escudo Sul-Rio-Grandense. / Leonardo Pavlak Neis. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.

[80 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Ana Maria Pimentel Mizusaki

Coorientador(es): Edinei Koester

1. Geoquímica. 2. Mármore. 3. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. 4. Escudo Sul-Rio-Grandense.
I. Título.

CDU 550.4

Catalogação na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil
CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências pelo ensino público e de qualidade, além da infraestrutura que possibilitou a realização deste trabalho. Agradeço também à CAPES, pelo suporte financeiro e concessão de bolsa de pesquisa.

Agradeço muito à minha orientadora, Profa. Ana Maria Mizusaki, por toda a ajuda, dedicação e pelos debates sobre este e outros trabalhos numa parceria de oito anos. Mas agradeço imensamente pela paciência e compreensão nesse turbulento último ano, me estimulando sempre a seguir em frente.

Ao Prof. Edinei Koester, pelo apoio durante o trabalho no Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS, me ensinando todas as etapas da técnica aplicada nesta pesquisa.

Aos colegas de sala Isaque e Fernando, que sempre ajudaram com ideias e revisões de trechos do trabalho.

Agradeço à minha mãe, Magda, que sempre me deu apoio em todas as situações e de todas as formas possíveis e a quem devo muito do que sou hoje.

À minha namorada, Lívia, que sempre me ajudou a olhar para frente, manter o foco e ver a luz no fim do túnel quando nada mais parecia possível. E por todo o carinho e amor dado, especialmente quando os dias eram muito difíceis.

Aos meus amigos-irmãos Rodrigo, Nina e Carol, pela amizade de tantos anos e com quem eu pude contar sempre que precisei.

Aos meus queridos amigos geólogos Daiane, Diego, Rosa, Cris e Eliel, sempre disponíveis para dar apoio para seguir em frente e/ou para um café.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O Escudo Sul-Rio-Grandense, importante elemento da geologia do sul do Brasil, possui, em seus diferentes domínios geotectônicos, ocorrências de mármore que foram relativamente pouco estudadas. Sabendo da importância dessas rochas para um maior entendimento da estratigrafia, do contexto de formação e evolução regional, foram escolhidas quatro pedreiras em dois domínios geotectônicos distintos: Fida, Mudador e Inducal na região de Caçapava do Sul (RS) – Terreno São Gabriel – e Matarazzo na região de Arroio Grande (RS) – Batólito Pelotas. A metodologia empregada no trabalho incluiu análises de petrografia, geoquímica e isótopos de Sr, aplicadas em 38 amostras dentre as 91 coletadas nas quatro áreas de estudo. A classificação das rochas através dos resultados da análise petrográfica foi aprimorada com os dados geoquímicos, especialmente quanto aos teores de MgO, SiO₂ e CaO e sua distribuição. Nos mármore de Caçapava do Sul, há predomínio de dolomita, corroborado pelo teor de MgO (17,66 a 21,52%) e classificados como dolomíticos. Na região de Arroio Grande, domina calcita, com concentrações de MgO entre 0,44 e 0,54% e os mármore são classificados como calcíticos. Os teores de CaO ficaram entre 26,24 e 31,59% nos mármore de Caçapava do Sul e entre 51,37 e 53,24% no mármore de Arroio Grande, complementando a afirmação anterior. Essa diferença foi percebida também nos resultados dos ETRs, tanto na avaliação do comportamento geral destes elementos, quanto na avaliação de anomalias individuais (Ce e Eu), que indicaram componente marinho nos mármore Matarazzo e presença de processos envolvendo contribuição de fluidos hidrotermais nas rochas Fida e Inducal. Essa contribuição de fluidos posteriores e não originais foi observada, também, com a avaliação das razões Mn/Sr, Sr/Ca e os teores de MnO e Sr. As razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr variam entre 0,704 e 0,713 para os mármore Fida; 0,709 e 0,714 para Mudador; 0,705 e 0,709 para Inducal e 0,7060 e 0,7067 para Matarazzo. O mármore Matarazzo é o que possui os valores mais próximos da composição original, sendo o que possui o resultado original mais confiável; o mármore Inducal apresenta resultados que demonstram composição original questionável, mas ainda dentro do campo aceitável pela literatura; e as rochas Fida e Mudador não apresentaram condições confiáveis nesse sentido. Os resultados interpretados sugerem que a formação dos mármore de Arroio Grande ocorreu entre 900 e 850 Ma e Caçapava do Sul entre 800 e 750 Ma, em ambientes deposicionais distintos.

Palavras-Chave: Mármore. Geoquímica. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr. Escudo Sul-Rio-Grandense.

ABSTRACT

The Sul-Rio-Grandense Shield is an important element of southern Brazil geology. It includes few known marble occurrences in its geotectonic domains. In order to understand better the local stratigraphy, geological setting and regional evolution, four quarries were selected in two distinct geotectonic domains: Fida, Mudador and Inducal quarries located at around Caçapava do Sul (RS) city– São Gabriel Terrain –; Matarazzo quarry at around Arroio Grande (RS) region – Pelotas Batholith. Methodology includes petrography, geochemistry and Sr isotopes analysis, applied in 38 samples from 91 collected in four studied areas. Rocks classification through the results of petrographic analysis was enhanced by geochemistry data, especially when it comes to MgO, SiO₂ and CaO contents and their distribution. Caçapava do Sul marbles show dolomite predominance, since this data is corroborated by the MgO content (17.66 to 21.52%) and it is classified as dolomitic. At the Arroio Grande region, calcite prevails, and the MgO content ranges between 0.44 and 0.54% and the marbles are classified as calcitic. Caçapava do Sul marbles include CaO contents ranging between 26.24 and 31.59% whereas Arroio Grande marble ranges between 51.37 and 53.24%, complementing the previous statement. This difference was also observed in the REE's results, as much in evaluation of the general behavior of these elements as in evaluation of individual anomalies (Ce and Eu), which indicate a marine component on Matarazzo marbles and the presence of processes involving contribution of hydrothermal fluids on Fida and Inducal rocks. This contribution of posterior fluids and non original fluids was also observed with the evaluation of Mn/Sr, Sr/Ca ratios and MnO and Sr contents. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios range from 0.704 to 0.713 on the Fida marbles; 0.709 to 0.714 on Mudador; 0.705 to 0.790 on Inducal and from 0.7060 to 0.7067 on Matarazzo. Matarazzo marble is the only rock that has the closest values compared to the original composition, and it is only one that has the most reliable original result; Inducal marble shows results that demonstrate dubious values when compared to original composition, but still within the acceptable field according to the literature; Fida and Mudador rocks do not present reliable conditions in this regard. Interpreted results suggest that Arroio Grande marbles were generated between 900 and 850 Ma whereas Caçapava do Sul marbles between 800 and 750 Ma. Both of them were developed under different depositional environments.

Keywords: Marble. Geochemistry. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr. Sul-Rio-Grandense Shield

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com as cidades próximas às áreas de estudo e as rodovias de acesso a elas a partir de Porto Alegre, capital do estado (figura do autor).	11
Figura 2: Mapa geológico das principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande. (modif. de Philipp et al., 2016).	17
Figura 3: Mapa geológico da região de Caçapava do Sul com as áreas em estudo destacadas em amarelo (Fida e Inducal) e branco (Mudador) (modif. de Remus et al., 2000).	19
Figura 4: Mapa geológico da região de Arroio Grande com a área de estudo Matarazzo destacada em amarelo (modif. de Ramos & Koester, 2014).	21
Figura 5: Detalhes das pedreiras em estudo. A) Pedreira Fida: aspecto geral e intercalações centimétricas de xisto; B) Pedreira Fida: aspecto geral e destaque para intercalações centimétricas a métricas de xisto; C) Pedreira Inducal: aspecto geral; D) Pedreira Inducal: destaque para camada centimétrica de xisto (fotos do autor).	24
Figura 6: Detalhes das pedreiras em estudo. A) Pedreira Mudador: mármore escuros fraturados e dobrados; B) Pedreira Mudador: veios milimétricos a centimétricos cortando os mármore; C) Pedreira Matarazzo: aspecto geral; D) Pedreira Matarazzo: fragmentos de anfibólitos associados aos mármore, com ocorrências centimétricas a métricas (fotos do autor)	25
Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho...	27
Figura 8: Etapas do processo de determinação das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. A) Balança utilizada na pesagem das amostras; B) Amostras em processo de secagem em savilex na chapa quente; C) Centrífuga utilizada no final do processo de abertura das amostras; D) Ultrassom utilizado no processo de abertura das amostras; E) Colunas de separação catiônica utilizadas no processo de separação do elemento Sr.	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese das informações gerais das pedreiras em estudo.	23
--	----

SUMÁRIO

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
2. INTRODUÇÃO.....	10
2.1. Objetivos	10
2.2. Localização das áreas de estudo	11
2.3. Estado da arte	12
3. GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS DE Sr EM CARBONATOS E MÁRMORES	14
4. GEOLOGIA REGIONAL E OS MÁRMORES DO ESRG	17
5. INFORMAÇÕES GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO	22
6. METODOLOGIA.....	26
6.1. Amostragem.....	27
6.2. Caracterização petrográfica	28
6.3. Análises químicas e isotópicas	28
6.4. Tratamento e Análise dos Dados Obtidos.....	31
7. RESULTADOS	32
7.1. Carta de submissão	32
7.2. Artigo.....	33
8. CONCLUSÕES GERAIS	73
9. REFERÊNCIAS GERAIS.....	74

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está organizada sob a forma de um capítulo introdutório ao manuscrito “Aplicação de razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e geoquímica em mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense”, submetido ao periódico Geociências (UNESP). Dessa forma, a estruturação do trabalho compreende os seguintes títulos:

- Introdução: contendo uma apresentação do tema, os objetivos da pesquisa, a localização das áreas de estudo e a revisão dos principais trabalhos nas ocorrências abordadas;
- Geoquímica e isótopos de Sr em carbonatos/mármore: composto por um resumo das principais aplicações das técnicas citadas desde os primeiros trabalhos até os últimos anos;
- Geologia Regional e os mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense: contendo um resumo com as principais características dessas ocorrências e da geologia na qual se inserem;
- Informações gerais das áreas de estudo: título que contempla um apanhado de informações das áreas abrangidas por este trabalho;
- Metodologia empregada: onde são descritas as metodologias utilizadas em cada etapa do trabalho, desde a amostragem até as análises finais;
- Resultados obtidos: título que contém a carta de submissão à revista técnica e o artigo, apresentado na sua íntegra.

2. INTRODUÇÃO

A ocorrência de mármore no Escudo Sul-Rio-Grandense vem sendo citada desde os primeiros trabalhos de mapeamento geológico ocorridos no estado do Rio Grande do Sul, principalmente após a fundação da Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 1957. Mapeamentos geológicos em diversas escalas desta e de outras instituições que se dedicam ao estudo geológico (UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos; CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral), apontaram em diversas áreas dentro do escudo, lentes de carbonatos metamorfizados encaixados em outros tipos de rochas.

Porém, até pouco tempo atrás, essas rochas raramente eram alvo de um estudo detalhado que as colocassem em primeiro plano. Nem mesmo eram comparadas entre si, apesar da sua importância para o entendimento da evolução do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Neste sentido, a possibilidade de obtenção de dados com aplicação de uma metodologia bem definida, envolvendo geoquímica e geologia isotópica, torna-se interessante e fundamental. Estas duas técnicas permitem a obtenção de informações sobre a gênese e a composição dos corpos carbonáticos, além da correlação geoquímica e isotópica entre diferentes ocorrências.

Assim, foram estudadas quatro pedreiras onde algumas das ocorrências de mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense afloram. Três ocorrências estão na região de Caçapava do Sul (RS) (pedreiras denominadas Fida, Inducal e Mudador) e outra na região de Arroio Grande (RS) (denominada Matarazzo).

2.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal uma investigação geoquímica em ocorrências de mármore no Escudo Sul-Rio-Grandense e suas comparações, a fim de, juntamente a dados de outras pesquisas, definir as suas principais características e seus intervalos de idade de deposição. Para tal, serão utilizadas análises de geoquímica de elementos maiores, menores e traços, além de análises das assinaturas isotópicas de Sr.

2.2. Localização das áreas de estudo

Para esta pesquisa, foram selecionadas quatro áreas de estudo dentro do Escudo Sul-Rio-Grandense. Dessas quatro, três ficam na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, nos arredores da cidade de Caçapava do Sul (cerca de 260 km da capital, Porto Alegre) e com acesso pelas rodovias BR 290 e BR 392. Essas áreas de estudo são pedreiras denominadas, neste trabalho, pelos seus nomes comerciais: Fida (10 km a sudeste de Caçapava do Sul, com acesso pela rodovia BR 392), Inducal (mesma localidade que a Fida) e Mudador (40 km a sudoeste de Caçapava do Sul, com acesso pelas rodovias BR 392 e BR 153).

A outra área estudada está localizada na região sul do estado, próxima a cidade de Arroio Grande (350 km de Porto Alegre) e com acesso pela rodovia BR 116. A pedreira é denominada Matarazzo, e localiza-se a cerca de 30 km a nordeste de Arroio Grande, com acesso pela rodovia BR 116 e estradas locais.

As cidades próximas às áreas de estudo e seus acessos podem ser visualizadas na Figura 1.

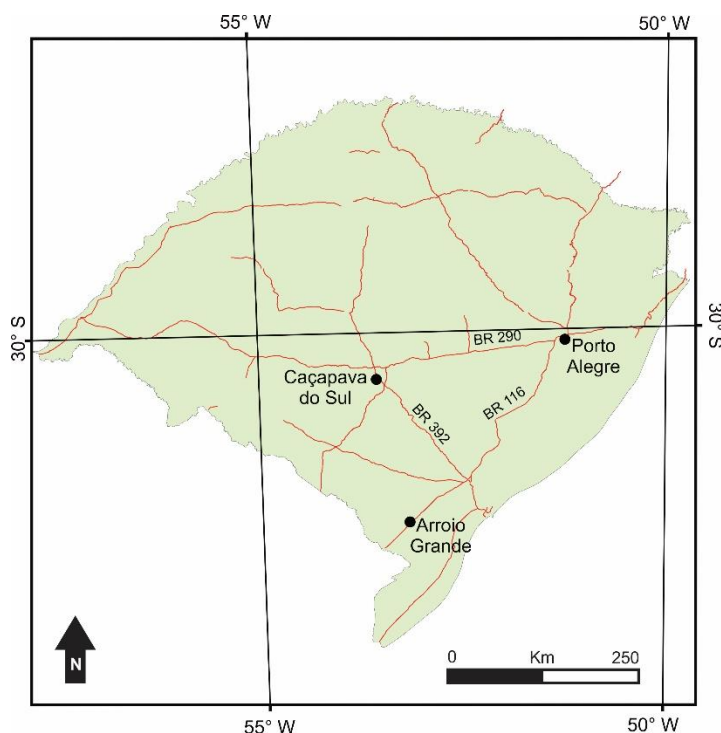


Figura 1: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com as cidades próximas às áreas de estudo e as rodovias de acesso a elas a partir de Porto Alegre, capital do estado (figura do autor).

2.3. Estado da arte

Apesar dos extensivos estudos da geologia do Escudo Sul-Rio-Grandense, considera-se que os mármore desta estrutura geológica foram relativamente pouco analisados (Goulart, 2012). Isso se deve porque desde os primeiros trabalhos cujas ocorrências eram citadas, o foco era nas outras rochas associadas (ou então na geologia regional e geotectônica), sem que se realizasse um estudo profundo e específico.

O trabalho pioneiro que tem como tema as ocorrências de mármore no Rio Grande do Sul é, possivelmente, o de Lisboa (1977), que realiza um mapeamento das jazidas próximas ao município de Bagé, e constata dois tipos diferentes de ocorrências de mármore, bem como o controle estrutural e tectônico das jazidas.

Na região de Caçapava do Sul, Bortolotto (1987, 1988) conduziu os estudos iniciais, quando caracterizou-os como “mármore dolomíticos impuros”, ou seja, composição predominantemente dolomítica, mas com a presença de calcita nos halos de alteração hidrotermal. Posteriormente, Remus *et al.* (2000) trabalhou nos mármore estudando, especificamente, a ocorrência de mineralizações de cobre associadas ao Granito Caçapava. Nessa mesma linha, Gazzoni (2010) definiu padrões mineralógicos nos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e nos mármore do escudo.

O trabalho de Goulart *et al.* (2013) é o que modifica consideravelmente esse cenário, e gera um bom volume de dados específicos dos mármore da região. A autora classifica sequências carbonáticas da Formação Passo Feio e do Complexo Cambaí sob o ponto de vista petrográfico e geoquímico (elementos maiores, menores e traços), aplicando, também, uma análise integrada de isótopos de Sr, C e O, posicionando-os em um intervalo de 730 a 770 Ma.

Da mesma forma que os mármore da região de Caçapava do Sul, as ocorrências na região de Arroio Grande não possuem estudos específicos. Apesar de possuir trabalhos publicados, poucos são de detalhe, e entre esses, somente alguns descrevem as ocorrências de mármore na região, apenas citando-os. Conforme Philipp *et al.* (2000; 2002), a nordeste do município de Arroio Grande ocorrem lentes calcárias e margas metamorfizadas denominadas Mármore e Anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras. Essas ocorrências, juntamente com outras rochas metamórficas (Quartzitos e Xistos do Herval, Xistos do Grupo Porongos, Gnaisses Vigia, Gnaisses Chanã e Gnaisses Piratini), foram interpretadas como sendo xenólitos centimétricos a quilométricos e denominados por

Fragoso César *et al.* (1986) como Septos do Embasamento, e parte do chamado Batólito Pelotas.

Os trabalhos de Ramos (2011) e Ramos & Koester (2014) trazem mais detalhe para a região, e citam, também, os mármorees que ocorrem próximos a Arroio Grande, definindo-os como corpos com dimensões quilométricas que têm como rochas encaixantes o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado.

Ainda assim, os mármorees dessa região permanecem, até então, sem trabalhos como tema principal de estudo.

3. GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS DE Sr EM CARBONATOS E MÁRMORES

O uso de métodos isotópicos para aprimorar o entendimento acerca de bacias sedimentares, suas origens, formações e desenvolvimento foi possível após o advento dos espectrômetros de massa e suas aplicações na geologia. Para rochas carbonáticas, em especial, esse interesse começou a partir de 1950, com estudos propondo possíveis paleotemperaturas das águas marinhas a partir de isótopos de oxigênio (Kawashita, 1996).

Da mesma forma, estudos com técnicas analisando e comparando a geoquímica de elementos maiores, menores e traços de rochas carbonáticas se mostraram importantes para essa compreensão. Tais pesquisas, aplicadas desde calcários até mármore (e outras rochas metassedimentares com contribuição carbonática e siliciclástica), quando somadas com os dados geocronológicos, resultam em um panorama completo da sua formação, possibilitando não apenas entender o contexto de sua deposição, como também o período em que isso ocorreu e demais eventos associados.

No caso do estrôncio (Sr), também segundo Kawashita (1996), o grupo de geocronologia do Instituto de Tecnologia de Massachussets sugeriu a utilização deste elemento como uma ferramenta geocronológica, partindo do princípio que a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ deveria ter crescido de forma contínua por contribuição de ^{87}Sr continental aos oceanos. Nos anos 1970 e 1980, a partir de uma série de análises das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em carbonatos do Fanerozoico, foi possível definir uma curva da variação dessa razão no oceano com uma razoável precisão (com nível de detalhe da ordem de 1 Ma em alguns períodos). A partir do final dos anos 1980 e o início dos anos 1990, essa abordagem começou a ser feita, também, em carbonatos neoproterozoicos, evoluindo até a atualidade, com curvas muito precisas a partir de uma quantidade volumosa de estudos semelhantes em diversas partes do mundo. Dentre eles, pode-se destacar os modelos de Halverson et al. (2010) e de Jacobsen & Kaufman (1999).

Com o passar do tempo e a evolução das técnicas analíticas e do maior volume de trabalhos na área, foi possível definir uma série de parâmetros geoquímicos que atuam como controles para que o resultado das análises (especialmente a de Sr) possa ser considerado verdadeiro, ou seja, da composição original no momento da formação da rocha. Brand & Veizer (1980), Kaufman et al. (1992), Denison et al. (1994) e Jacobsen & Kaufman (1999) são exemplos de trabalhos que definem alguns desses parâmetros como, por exemplo, as razões Mn/Sr, Sr/Ca, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e os teores de Mn, Fe e Sr.

Essa evolução permitiu uma série de discussões a respeito de outras características que eram utilizadas para considerar ou não os resultados das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Um grande exemplo é a questão do metamorfismo. Os estudos pioneiros em geologia isotópica em carbonatos evitavam a utilização de exemplares metamorfizados por acreditarem que o processo de metamorfismo alteraria a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ original. Posteriormente percebeu-se que isso pode sim ocorrer, mas que não é uma regra, não estando o metamorfismo diretamente associado à alteração da razão isotópica original.

Trabalhos como o de Munyanyiwa & Hanson (1988) – que aplicaram análises de geoquímica em mármore e outras rochas calci-silicáticas na Zâmbia –, de Onimisi et al. (2013) – envolvendo geoquímica em mármore na Nigéria – e de Brilli et al. (2005) – que realizaram um estudo da razão isotópica de Sr em mármore clássicos do Mediterrâneo –, são exemplos desses estudos.

Melezhik et al. (2005, 2008) são outros exemplos com aplicação bem sucedida de análises isotópicas de Sr em mármore. O primeiro, realizado em mármore calcínicos e dolomíticos na Noruega, conclui resultados e dados coerentes para um grupo de amostras e resultados levemente alterados pelo metamorfismo em outro conjunto amostral. O segundo trabalho desse autor envolve o estudo da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em mármore no Moçambique, e conclui satisfatoriamente com resultados que refletem a composição original dessas rochas no momento da sua precipitação.

A diversidade de litologias em que esta técnica pode ser aplicada é tanta, que rochas paleoproterozoicas (2,1 Ga) foram analisadas. É o caso do trabalho de Kuznetsov et al. (2010), que estudou mármore da Formação Tulomozero, na Rússia. Tanto esta pesquisa, quanto as citadas anteriormente utilizaram-se dos parâmetros Mn/Sr, Fe/Sr e Mg/Ca para definir se o resultado final da análise representa um dado original ou se indica alguma alteração posterior.

O estudo de Satish-Kumar et al. (2010) apontou alteração da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (entre outros parâmetros analisados) em mármore na Antártica e, com esses dados, relacionou esta e outras rochas do contexto regional a um evento metamórfico e uma sequência de episódios envolvendo interação de fluidos com as rochas da região.

Na América do Sul, pesquisas neste contexto foram realizadas principalmente na Argentina (Murra et al., 2011, 2016), no Uruguai (Aubert et al., 2012) e no Brasil. Aqui, o principal alvo deste tipo de trabalho é a região da borda do Cráton São Francisco, em especial o Grupo Bambuí. Nesta unidade, os trabalhos de Alvarenga et al. (2007), Fraga et al. (2014), Barili (2012; 2015) estudam as razões isotópicas de Sr (e outras técnicas) com

o objetivo de determinar uma idade para a sua precipitação e comparar com outras unidades estudadas.

Outros estudos com esta técnica realizados no Brasil que podem ser citados são os trabalhos de Alvarenga et al. (2008), nos carbonatos do Grupo Araras, na borda sudeste do Cráton Amazônico; de Sial et al. (2015), em mármore do Cinturão ou Faixa Seridó e de Goulart (2012) e Goulart et al. (2013), que também estudou os mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense.

4. GEOLOGIA REGIONAL E OS MÁRMORES DO ESRG

As áreas de estudo localizam-se no Escudo Sul-Rio-Grandense, porção sul da Província Mantiqueira (Hasui *et al.*, 1975; Almeida *et al.*, 1981), área onde ocorrem rochas ígneas, metamórficas e sedimentares pré-paleozoicas com gênese relacionada aos ciclos Transamazônico (Paleoproterozoico) e Brasiliano/Pan-Africano (Neoproterozoico) (Hartmann *et al.* 1999; Soliani Jr. *et al.* 2000; Borba, 2006). O ESRG é composto por parte de um antigo núcleo cratônico (Cráton Rio de La Plata), denominado de Terreno Taquarembó, em contato com uma zona de acreção e retrabalhamento crustal (originada durante o ciclo Brasiliano/Pan-Africano), o Cinturão Dom Feliciano (Hartmann *et al.*, 2007) (Figura 2).

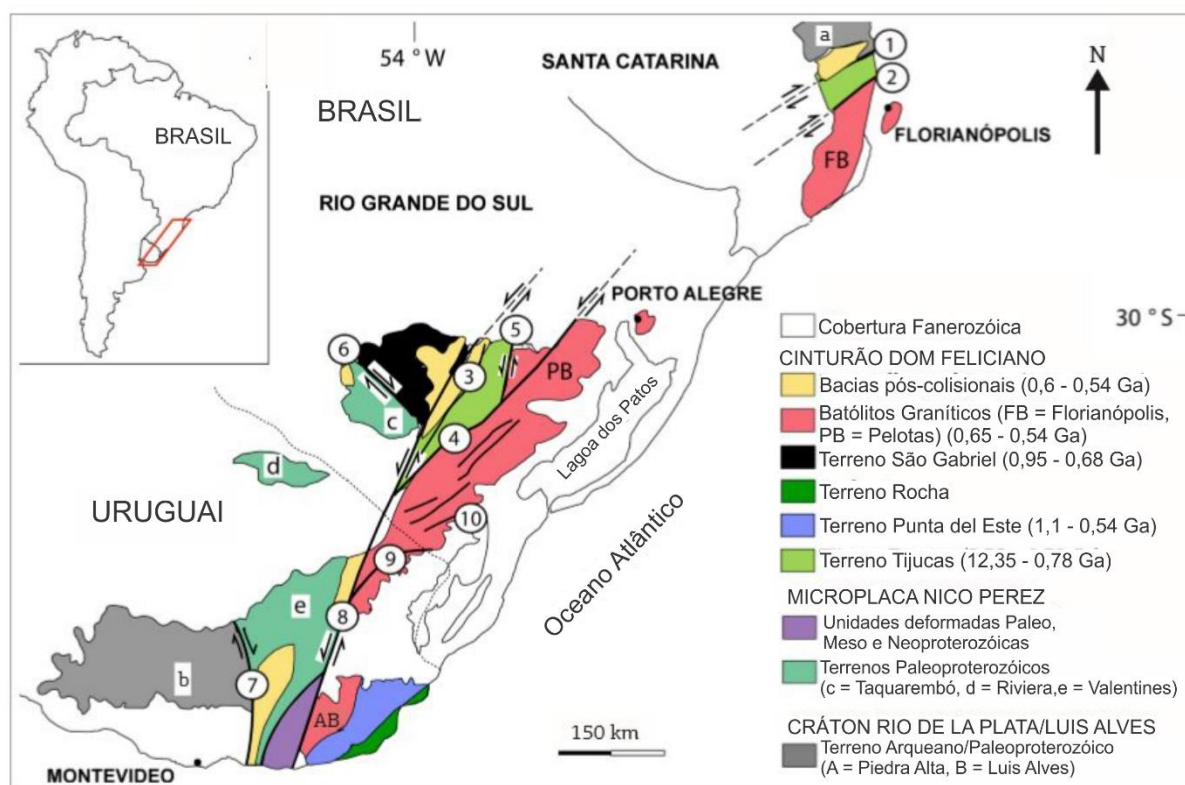


Figura 2: Mapa geológico das principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande. (modif. de Philipp *et al.*, 2016).

Pode-se dividir o Escudo Sul-Rio-Grandense em quatro Terrenos, definidos a partir de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas distintas, e limitados por zonas

de cisalhamento dúcteis de escala continental. São os terrenos Taquarembó, São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas. As áreas de estudo desse trabalho ficam no Terreno São Gabriel e no Batólito Pelotas.

O Terreno São Gabriel, onde ficam as áreas de estudo Fida, Inducal e Mudador (Figura 3), ocorre ao norte do denominado lineamento Ibaré e a oeste da sutura de Caçapava, e possui geologia formada pela ocorrência do granito Caçapava (Paleozoico Inferior), circundada pelo Complexo Metamórfico Passo Feio (metapelitos, xistos quartzofeldspáticos, quartzitos e meta-vulcânicas subordinadas) - Neoproterozoico. Na parte das coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares destaca-se a Formação Hilário, com pelitos e arenitos, tufos e vulcânicas básicas. Além disso, há ainda a Formação Acampamento Velho, com riolitos, traquitos, dacitos e alguns tufos com idade (U/Pb em zircão) 574 ± 7 Ma (Janikian, 2004).

Na porção oeste observa-se uma área com ocorrência de pelitos e arenitos da Formação Santa Bárbara, e na parte leste, a Formação Guaritas. Há ainda ocorrência da Formação Rio do Sul, do Grupo Itararé da Bacia do Paraná, com folhelhos e argilitos, além de ritmitos, arenitos e diamictitos. Por fim, no extremo leste, há uma cobertura cenozoica de depósitos aluvionares atuais.

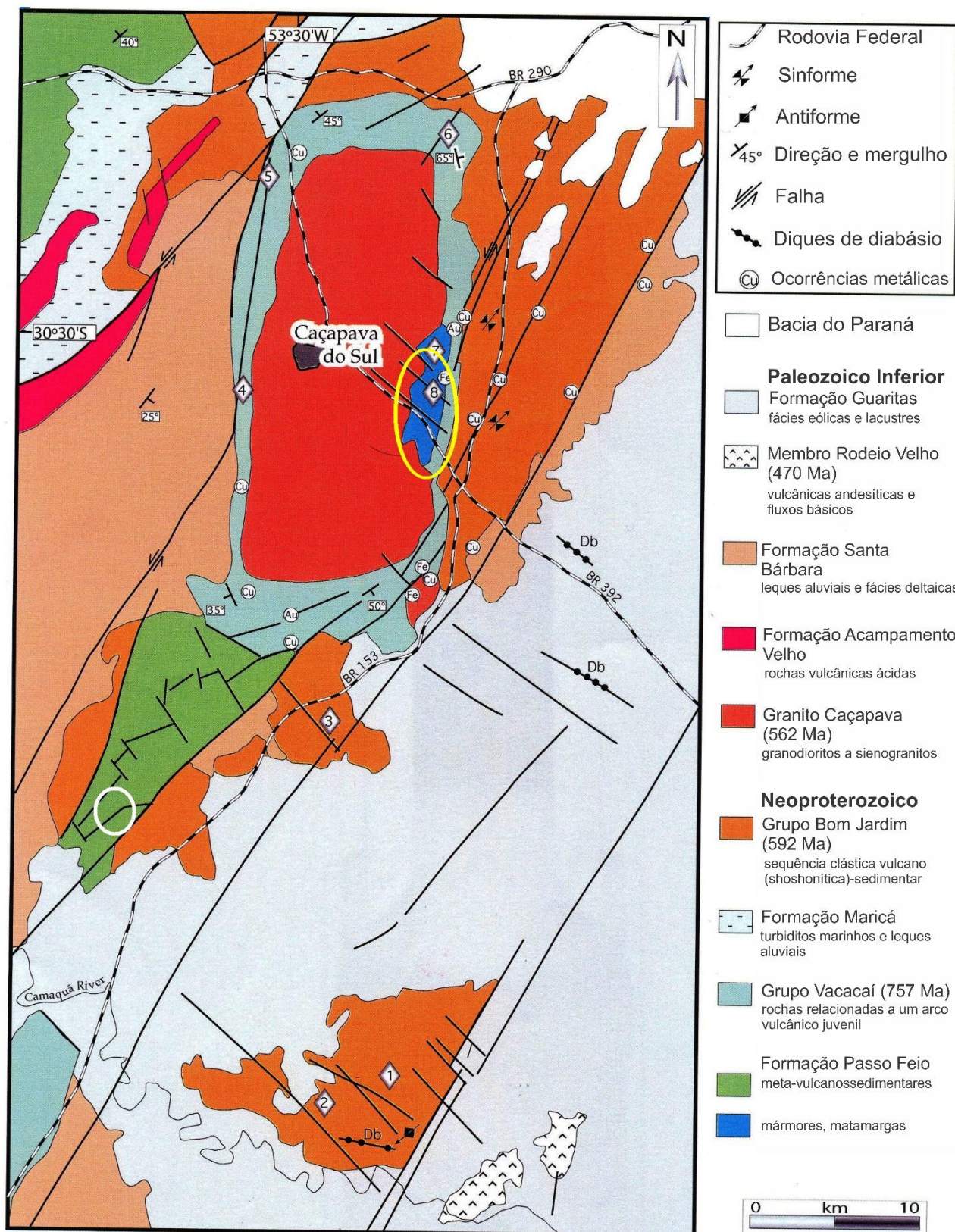


Figura 3: Mapa geológico da região de Caçapava do Sul com as áreas em estudo destacadas em amarelo (Fida e Inducal) e branco (Mudador) (modif. de Remus *et al.*, 2000).

A região sul do Escudo Sul-Rio-Grandense, onde está localizada a área de estudo de Arroio Grande, apesar de possuir alguns trabalhos e mapas sobre a sua geologia publicados, é pouco detalhada. Conforme Ramos (2011), várias regiões ainda carecem de estudos aprofundados, uma vez que algumas unidades têm dimensões com menos de 1 km de extensão.

A região de Arroio Grande está inserida na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, bloco geofísico leste (Fernandes *et al.*, 1995) ou Batólito Pelotas (Fragoso César *et al.*, 1986; Phillip & Machado, 2006; Hartmann *et al.*, 2007), com extensão aproximada de 370 km, largura de 70 a 110 km e continuidade ao norte, em Santa Catarina, e ao sul, no Uruguai (Phillip *et al.*, 2000). Seus limites são dados, a oeste, pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Mesquita & Fernandes, 1990) e pela Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro. Seu limite leste e norte é definido por discordância com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e com os sedimentos da Planície Costeira.

A geologia do Batólito Pelotas é, resumidamente, composta por seis suítes granitoides relacionadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto a baixo grau (Phillip, 1998; Phillip *et al.*, 2000, 2002), chamados de septos do embasamento (Fragoso César, 1986).

A área de Arroio Grande possui geologia composta por Anfibolitos, Serpentinitos e Xistos Arroio Grande, Mármore e Anfibolitos Matarazzo (unidade de enfoque neste trabalho), Quartzitos e Xistos do Erval, Complexo granito-gnáissico Pinheiro Machado, Granitos Figueirinha, Capão do Leão e Chasqueiro, Grupo Bom Jardim, Grupo Guatá, Grupo São Bento e Serra do Erval, além dos depósitos sedimentares recentes (Figura 4).

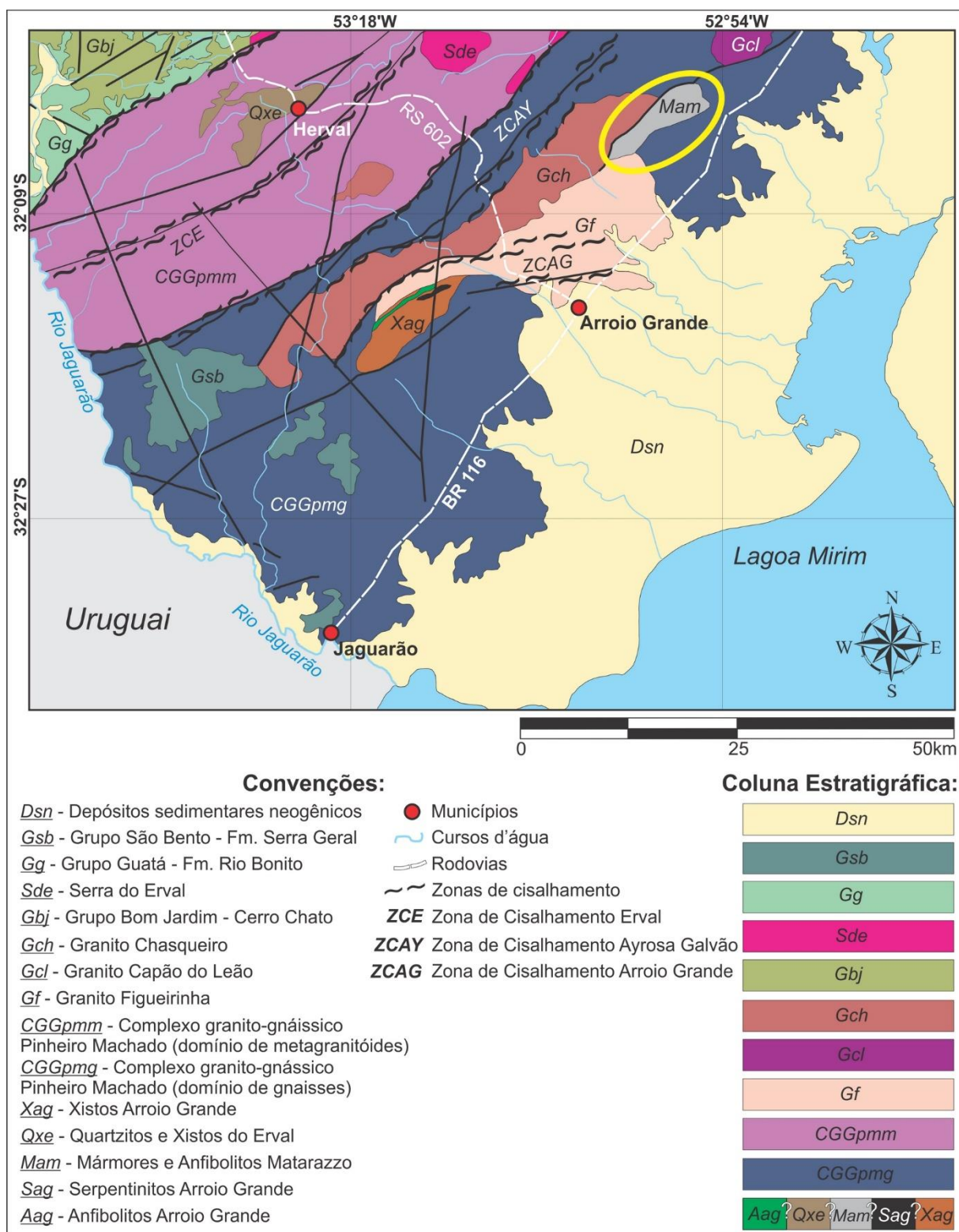


Figura 4: Mapa geológico da região de Arroio Grande com a área de estudo Matarazzo destacada em amarelo (modif. de Ramos & Koester, 2014).

5. INFORMAÇÕES GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO

Este capítulo tem o objetivo de ilustrar as características de cada uma das ocorrências de mármore estudadas nesta pesquisa. Para tal, o Quadro 1 auxilia no resumo das informações dadas a seguir.

A pedreira Fida possui dimensões de 100 m x 350 m e profundidade de cava de 60 m (Figs. 5A, B). Ela é apenas uma, entre várias pedreiras que compõem uma lente de cerca de 8 km de extensão. Os mármore ocorrem com uma estrutura que foi identificada como a S_0 da deposição. Além disso, são cortados por diques graníticos e se intercalam com xistos escuros (clorita xistos), de espessura centimétrica.

A pedreira Inducal possui dimensões similares à Fida e fica distante 4 km ao Sul (em relação à Fida). É uma pedreira menos profunda (cerca de 30 m) e que não se encontra ativa. Nela também é possível identificar a intercalação de camadas milimétricas a centimétricas de xistos escuros (Figs. 5C, D).

A pedreira Mudador divide-se em duas porções: a porção a sul, onde afloram mármore fraturados e dobrados, de coloração marrom avermelhado; e a porção norte, na qual afloram mármore pretos extraídos para ornamentação. Nota-se, nessa pedreira, evidências de tectonismo como diversos fraturamentos preferenciais e dobramentos. Além disso, observa-se várias famílias de veios não orientados, ora calcíticos ora quartzosos, com espessura média de até 5 cm e, subordinadamente, 17 cm (Figs. 6A, B).

Da mesma forma que a pedreira Fida, a Matarazzo possui dimensões de 100 m x 500 m, estando atualmente desativada. Nela encontra-se, predominantemente, um mármore branco sem muita variedade mineral. Destacam-se, porém, inúmeros corpos máficos, como um possível anfibólito, que ocorrem no meio do mármore, lembrando xenólitos. Esses corpos têm formas, contatos e tamanho variados, centimétricos a métricos (Figs. 6C, D). Os mármore Matarazzo são cortados, também, por um dique de tonalito, com espessura de cerca de 5 m.

Quadro 1: Síntese das informações gerais das pedreiras em estudo.

PEDREIRAS	Matarazzo	Mudador	Fida	Inducal
Localização	30 km a NE da cidade de Arroio Grande (RS) localizada a 350 km de Porto Alegre, com acesso pela rodovia BR 116.	40 km a SW de Caçapava do Sul (RS) localizada a 260 km de Porto Alegre, com acesso pelas rodovias BR 290, BR 392 e BR 153.	10 km a SE de Caçapava do Sul (RS) localizada a 260 km de Porto Alegre, com acesso pelas rodovias BR 290 e BR 392.	10 km a SE de Caçapava do Sul (RS) localizada a 260 km de Porto Alegre, com acesso pelas rodovias BR 290 e BR 392.
Descrição geral	Dimensões 100 x 500 m. Predomínio de mármore branco, homogêneo. Destacam-se inúmeros corpos máficos imersos no mármore, lembrando xenólitos. Esses corpos tem formas, contatos e dimensões variadas. Os mármores também são cortados por um dique de tonalito, com espessura média de 5 m. Tectonismo intenso.	Na porção sul afloram mármores fraturados dobrados, de coloração marrom avermelhada. Na porção norte, na qual afloram mármores de cor preta extraídos para fins ornamentais. Evidências de tectonismo e intenso fraturamento com direções preferenciais e dobras. Há diversas famílias de veios de calcita ou de quartzo com espessura média de até 5 cm e, subordinadamente, 17 cm.	Dimensões de 100 x 350 m e profundidade de 60 m. Juntamente com a pedra Inducal (e outras), compõe uma lente de cerca de 8 km de extensão. Os mármores ocorrem localmente com uma estrutura identificada como a S0. São cortados por diques graníticos e se intercalam com xistos escuros, de espessura centimétrica.	Semelhante a Pedreira Fida com dimensões de 100 x 200 m e profundidade de 30 m. A S0 apresenta mergulho de cerca de 20°. Os mármores também são intercalados por camadas centimétricas de xistos escuros.
Composição química	CaO >51% e MgO <0,5%	CaO >26% e MgO >18%	CaO >30% e MgO >20%	CaO >30% e MgO >20%
Variação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,7060 - 0,7067	0,709 - 0,714	0,704 - 0,713	0,705 - 0,709
Domínio geotectônico	Batólito Pelotas	Bloco São Gabriel	Bloco São Gabriel	Bloco São Gabriel
Situação da pedreira	Desativada	Desativada	Ativa	Desativada
Uso (atual ou quando em atividade)	Cimento	Ornamentação	Corretivo de solo	Corretivo de solo
Contexto geológico regional	Ocorrem como grandes xenólitos de mármores e anfibólitos em de corpos graníticos da Suíte Intrusiva Erval. Regionalmente (50 km), quartzitos e xistos também estão presentes.	Relação com rochas metassedimentares da Formação Passo Feio.	Relação com rochas metassedimentares da Formação Passo Feio.	Relação com rochas metassedimentares da Formação Passo Feio.

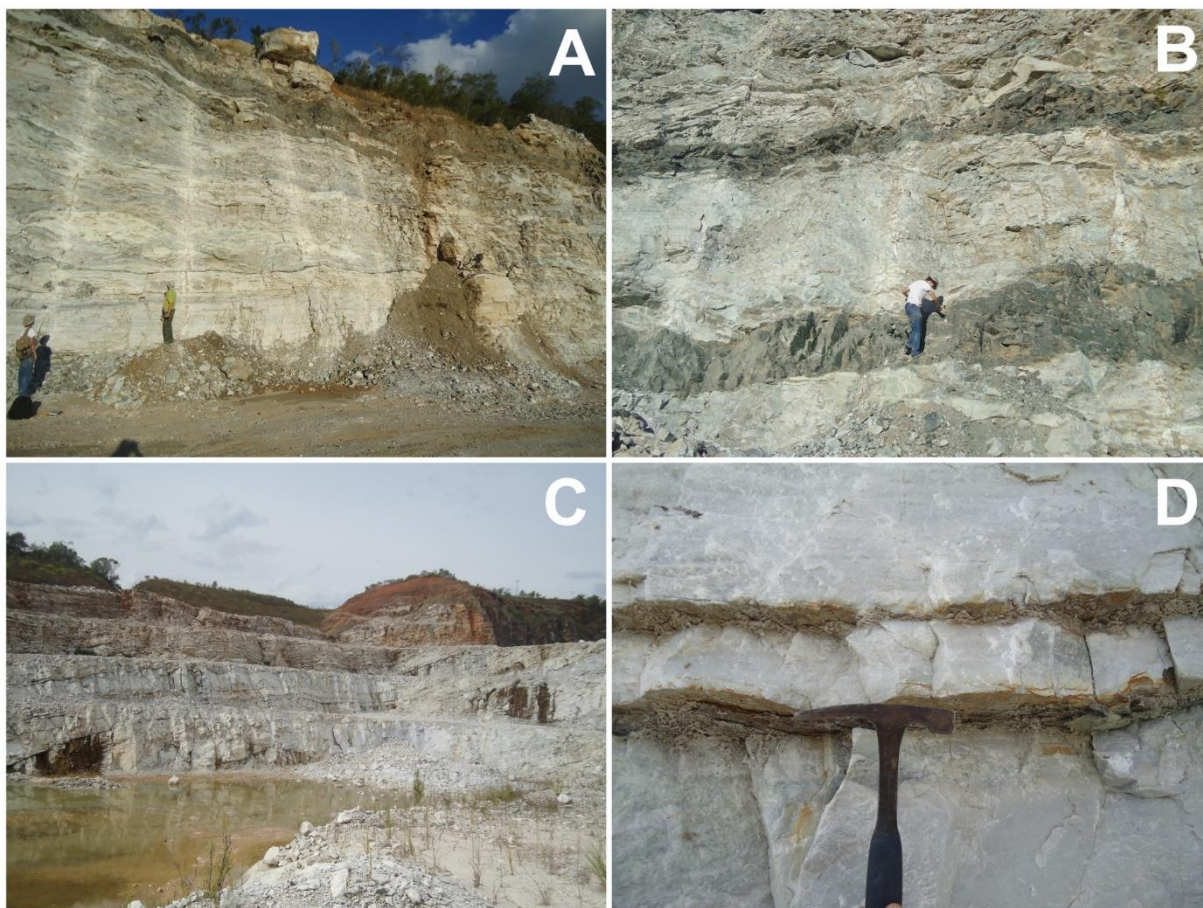


Figura 5: Detalhes das pedreiras em estudo. A) Pedreira Fida: aspecto geral e intercalações centimétricas de xisto; B) Pedreira Fida: aspecto geral e destaque para intercalações centimétricas a métricas de xisto; C) Pedreira Inducal: aspecto geral; D) Pedreira Inducal: destaque para camada centimétrica de xisto (fotos do autor).

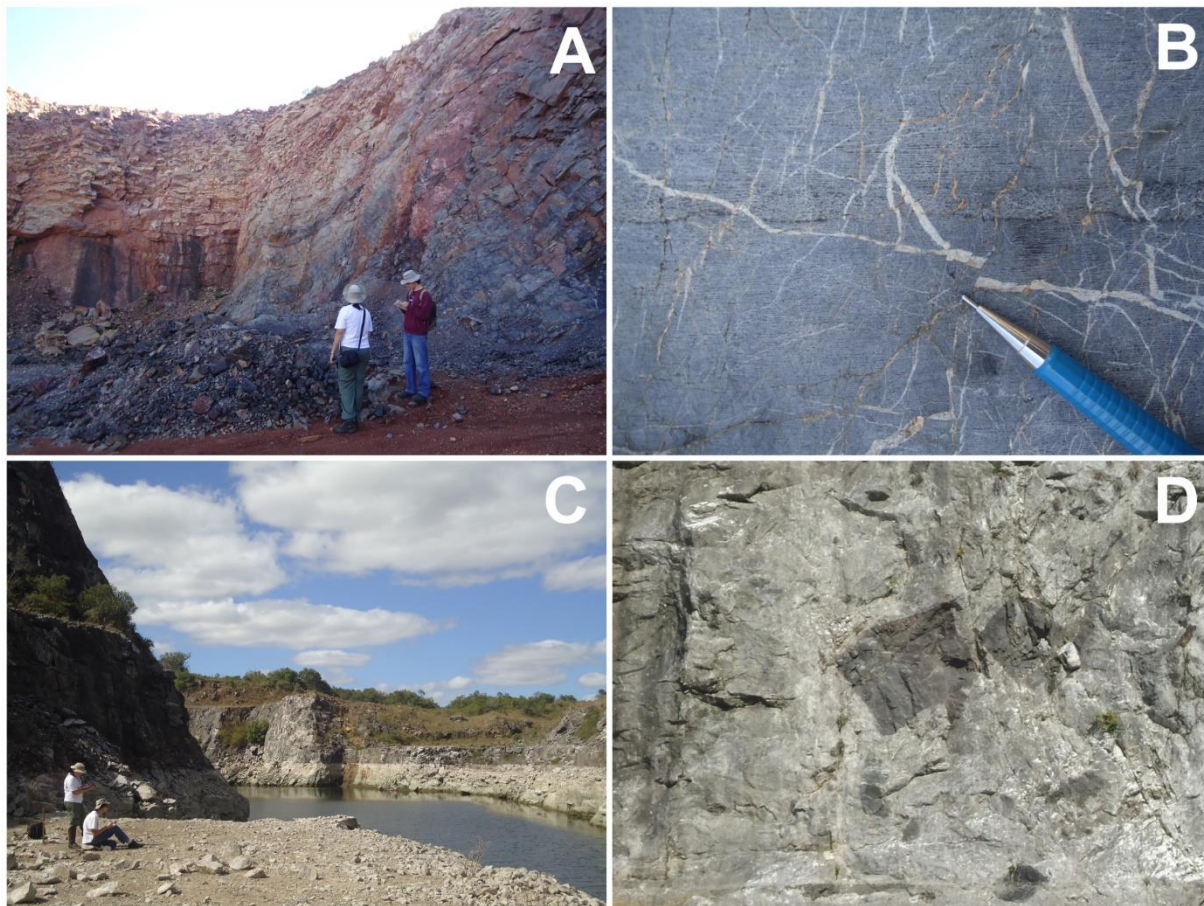


Figura 6: Detalhes das pedreiras em estudo. A) Pedreira Mudador: mármore escuro fraturado e dobrado; B) Pedreira Mudador: veios milimétricos a centimétricos cortando os mármore; C) Pedreira Matarazzo: aspecto geral; D) Pedreira Matarazzo: fragmentos de anfibólitos associados aos mármore, com ocorrências centimétricas a métricas (fotos do autor)

6. METODOLOGIA

A metodologia pode ser dividida em quatro etapas principais (Fig. 7): (1) pesquisa bibliográfica; (2) atividades de campo; (3) atividades de laboratório; (4) tratamento dos dados, elaboração de diagramas, mapas e figuras, e confecção desta dissertação.

A primeira etapa foi destinada ao levantamento bibliográfico de artigos técnico-científicos nacionais e internacionais, teses e dissertações que discutem sobre os temas de interesse desta dissertação. Nesta etapa ainda foram realizadas: seleções de fotos aéreas, de imagens de satélite e de mapas topográficos das regiões selecionadas para o estudo, os quais foram utilizados, também, para a preparação da etapa de campo.

Na segunda etapa foram realizados trabalhos de campo nos locais selecionados para o estudo. Foram definidos pontos para levantamento das informações necessárias nas pedreiras estudadas. Nestes pontos, foram recolhidos diversos dados geológicos através da descrição detalhada das unidades aflorantes e confecção de perfis colunares, documentação fotográfica, e coleta de amostras de rochas para análises petrográficas, químicas e isotópicas.

Efetuuou-se também, em todos os pontos visitados, coleta das coordenadas geográficas através de equipamentos de Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca *Garmin*. Todas as coordenadas e mapas com elas confeccionados estão georreferenciadas na Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), *datum* Córrego Alegre.

Na terceira etapa deu-se a descrição macroscópica das amostras coletadas e a seleção daquelas a serem utilizadas para as análises específicas (petrografia, geoquímica e razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Para tal, foi utilizado o mesmo critério de seleção para todo o conjunto de amostras do projeto, optando por escolher as mais representativas de cada pedreira, totalizando 38 amostras com análises petrográficas e/ou químicas de todas as pedreiras.

Na etapa final da metodologia empregada, foi realizada a interpretação e integração dos resultados de cada técnica analítica, a discussão e elaboração do artigo e desta dissertação.

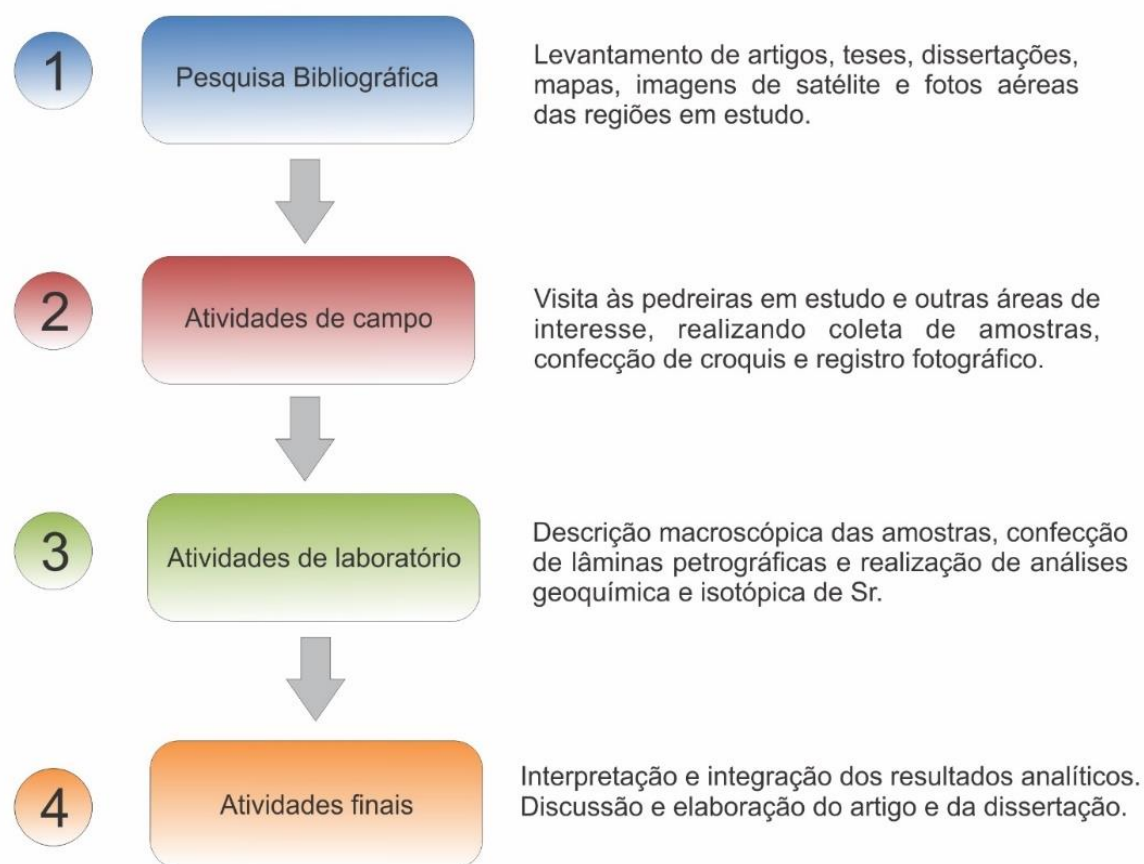


Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

6.1. Amostragem

Foram coletadas 91 amostras de rocha seguindo pontos previamente selecionados nas pedreiras analisadas. Em diversos momentos, quando possível, realizou-se a coleta procurando manter um devido controle estratigráfico, coletando amostras ao longo de perfis verticais (quando era possível identificar a S_0), da base para o topo.

Em cada ponto selecionado do afloramento foi coletada uma amostra no seu estado natural com aproximadamente 2 kg, imediatamente acondicionada em sacos plásticos e identificada destacando-se os dados de localização.

Nesta etapa também foi fundamental o controle da amostragem bem como a ausência de qualquer tipo de contaminação que possa interferir nas análises, especialmente as isotópicas.

6.2. Caracterização petrográfica

Inicialmente as amostras coletadas foram descritas macroscopicamente com auxílio de uma lupa binocular *Wild Heerbrugg* modelo M5A. A partir desta descrição foram selecionadas amostras visando a confecção de lâminas petrográficas e as outras análises específicas. As amostras selecionadas foram fotografadas em detalhe para se ter um melhor controle.

Após a confecção das lâminas petrográficas, a descrição microscópica das amostras foi realizada por meio de microscópios binoculares de luz polarizada. Foi utilizado inicialmente o modelo da marca *Leitz – Laborlux12 pol S* e, posteriormente, o modelo da marca *Leica – ME-LP*, com o qual foram obtidas as fotomicrografias. Em ambos, foram utilizados aumentos variáveis de 2,5 a 40 vezes com as técnicas de luz natural (LN) e de luz polarizada (LP).

No estudo petrográfico foram identificados e descritos para cada lâmina delgada os seus minerais constituintes, paragêneses, texturas, estruturas, transformações e deformações causadas por processos metamórficos entre outros aspectos fundamentais para a correta classificação da amostra e definição de litotipos, grau metamórfico e caracterização textural.

6.3. Análises químicas e isotópicas

As análises químicas em rocha total para determinação dos elementos maiores, menores e traços foram realizadas no *Acme Analytical Laboratories Ltd.*, com sede em Vancouver, no Canadá. As amostras foram enviadas em pequenas frações, fragmentadas das amostras maiores com uma marreta.

A preparação das amostras foi realizada no próprio laboratório. Os elementos maiores foram analisados com um ICP-OES (*ThermoJarrell-Ash ENVIRO II Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer*) e os traços com um ICP-MS (*PerkinElmer SCIEX ELAN6000 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer*). Para as análises, 0,25 g de cada amostra foram misturadas com um fluxo de metaborato de lítio e tetraborato de lítio e depois fundidas num forno de indução. O material assim obtido, ainda em estado de fusão, foi imediatamente colocado em uma solução de 5% de HNO₃ acrescida de um padrão interno. Esta preparação foi misturada por aproximadamente 30 minutos até obter-se a dissolução completa. Uma alíquota da solução da amostra foi analisada para os

elementos maiores (óxidos) e para o elemento traço Sc. Os limites de detecção para os elementos maiores foram em torno de 0,01% em peso, e 2 ppm para o Sc. A perda ao fogo (LOI) foi determinada pela diferença no peso após calcinação da amostra em uma temperatura de 1050° C por duas horas. A outra alíquota da amostra em solução foi adicionada de padrões internos de In e Rh e posteriormente diluída 6000 vezes antes da análise no ICP-MS para os elementos traços.

As análises para determinação das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O trabalho de laboratório desta etapa consistiu dos seguintes passos: pesagem, dissolução total das amostras por digestão química (abertura), separação do elemento Sr através da passagem em colunas de resina de troca catiônica e espectrometria de massa.

Para a etapa de pesagem foi utilizada uma balança marca *Gibertini*, modelo E50S, com precisão de quatro casas decimais (Fig. 8A). O procedimento consiste em pesar, separadamente, um recipiente plástico e um papel especial para pesagem. Após, foi pesado cerca de 1g de amostra no papel especial e posteriormente, transferida para o recipiente plástico, que foi pesado com a amostra também. Em seguida adicionou-se 0,1 ml do traçador (*spike*) RS-5 ($^{87}\text{Rb}/^{84}\text{Sr}$) e pesou-se novamente (Silva, 2006).

A abertura das amostras, ou seja, a dissolução por digestão química, foi feita através da adição de ácido nítrico (HNO_3) e ácido fluorídrico (HF) concentrados em frascos de Savilex e postos para secar em chapa elétrica quente (Fig. 8B). Às amostras secas foram adicionados ácido nítrico e ácido fluorídrico colocados novamente em chapa quente para secar. Depois disso, o processo foi repetido com a adição de ácido clorídrico (HCl) e posto para secar na chapa quente. Por fim, foi adicionado novamente ácido clorídrico ao resíduo, e transferidos para recipientes plásticos, que foram colocados por 45 minutos no ultrassom marca *UltraSonic Cleaner* modelo USC 1400 (Fig. 8D) e 15 minutos na centrífuga marca *Excelsa Baby I* modelo 206 (Fig. 8C).

A separação química é feita em colunas de separação catiônica, que se valem do uso de resinas para segregação dos elementos de interesse de acordo com o comportamento deles. Neste caso, foi utilizada a resina Rb/Sr Ag 50w-x8 200-400 mesh *hydrogen form* (Fig. 8E).

Para começar a separação, primeiro é feito um condicionamento da resina 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, entretanto, como este estudo baseia-se na análise das razões de Sr, esta fase será 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 Savilex de 15 mL, aos quais se adiciona 2 gotas de HNO₃ 7N. O recipiente, com a alíquota de Sr + ácido, é colocado para secar, aberto, em chapa quente.

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

As análises da composição isotópica foram feitas utilizando-se um espectrômetro *Micromass VG SECTOR 54 Multi-collector*. Foram medidas 100 razões com feixe de íons da ordem de 1 V e com precisão externa baseada em padrão interno que é medido repetidamente sendo da ordem de 20 ppm (1 desvio padrão).

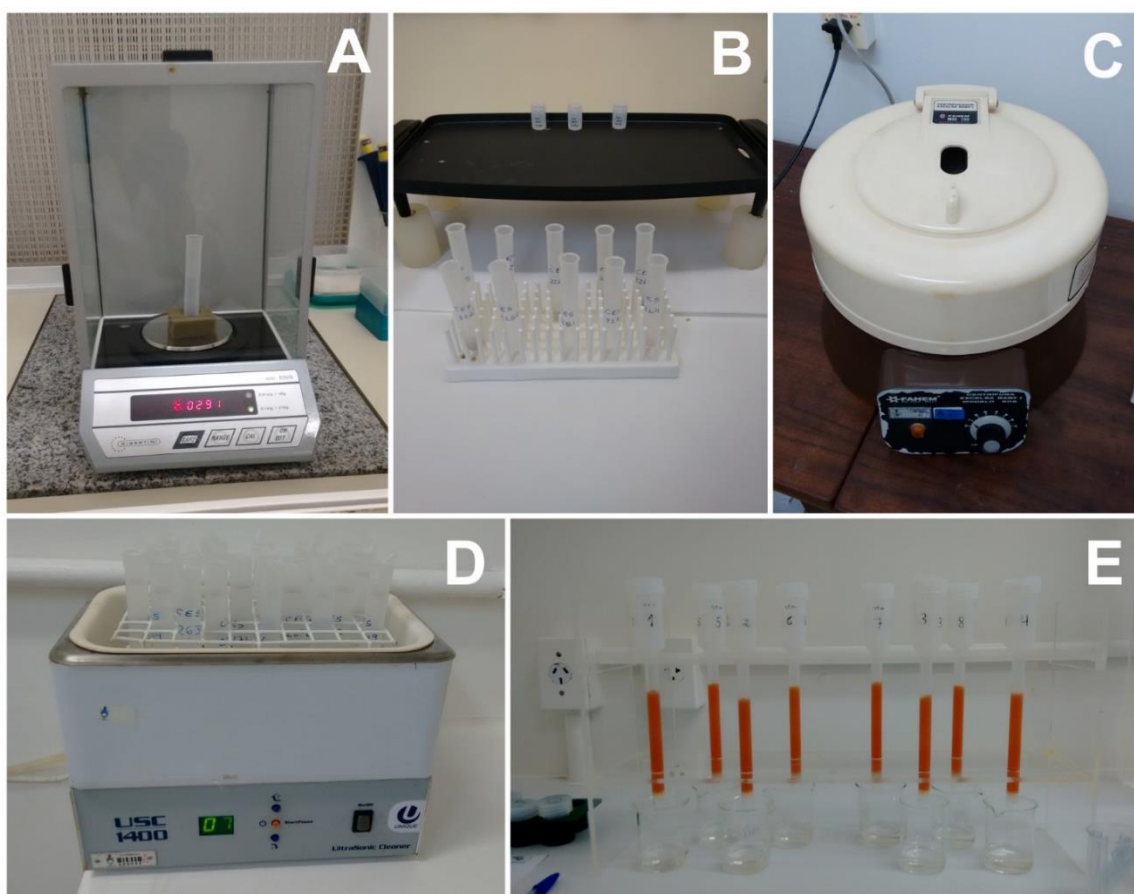


Figura 8: Etapas do processo de determinação das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. A) Balança utilizada na pesagem das amostras; B) Amostras em processo de secagem em savilex na chapa quente; C) Centrífuga utilizada no final do processo de abertura das amostras; D) Ultrassom utilizado no processo de abertura das amostras; E) Colunas de separação catiônica utilizadas no processo de separação do elemento Sr.

6.4. Tratamento e Análise dos Dados Obtidos

Na etapa quatro, os gráficos, diagramas, mapas e ilustrações que serão apresentados neste trabalho foram realizados através da utilização dos programas ArcMap 10.3, Google Earth Pro, Corel Draw X8, Microsoft Excel e Microsoft Word. Além deles, a elaboração desta dissertação também faz parte desta etapa.

7. RESULTADOS

7.1. Carta de submissão

2017-6-8

Gmail - [Geociencias] Agradecimento pela Submissão



Leonardo Neis <leonardoneis@gmail.com>

[Geociencias] Agradecimento pela Submissão

Prof. Dr. Norberto Morales <revigeoc@rc.unesp.br>
Para: Leonardo Neis <leonardoneis@gmail.com>

8 de junho de 2017 01:02

Leonardo Neis,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "APLICAÇÃO DE RAZÃO $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ E GEOQUÍMICA EM MÁRMORES DO ESCUDO SUL-RÍO-GRANDENSE" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/author/submission/12464>

Login: leo_neis

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Prof. Dr. Norberto Morales
Geosciences = Geociências

Geosciences = Geociências
<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias>

7.2. Artigo

APLICAÇÃO DE RAZÃO $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ E GEOQUÍMICA EM MÁRMORES DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ RATIO APPLICATION AND GEOCHEMISTRY IN MARBLES OF THE SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD

Leonardo Pavlak NEIS¹, Ana Maria Pimentel MIZUSAKI¹, Edinei KOESTER¹

(1) UFRGS, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900 – Porto Alegre (RS). Endereços eletrônicos: leonardoneeis@gmail.com; ana.mizusaki@ufrgs.br; koester@ufrgs.br

Introdução
Geologia Regional
Os Mármore do Escudo Sul-Rio-Grandense
Áreas de estudo
Materiais, Métodos e Técnicas
Resultados
Discussões
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O Escudo Sul-Rio-Grandense, nos seus diferentes domínios geotectônicos, tem ocorrências de mármore relativamente pouco conhecidas. Foram selecionadas quatro pedreiras onde os mármore estão expostos: Fida, Mudador e Inducal na região de Caçapava do Sul (RS); Matarazzo na região de Arroio Grande (RS). A metodologia incluiu petrografia, geoquímica e isótopos de Sr. Nos mármore de Caçapava do Sul, há predomínio de dolomita, corroborado pelo teor de MgO (17,66 a 21,52%) e classificados como dolomíticos. Na região de Arroio Grande, domina calcita, as concentrações de MgO estão entre 0,44 e 0,54% e são classificados como calcíticos. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variam entre 0,704 e 0,713 para os mármore Fida; 0,709 e 0,714 para Mudador; 0,705 e 0,709 para Inducal e 0,7060 e 0,7067 para Matarazzo. Razões Mn/Sr e Sr/Ca e a análise da concentração de Sr mostram que nos mármore Matarazzo a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial foi preservada. Nos outros mármore ocorreu influência direta de fluidos relacionados à diagênese e/ou ao metamorfismo e a determinação de uma idade não é confiável. Resultados interpretados sugerem que a formação dos mármore de Arroio Grande ocorreu entre 900 e 850 Ma e Caçapava do Sul entre 800 e 750 Ma, em um modelo de bacias compartimentadas.

Palavras-chave: Mármore, Geoquímica, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Escudo Sul-Rio-Grandense.

ABSTRACT – The Sul-Rio-Grandense Shield has, in its different geotectonic domains, relatively few known marble occurrences. Four quarries were selected, where marbles are placed: Fida, Mudador and Inducal at the Caçapava do Sul (RS) region; Matarazzo at the Arroio Grande (RS) region. The methodology included petrography, geochemistry and Sr isotopes analyses. At the Caçapava do Sul marbles there is dolomite predominance, corroborated by the MgO content (17.66 to 21.52%) and classified as dolomitic. At the Arroio Grande region, calcite prevails, the MgO content

are between 0.44 and 0.54% and the marbles are classified as calcitic. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios range from 0.704 to 0.713 in the Fida marbles; 0.709 to 0.714 in Mudador; 0.705 to 0.790 in Inducal and from 0.7060 to 0.7067 in Matarazzo. Mn/Sr and Sr/Ca ratios and Sr concentration analysis show that at the Matarazzo marbles, the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio were preserved. On the other marbles there was a direct influence of diagenetic and/or metamorphic related fluids and the determination of any age is not reliable. Interpreted results suggest that the formation of the Arroio Grande marbles occurred between 900 and 850 Ma and the Caçapava do Sul marbles between 800 and 750 Ma, in a compartmented basins model.

Keywords: Marble, Geochemistry, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Sul-Rio-Grandense Shield.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de mármore no Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) vem sendo citada desde os primeiros trabalhos de mapeamento geológico ocorridos no estado do Rio Grande do Sul, principalmente após a fundação da Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 1957. Mapeamentos geológicos em diferentes escalas apontaram em diversas áreas dentro do escudo, lentes de carbonatos metamorfizados encaixados em outras litologias.

Porém, até pouco tempo atrás, essas rochas raramente eram objeto de um estudo detalhado que as colocassem em primeiro plano. Nem mesmo eram comparadas entre si, apesar da sua importância para o entendimento da evolução do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Tendo isso em vista, é interessante a aplicação de uma metodologia bem definida e referida na literatura, envolvendo geoquímica e geologia isotópica em mármore do ESRG, com o objetivo de obter informações sobre a gênese e a composição dos mármore, além da correlação geoquímica e isotópica entre as diferentes ocorrências, sejam elas obtidas por este estudo ou através de dados de outras pesquisas publicadas na literatura. A proposição de um modelo quanto a origem dos mármore em estudo e a sua relação com a geologia regional é outro objetivo.

GEOLOGIA REGIONAL

As áreas de estudo localizam-se no Escudo Sul-Rio-Grandense, porção sul da Província Mantiqueira (Hasui *et al.*, 1975; Almeida *et al.*, 1981), onde ocorrem rochas ígneas, metamórficas e sedimentares pré-paleozoicas com gênese relacionada aos ciclos Transamazônico

(Paleoproterozoico) e Brasileiro/Pan-Africano (Neoproterozoico) (Hartmann *et al.*, 1999; Soliani Jr. *et al.*, 2000; Borba, 2006).

O Escudo Sul-Rio-Grandense é composto por parte de um antigo núcleo cratônico (Cráton Rio de La Plata) em contato com uma zona de acreção e retrabalhamento crustal (originada durante o ciclo Brasileiro/Pan-Africano), o Cinturão Dom Feliciano (Hartmann *et al.*, 2007).

Pode-se dividir o Escudo Sul-Rio-Grandense em quatro Terrenos, definidos a partir de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas distintas, e limitados por zonas de cisalhamento dúcteis de escala continental (Fig. 1). São os terrenos Taquarembó, São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas. As áreas de estudo desse trabalho localizam-se no Terreno São Gabriel e no Batólito Pelotas.

Inserir Figura 1

O Terreno São Gabriel, onde ficam as pedreiras Fida, Inducal e Mudador, ocorre ao norte do lineamento Ibaré e à oeste da sutura de Caçapava (Fig. 2A) onde localiza-se o Granito Caçapava (Paleozoico Inferior), circundado pelo Complexo Metamórfico Passo Feio (Neoproterozoico). Na parte das coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares destaca-se a Formação Hilário (datada em 580 ± 11 Ma por Remus *et al.*, 1999), com pelitos e arenitos, tufos e vulcânicas básicas. Além disso, há ainda a Formação Acampamento Velho, com riolitos, traquitos, dacitos e alguns tufos com idade U/Pb de 574 ± 7 Ma (Janikian, 2004).

Na porção oeste da área de estudo observa-se uma região com ocorrência de pelitos e arenitos da Formação Santa Bárbara, e na parte leste, a Formação Guaritas com a Fácies Varzinha, de conglomerados polimíticos. Há ainda ocorrência dos pelitos da Formação Rio do Sul, do Grupo Itararé da Bacia do Paraná. Por fim, no extremo leste, há uma cobertura cenozoica de depósitos aluvionares atuais.

A região sul do Escudo Sul-Rio-Grandense, onde está localizada a área de estudo de Arroio Grande, apesar de possuir alguns trabalhos e mapas sobre a sua geologia publicados, é pouco

detalhada. Conforme Ramos (2011), várias regiões ainda carecem de estudos aprofundados, uma vez que algumas unidades têm dimensões com menos de 1 km de extensão.

A região de Arroio Grande está inserida na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, bloco geofísico leste (Fernandes *et al.*, 1995) ou Batólito Pelotas (Fragoso César *et al.*, 1986; Phillip & Machado, 2006; Hartmann *et al.*, 2007), com extensão aproximada de 370 km, largura de 70 a 110 km e continuidade ao norte, em Santa Catarina, e ao sul, no Uruguai (Philipp *et al.*, 2000). Seus limites são dados pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Mesquita & Fernandes, 1990) e pela Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro, por discordância com as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e com os sedimentos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

A geologia do Batólito Pelotas, de forma resumida, é composta por seis suítes granitoides relacionadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto a baixo grau (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2000, 2002) denominados de septos do embasamento (Fragoso César *et al.*, 1986).

A área de Arroio Grande possui geologia composta por Anfibolitos, Serpentinóis e Xistos Arroio Grande, Mármore e Anfibolitos Matarazzo (unidade de enfoque neste trabalho), Quartzitos e Xistos do Erval, Complexo granito-gnáissico Pinheiro Machado, Granitos Figueirinha, Capão do Leão e Chasqueiro, Grupo Bom Jardim, Grupo Guatá, Grupo São Bento e Serra do Erval, além dos sedimentos recentes (Fig. 2B).

Inserir Figura 2

OS MÁRMORES DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE

Mármore é o termo que designa os calcários que sofreram um processo de metamorfismo, com modificação no arranjo cristalino, composição mineral e/ou química. Considera-se calcário uma rocha sedimentar formada por mais de 50% de minerais carbonáticos, principalmente calcita e dolomita e a sua formação pode se dar através de precipitação química ou orgânica (Sampaio & Almeida, 2005; Fabris, 2015)

Apesar dos extensivos estudos da geologia do Escudo Sul-Rio-Grandense, considera-se que os mármores desta estrutura geológica foram relativamente pouco estudados (Goulart, 2012). O trabalho pioneiro que tem como tema as ocorrências de mármore no Rio Grande do Sul é, possivelmente, o de Lisboa (1977). O autor realiza um mapeamento das jazidas próximas ao município de Bagé (RS), e constata dois tipos diferentes de ocorrências de mármore, bem como o controle estrutural e tectônico das jazidas.

Na região de Caçapava do Sul, Bortolotto (1987, 1988) conduziu os estudos iniciais, quando caracterizou-os como “mármores dolomíticos impuros”, ou seja, composição predominantemente dolomítica, mas com a presença de calcita descrita nos halos de alteração hidrotermal. Posteriormente, Remus *et al.* (2000) analisou a ocorrência de mineralizações de cobre nos mármores, associados ao Granito Caçapava. Nessa mesma linha, Gazzoni (2010) definiu padrões mineralógicos nos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e nos mármores do escudo.

O trabalho de Goulart *et al.* (2013) é o que modifica consideravelmente esse cenário apresentando dados específicos dos mármores da região. Os autores classificam sequências carbonáticas da Formação Passo Feio e do Complexo Cambaí, petrográfica e geoquimicamente, aplicando, também, uma análise integrada de isótopos de Sr, C e O, situando-os em um intervalo de 730 a 770 Ma.

Da mesma forma que os mármores da região de Caçapava do Sul, as ocorrências na região de Arroio Grande não possuem estudos específicos. Apesar de possuir trabalhos publicados, poucos deles são de detalhe e somente alguns descrevem as ocorrências de mármores na região (Philipp *et al.*, 2000; 2002). Estes autores identificam, a nordeste do município de Arroio Grande (RS), lentes calcárias e margas metamorfizadas denominadas Mármores e Anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras. Essas ocorrências, juntamente com outras rochas metamórficas descritas anteriormente (Quartzitos e Xistos do Herval, Xistos do Grupo Porongos, Gnaisses Vigia, Gnaisses Chanã e Gnaisses Piratini), foram interpretadas como sendo xenólitos centimétricos a quilométricos e

denominados por Fragoso César *et al.* (1986) como Septos do Embasamento, e parte do chamado Batólito Pelotas.

Os trabalhos de Ramos (2011) e Ramos & Koester (2014) trazem mais detalhe para a região citando os mármorees que ocorrem próximos a Arroio Grande (RS), definindo-os como corpos com dimensões quilométricas que têm como rochas encaixantes o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado.

Ainda assim, considera-se que os mármorees dessa região permanecem, até então, com poucos trabalhos que os coloquem como tema principal de estudo.

ÁREAS DE ESTUDO

LOCALIZAÇÃO

Para esta pesquisa, foram selecionadas quatro áreas de estudo no Escudo Sul-Rio-Grandense. Dessas quatro, três ficam na região centro-sul do estado, nos arredores da cidade de Caçapava do Sul (cerca de 260 km da capital Porto Alegre) e com acesso pelas rodovias BR 290 e BR 392. Essas áreas de estudo são pedreiras denominadas pelos seus nomes comerciais: Fida (10 km a sudeste de Caçapava do Sul, com acesso pela rodovia BR 392), Inducal (mesma localidade que a Fida) e Mudador (40 km a sudoeste de Caçapava do Sul, com acesso pelas rodovias BR 392 e BR 153).

A outra área estudada está localizada na região sul do estado, próxima a cidade de Arroio Grande (350 km de Porto Alegre) e com acesso pela rodovia BR 116. A pedreira denominada Matarazzo localiza-se a cerca de 30 km a nordeste da cidade, com acesso pela rodovia BR 116 e estradas locais.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS PEDREIRAS EM ESTUDO

A pedreira Fida possui dimensões de 100 m x 350 m e profundidade da cava de 60 m. Juntamente com a pedreira Inducal (e outras), compõe uma lente de cerca de 8 km de extensão. Os mármorees ocorrem localmente com uma estrutura identificada como a S0 (Fig. 3A). Além disso, são

cortados por diques graníticos e se intercalam com níveis centimétricos de clorita xistos (Fig. 3B). Semelhante a Pedreira Fida, a Inducal possui dimensões de 100 m x 200 m e profundidade média de 30 m. A S0 apresenta mergulho de cerca de 20 graus (Fig. 3C). Os mármores também são intercalados por camadas centimétricas de xistos escuros (Fig. 3D).

A pedreira Mudador divide-se em duas porções: a sul, onde afloram mármores fraturados e localmente dobrados, coloração marrom avermelhada e a norte, na qual os mármores de cor preta são extraídos para fins ornamentais. Evidências de tectonismo e intenso fraturamento segundo direções preferenciais e feições de dobramentos (Fig. 3E). Observa-se, ainda, diversas famílias de veios ora calcíticos ora quartzosos cortando os mármores sem orientação preferencial, com espessura média de até 5 cm e, subordinadamente, 17 cm (Fig. 3F). Atualmente desativada, a pedreira Matarazzo possui dimensões 100 m x 500 m. Nela, há um predomínio de mármore branco e homogêneo (Fig. 3G). Destacam-se, porém, inúmeros corpos máficos, tais como anfibolitos, imersos no mármore, lembrando xenólitos (Fig. 3H). Esses corpos tem formas, contatos e dimensões variadas: centimétricos a métricos. Os mármores também são seccionados, em uma porção do afloramento, por um dique de tonalito, com espessura média de 5 m. É mais uma área de estudo com evidências de um tectonismo intenso.

Inserir Figura 3

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

A metodologia empregada neste trabalho envolveu, anteriormente à etapa de campo, levantamento bibliográfico acerca das áreas de estudo, bem como a análise de fotos aéreas e imagens de satélite, com o objetivo de definir os pontos a serem estudados. Na etapa de campo, foram confeccionados perfis colunares dos afloramentos, a fim de servirem de base para uma coleta de amostras ao longo das pedreiras. Foram coletadas 91 amostras representativas nas quatro áreas de estudo de acordo com técnicas de controle de amostragem para evitar contaminações.

As 91 amostras foram descritas macroscopicamente, fotografadas e catalogadas. Destas, 33 amostras foram selecionadas para determinação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), seguindo o protocolo estabelecido.

As análises químicas em rocha total (RT) para determinação dos elementos maiores, menores e traços foram realizadas no Acme Analytical Laboratories Ltd. (Canadá). Um total de 21 amostras foram preparadas e os elementos maiores foram analisados com um ICP-OES (Thermo Jarrell-Ash ENVIRO II Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) e os traços com um ICP-MS (Perkin Elmer SCIEX ELAN6000 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer).

Para caracterização petrográfica, foram confeccionadas 14 lâminas delgadas no Instituto de Geociências da UFRGS. No estudo petrográfico foram identificados e descritos para cada lâmina delgada os seus minerais constituintes, paragêneses, texturas, estruturas, transformações e deformações causadas por processos metamórficos e retrometamórficos entre outros aspectos fundamentais para a correta classificação da amostra e definição de litotipos, grau metamórfico e caracterização textural.

RESULTADOS

ANÁLISE PETROGRÁFICA

A análise petrográfica mostra que as amostras da pedra Fida são mármore dolomíticos contendo até 10% de biotita, muscovita e calcita. Os cristais de dolomita, com tamanho médio de 2 mm, estão em uma matriz de textura média, sem orientação preferencial, mas com textura granoblástica bem caracterizada (Figs. 4A, B).

As amostras da pedra Mudador macroscopicamente possuem uma coloração escura com textura equigranular e homogênea observada na lâmina petrográfica. Os cristais de dolomita que preenchem fraturas são euédricos, inclusive com maclas. Isso não ocorre nos cristais de dolomita que compõem a matriz, também pelo fato de serem muito pequenos (em média 0,08 mm). A matriz é

composta predominantemente por dolomita (95%) e opacos (5%), arranjados de forma aleatória (Fig. 4C). Nota-se também um intenso faturamento na rocha, preenchido por cristais de quartzo, dolomita e minerais opacos. Em algumas amostras as fraturas são preenchidas predominantemente por quartzo e em outras por dolomita. Os cristais de quartzo que preenchem essas fraturas são anédricos, ora de forma arredondada, ora de forma mais elíptica, mas com extinção ondulante. Já os cristais de dolomita são, em geral, bem formados (euédricos), alongados, apresentando, inclusive, maclas em uma ou duas direções. Os opacos são, em sua maioria, arredondados porém, quando preenchem fraturas, são bastante alongados (Fig. 4D).

Os mármore da pedreira Inducal são semelhantes aos Fida, com predomínio de dolomita sobre os demais minerais presentes, preferencialmente com textura granoblástica (Fig. 4E).

A pedreira Matarazzo possui mármore essencialmente calcíticos com 10% de K-feldspato e quartzo, com granulometria média em torno de 2 mm. Algumas lâminas mostraram orientação preferencial das calcitas e outras completamente aleatórias (Figs. 4F, G, H).

Inserir Figura 4

ELEMENTOS MAIORES

A análise geoquímica de elementos maiores foi realizada em 21 amostras das quatro áreas de estudo (Tab. 1). Esses dados permitiram, em um primeiro momento, a caracterização dos mármore conforme sua composição química e paragênese mineral. De acordo com Rock (1987), que classifica as rochas no sistema $MgO \times SiO_2$, os mármore Matarazzo (MAT) são mármore calcíticos puros, enquanto que as rochas das pedreiras Fida (FID), Mudador (MUD) e Inducal (IND) são mármore dolomíticos puros (Fig 5A). Já segundo o diagrama SiO_2 -CaO-MgO de Bucher & Frey (1994), os mármore Matarazzo são calcissilicáticos, enquanto que Fida, Mudador e Inducal são dolomíticos a calcítico-dolomíticos (Fig. 5B).

Inserir Tabela1

Inserir Figura 5

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1 foram confeccionados diagramas binários que facilitaram algumas constatações, tais como o teor de MgO extremamente baixo das amostras da pedra Matarazzo (média de 0,51%) em comparação com as áreas Fida, Inducal e Mudador (médias de 20,70%, 20,67% e 18,73%, respectivamente), confirmando a classificação petrográfica (Figs. 6A, E). Conseqüentemente, os teores de CaO das amostras também podem ser dividido em dois grupos, pois os mármore dolomíticos Fida, Inducal e Mudador apresentaram teores médios de 30,88%, 30,43% e 27,74%, enquanto que os mármore calcíticos Matarazzo apresentaram teor médio de 52,29% de CaO (Figs. 6A, B). Com esses dois elementos é interessante verificar a razão Mg/Ca, que possui valores médios de 0,57 para os mármore dolomíticos de Fida, Inducal e Mudador e de 0,01 para os mármore calcíticos Matarazzo.

Quanto aos teores de Fe_2O_3 os mármore Mudador são os que possuem os maiores teores, valores de 1,09% a 1,77% (média de 1,33%). As demais ocorrências possuem valores próximos, 0,35% a 0,71% (média de 0,48%) para o Matarazzo, 0,22% a 0,55% (média de 0,35%) para Fida e 0,17% a 0,71% (média de 0,42%) para Inducal. Os mármore Mudador mostraram os maiores teores de MnO também, com valores médios de 0,034% contra 0,02% para Matarazzo, 0,025% para Fida e 0,015% para Inducal (Figs. 6C, F).

Os teores de SiO_2 das amostras Fida são os mais baixos do conjunto de amostras, com valores entre 0,61% e 2,5% (média de 1,55%). Os mármore apresentam valores entre 4,67% e 9,32% (média de 7,34%) no Matarazzo, entre 3,91% e 12,85% (média de 7,69%) no Mudador e entre 2,77% e 11,92% (média de 5,56%) no Inducal (Figs. 6B, E, F). Quanto aos teores de Al_2O_3 ocorre algo semelhante, pois os mármore Fida são os que possuem os menores teores, apresentando média de 0,2%. Matarazzo possui teores médios de 0,46%, Mudador 0,61% e Inducal 0,5% (Fig. 6D).

Os mármore em estudo possuem valores próximos entre si e muito baixos para as concentrações de K_2O , Na_2O e P_2O_5 . Todos os valores médios ficam abaixo de 0,5%.

Inserir Figura 6

ELEMENTOS TERRAS RARAS

A análise de padrões de elementos terras raras (ETR) foi realizada nas mesmas amostras em que foi aplicada a análise geoquímica de elementos maiores. O resultado dessa análise está representado na Tabela 2, onde é possível observar características distintas para cada área de estudo.

Os valores do somatório dos ETR para os mármore calcíticos Matarazzo ficam entre 17,1 e 27,1 ppm (com média de 21,3 ppm). Os mármore Mudador apresentam valores entre 10 e 19,5 ppm (com média de 14,9 ppm). As amostras Fida resultaram em somatório entre 5,1 e 7,3 (média de 6 ppm) e os mármore Inducal mostram valores entre 3 e 17 ppm (com média 8,8).

Também com os ETR, após normalizar as amostras de acordo com valores do folhelho NASC (Haskin *et al.*, 1968), é possível identificar diferentes comportamentos de acordo com a comparação entre as concentrações de ETR leves e pesados, como indica a figura 7. Os mármore Matarazzo e Mudador apresentaram os resultados mais homogêneos, embora o segundo conjunto tenha mostrado uma pequena depleção de ETR pesados, enquanto que os mármore Matarazzo mostram um enriquecimento em ETR pesados. Os mármore Fida e Inducal apresentam um resultado mais disperso com uma variação mais brusca entre os valores dos elementos, resultando em um diagrama com aparência serrilhada. Nota-se, também uma pequena depleção de ETR pesados, além da presença de anomalia positiva de Eu em praticamente todas as amostras. A exceção é a amostra FID-23 que possui anomalia de Eu negativa.

Inserir Tabela 2

Inserir Figura 7

GEOLOGIA ISOTÓPICA - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

A análise isotópica para determinação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foi realizada em 33 amostras nas 4 áreas de estudo pesquisadas, sendo 10 na Matarazzo, 10 na Mudador, 8 na Fida e 5 na Inducal (Tab. 3). As razões encontradas podem ser divididas em dois conjuntos com valores próximos. Os mármore Matarazzo, com razões muito próximas de 0,706 (mín. 0,7060 e máx. 0,7063); as amostras

Fida, com razões de 0,704 a 0,713; e os mármore Inducal, com razões de 0,705 a 0,709. No outro conjunto definido estão os mármore Mudador, com razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variando de 0,709 a 0,714.

Inserir Tabela 3

Outra análise que pode ser feita com os resultados da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ é avaliar a sua variação em amostras da mesma área de estudo e compará-la com a concentração de Sr presente nas amostras (Figs. 8A, B, C). Os mármore Mudador, Fida e Inducal apresentaram a maior variação na razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (valores entre 0,704 a 0,714 se considerados em conjunto) e possuem a menor concentração de Sr (valores entre 53,1 e 141,4 ppm) quando comparados com o mármore Matarazzo, que mostrou altas concentrações de Sr (de 2012,9 a 2344,9 ppm) e também o resultado mais homogêneo na razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, com uma variação de apenas na quarta casa decimal entre as dez amostras analisadas (média de 0,706).

Inserir Figura 8

DISCUSSÕES

A metodologia proposta nesse trabalho procurou avaliar petrográfica e geoquimicamente cada área de estudo para, assim, poder compará-los entre si e com outras ocorrências de mármore no Rio Grande do Sul e no Brasil.

A composição mineralógica das amostras das pedreiras Fida, Inducal e Mudador é semelhante, com dolomita como mineral principal. A diferença está na dimensão dos cristais (média de 2 mm para Fida e Inducal e 0,08 mm para Mudador) e em características macroscópicas (cor e veios no Mudador). As amostras da pedreira Matarazzo, por sua vez, possuem a calcita como mineral dominante.

Todas as ocorrências são afetadas, de alguma forma, por tectonismo, gerando fraturas e dobras. Porém, nesse aspecto destaca-se a pedreira Matarazzo, que apresenta corpos de anfibolitos em meio aos mármore. Supõe-se que sejam oriundos de intrusões básicas nos mármore (à época carbonatos não metamorfizados) que posteriormente foram fraturados e metamorfizados juntamente

com os mármore. De qualquer maneira, estas duas litologias são associadas pela literatura, descritas em conjunto como mármore e anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras, xenólitos da Suíte Intrusiva Erval (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2000; 2002). Processo semelhante ocorreu nas áreas Fida e Inducal, onde camadas de rochas siliciclásticas (possivelmente pelitos) foram depositadas de forma intercalada com os carbonatos e, após o metamorfismo, resultaram nos clorita xistos que hoje afloram junto dos mármore.

Através da geoquímica de elementos maiores foi possível separar as amostras Fida, Inducal e Mudador da ocorrência Matarazzo. Teores de CaO dos mármore Matarazzo (média de 52,29%) são muito mais elevados que os teores dos mármore Fida, Inducal e Mudador (30,88%, 30,43% e 27,74% respectivamente). O oposto acontece quando compara-se os teores de MgO. Os valores para os mármore Matarazzo (média 0,51%) são inferiores aos valores encontrados nas amostras Fida, Inducal e Mudador (20,7%, 20,67% e 18,73% respectivamente), corroborando com a identificação da dolomita como principal mineral para as ocorrências Fida, Inducal e Mudador e calcita para a Matarazzo. E também com as classificações dos mármore segundo Rock (1987), indicando que os mármore Matarazzo são calcíticos puros, enquanto que as rochas das pedreiras Fida, Mudador e Inducal são mármore dolomíticos puros. Segundo a classificação de Bucher & Frey (1994), os mármore Matarazzo são calcissilicáticos, enquanto que Fida, Mudador e Inducal são dolomíticos a calcítico-dolomíticos.

Com essa relação de teores foi possível comparar as razões Mg/Ca nas diferentes áreas de estudo, como realizado amplamente na literatura neste tipo de pesquisa. As razões encontradas por Goulart *et al.* (2013) nos mármore calcíticos foram entre 0,004 e 0,1 (média de 0,03) e nos mármore dolomíticos, razões entre 0,49 e 0,58 (com média 0,56). Neste trabalho, os valores para as amostras da pedreira Matarazzo (mármore calcíticos) foram de 0,007 a 0,009 (com média 0,008), enquanto que nas regiões Fida, Inducal e Mudador (mármore dolomíticos), as razões encontradas foram entre 0,5 a 0,6 (com média 0,5).

Os demais teores de elementos maiores não delimitam tão claramente as ocorrências em estudo como o CaO e o MgO. Por isso, elas são comparadas com esses óxidos, a fim de, em um diagrama binário, separar duplamente as áreas de estudo. Neles, é possível ver que as amostras das pedreiras Fida, Inducal e Mudador (as três na região de Caçapava do Sul) assemelham-se em quase todos os diagramas, claramente destacadas das amostras da pedreira Matarazzo.

Os resultados de LOI podem ser utilizados também para perceber a quantidade de carbonato presentes na água no momento da precipitação (Onimisi, *et al.*, 2013). Isso ocorre porque o LOI reflete o conteúdo de voláteis (CO₂, H₂O) presente nos mármore. Os mármore Matarazzo e Inducal foram os que apresentaram os menores valores de LOI, com médias de 38,3 e 41,8%, respectivamente. Os mármore Fida e Mudador apresentaram os valores mais elevados, com percentuais de 46 e 43,2%.

Os ETR, por sua vez, separam as amostras em três grupos distintos quanto ao somatório dos valores, sendo a região Matarazzo, com os valores superiores (média de 21,3 ppm), enquanto que as regiões Fida e Inducal apresentam valores menores (médias de 6,0 e 8,8 ppm, respectivamente). Os mármore Mudador, entretanto, ficam no meio termo, com valores intermediários (média de 14,9 ppm). Essa diferença da área Mudador para Fida e Inducal é creditada a diferente característica macroscópica das amostras (escuras e com venulações preenchidas por minerais tardios), bem como à maior concentração de FeO e MnO observada na análise de elementos maiores. Quando levamos em conta o diagrama de distribuição dos ETR nas amostras das quatro áreas de estudo, também é possível separar as amostras da região de Caçapava do Sul – Fida, Mudador e Inducal – (mármore dolomíticos) das amostras da região de Arroio Grande – Matarazzo – (mármore calcíticos), principalmente devido a diferença da concentração de ETR pesados comparado com a concentração de ETR leves. As amostras dolomíticas mostram uma pequena depleção de ETR pesados, enquanto que as amostras calcíticas de Matarazzo mostram um enriquecimento nestes elementos químicos.

Além disso, os resultados para todos os ETR de todas as amostras do estudo, após normalização pelo padrão NASC, apresentam valores inferiores a 1, sugerindo que a concentração

destes elementos não foi influenciada por processos hidrotermais associados a rochas ígneas, podendo estar ligada a processos deposicionais ou diagenéticos (Torres *et al.*, 2006).

As anomalias de Ce e Eu também são importantes parâmetros em estudos com rochas carbonáticas, pois variam em função das condições de oxidação-redução do ambiente de deposição sedimentar e/ou oceânico (Holser, 1997). Os trabalhos de Piper (1974) e McLennan *et al.* (1979) afirmam que a anomalia negativa de Ce (observado nos mármore Matarazzo) indica sedimentação marinha e presença de oxigênio, já que a remoção de Ce com oxigênio presente é mais fácil do que os demais ETR. Já a anomalia positiva de Eu (presente nos mármore Fida e Inducal) indica, segundo Michard *et al.* (1983) e Tlig & M'rabet (1985) presença de processos envolvendo contribuição de fluidos hidrotermais.

Para se interpretar as razões isotópicas do estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), parte-se do pressuposto que quando carbonatos marinhos precipitam, eles preservam a relação isotópica do Sr da água do mar (Jacobsen & Kaufman, 1999). Sendo assim, foi proposta uma curva da variação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na água do mar ao longo do tempo geológico, que é utilizada como parâmetro para se definir a idade em que esses carbonatos precipitaram (Halverson *et al.*, 2010).

Porém, é possível que ocorra interação dos carbonatos com outros fluidos (não-marinhos, hidrotermais, diagenéticos), alterando a composição isotópica original (Kaufman *et al.*, 1992; Denison *et al.*, 1994; Jacobsen & Kaufman, 1999). Para o reconhecimento dessa alteração, são utilizados alguns parâmetros, como as razões Mn/Sr, Sr/Ca, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e os teores de MnO e de Sr (Denison *et al.*, 1994), que indicam interação dos carbonatos com outros fluidos, que costumam ter maior concentração de Mn e Fe e menos Sr que a água do mar. Somado a isso, o Sr tende a ser lixiviado da estrutura dos carbonatos durante a diagênese, enquanto que o Mn é incorporado (Brand & Veizer, 1980).

Ao se aplicar tais parâmetros (Figs. 9A, B), observa-se que as amostras da pedreira Matarazzo diferenciam-se das demais, sendo as mais próximas de uma composição original sem influência posterior. Soma-se a isso a baixa razão Mn/Sr (0,066 a 0,077) e a elevada concentração de Sr (mais

de 2.000 ppm). É possível, portanto, afirmar que não sofreram ação de outros fluidos durante a diagênese e o metamorfismo. Os mármores Inducal e Fida ficam no campo primário também, mas com uma dispersão maior: razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com uma variação muito ampla (0,704 a 0,713), baixa concentração de Sr (53,1 a 141,4 ppm, com média de 81,4) e alta razão Mn/Sr (0,73 a 4,19 com média de 2,18). Esses resultados provavelmente são associados ao aporte de sedimentação siliciclástica, posterior que irão originar as camadas de xistos que hoje encontram-se intercaladas com o mármore. Com isso, torna-se questionável o uso dessas ocorrências para propor uma idade através da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

As amostras da pedreira Mudador ficaram posicionadas em sua totalidade no campo da influência diagenética/metamórfica dos diagramas, além de apresentarem razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ anômalas para o Neoproterozoico (0,709 a 0,714), possuírem baixa concentração de Sr (65,1 a 82,5 ppm) e mostrarem a mais alta razão Mn/Sr (2,16 a 5,95). É possível afirmar que elas não devem ser consideradas como resultados originais da sua precipitação, posto que houve interação de fluidos posteriores e aumento do Sr radiogênico, associado a aporte de sedimentos continentais.

Inserir Figura 9

Segundo Kaufman *et al.* (1992) e Jacobsen & Kaufman (1999), amostras com razões Mn/Sr inferiores a 3 e 2, respectivamente, podem ser consideradas como tendo a sua composição primária preservada. Os autores consideraram representativas, também, amostras com concentrações de Sr entre 150 e 2500 ppm. Sendo assim, selecionou-se as amostras das pedreiras Fida e Mudador que melhor se enquadram nessas condições para propor uma idade de deposição para estas unidades. As amostras selecionadas foram FID-05, com razão Mn/Sr 1,83 e concentração de Sr de 126,9 ppm; e IND-10, com razão Mn/Sr de 1,10 e concentração de Sr de 141,4 ppm.

Neste trabalho, usou-se a curva de variação da composição isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na água do mar durante o Neoproterozoico extraída de Halverson *et al.* (2010) (Fig. 10) e, de acordo com ela, os mármores Matarazzo, com razões homogêneas de 0,706, possuem idade entre 900 e 850 Ma, sendo do período Toniano, Neoproterozoico. A ocorrência Inducal, representada pela amostra IND-10

apresentou razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7065, possuindo uma idade entre 800 e 750 Ma, sendo também do período Toniano, Neoproterozoico. Os mármores Fida e Mudador não apresentaram condições geoquímicas e isotópicas confiáveis para propor uma idade de deposição, seja devido a um resultado incompatível com o Neoproterozoico e com a geologia regional na qual estão inseridas, e/ou devido a assinaturas geoquímicas que mostram influência posterior no registro isotópico das rochas. Entretanto, devido à similaridade geoquímica e mineralógica entre as três ocorrências (Inducal, Fida e Mudador) e devido à proximidade entre estas áreas de estudo, associa-se a idade obtida pela Inducal para todas as ocorrências.

Inserir Figura 10

Por fim, pode-se fazer um comparativo das razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nos mármores em estudo com ocorrências de mármores no Brasil e no Rio Grande do Sul. Dentro do Escudo Sul-Rio-Grandense, Goulart *et al.* (2013) obtiveram razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,706 e 0,710 para os dolomita mármores da Formação Passo Feio (mesma região dos mármore Fida, Mudador e Inducal), atribuindo idades entre 770 e 730 Ma; e razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,706 e 0,707 para os calcita mármores do Complexo Cambaí, com idades entre 740 e 730 Ma. Estas ocorrências são, portanto, contemporâneas aos mármores Fida, Inducal e Mudador e mais recentes que os Matarazzo.

No Brasil, os estudos de Sr/Sr concentram-se principalmente no Grupo Bambuí (unidade, esta, definida por Rimann, 1917, segundo Dardenne, 1978) localizado no Cráton São Francisco sudeste e nordeste do Brasil. Nessa área, Cunha (2012) obteve razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,707 e 0,708 nas duas ocorrências de seu estudo (Formação Lagoa do Jacaré e Formação Sete Lagoas), sendo interpretadas com idades entre 630 e 575 Ma sendo mais jovens que os mármores do ESRG deste estudo. Figueiredo (2010) obteve razões entre 0,707 e 0,708 também, relacionando a deposição da sua unidade em estudo a glaciação Marinoana (entre 650 e 630 Ma) sendo, então, mais recentes que as ocorrências desta pesquisa. Demais trabalhos no Grupo Bambuí apresentam resultados que variam de 0,703 a 0,709 para a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, obtendo uma faixa de idades entre 640 e 600 Ma (Lima, 2011; Alvarenga *et al.*, 2007, 2008; Vieira, 2007; Kawashita, 1996).

Também associando a glaciação Marinoana (com idades entre 650 a 640 Ma), Cezario (2011) encontrou razões - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,707 para as rochas das formações Serra Paraíso e Panelinha, pertencentes à Bacia do Rio Pardo (também localizada no Cráton São Francisco) e razões 0,707 e 0,708 para a Formação São Desiderio, Grupo Bambuí, todas na Bahia, região nordeste do Brasil.

Após a compilação dessas informações é possível sugerir um modelo hipotético de como teria se dado a formação dos mármore de este estudo (Fig. 11): em um primeiro momento a deposição dos carbonatos Matarazzo entre 900 e 850 Ma em um oceano entre o Cráton Kalahari e um arco (que posteriormente, com o consumo do oceano, se chocaria com o Cráton Rio de La Plata, gerando a série de eventos metamórficos e magmáticos que formaram o Batólito Pelotas – segundo Philipp (1998) gerado da evolução de três ciclos magmáticos principais entre 620 e 550 Ma). O processo de formação desses mármore está associado à deposição de outras rochas metassedimentares da região, como os Xistos e Quartzitos do Erval, que seriam o componente siliciclástico (pelitos e margas) do sistema deposicional, mas não havendo interação direta com os carbonatos.

Os mármore Fida, Inducal e Mudador, por sua vez, teriam sido precipitados entre 800 e 750 Ma em um sistema de menor dimensão, onde o continente estava mais próximo, entre o Cráton Rio de La Plata e um arco (Fig. 11). Na região onde precipitavam os carbonatos Fida e Inducal ocorriam momentos de aporte siliciclástico (pelitos e margas), que originaram o que são hoje os xistos que se intercalam nesses mármore. O mármore Mudador possui um contexto diferente pois estava em outra posição deste sistema deposicional, onde recebia um aporte maior de material orgânico, que originou a grafita (identificada por Martins & Remus, 2007) que, juntamente com maiores teores de FeO, dão a cor preta ou avermelhada para a rocha. Pode-se associar a este sistema, também, as demais ocorrências metassedimentares da Formação Passo Feio, como xistos e quartzitos, amplamente descritos na literatura.

Inserir Figura 11

CONCLUSÕES

Após a apresentação e discussão dos resultados obtidos conclui-se que é possível aplicar a metodologia empregada neste trabalho em mármore desde que se tenha cuidado na seleção das amostras e na avaliação da influência de eventuais fluidos posteriores na sua composição.

Os mármore Fida, Inducal e Mudador são semelhantes quando se trata de composição mineralógica e química. No entanto, tais mármore se diferenciam claramente do Matarazzo, na região sul do Escudo Sul-Rio-Grandense. As amostras dos mármore Mudador e Fida não podem ser consideradas como resultado confiável para a análise isotópica de Sr, já que sofreram influência de fluidos secundários (durante a diagênese e/ou o metamorfismo) e não preservam as características originais de sua formação. Essas amostras não podem ser consideradas, portanto para a definição de uma idade deposicional na curva da variação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na água do mar do Neoproterozoico.

Quanto a uma definição de idade deposicional, os mármore Fida e Inducal e Mudador, interpretados como correlatos, possuem uma idade entre 800 e 750 Ma (razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de uma amostra Inducal de 0,7065, enquanto que os mármore Matarazzo apresentaram razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7060, com idade deposicional estimada entre 900 a 850 Ma.

Os mármore em estudo neste trabalho não se formaram no mesmo sistema deposicional. Os Fida, Inducal e Mudador possuem características químicas, isotópicas e mineralógicas que indicam serem geneticamente relacionados, tendo sido formados sob condições semelhantes, em uma mesma bacia. Porém, algumas características diferentes dos mármore Mudador (como a cor, associada a presença de grafita e FeO, e as venulações) indicam que estas rochas se formaram em pontos diferentes e passaram por processos diagenéticos e/ou metamórficos também diferentes em relação à Fida e Inducal. O mármore Matarazzo, que possui composição química e mineralógica distinta, foi precipitado em um outro sistema deposicional e em um momento anterior.

AGRADECIMENTOS

Este artigo faz parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Os agradecimentos são direcionados a CAPES, pelo suporte financeiro para a realização do trabalho e concessão de bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, 17:1-29.

ALVARENGA, C.J.S.; GIUSTINA, M.E.S.D.; SILVA, C.N.G.; SANTOS, R.V.; GIOIA, S.M.C.L.; GUIMARÃES, E.M.; DARDENNE, M.A.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P. 2007. Isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. *Rev. Bras. Geociências*, 37 (4 supl):147-155).

ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; SANTOS, R.V.; BROD, E.R.; GIOIA, S.M.C.L.; SIAL, A.N.; DANTAS, E.L.; FERREIRA, V.P. 2008. Isotope stratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates in the Araras Group, Brazil. *Gondwana Research*, 13 (2008) 469-479.

AUBET, N.R.; PECOITS, E.; BEKKER, A.; GINGRAS, M.K; ZWINGMANN, H.; VEROSLAVSKY, G.; SANTA ANA, H.; KONHAUSER, K.O. 2012. Chemostratigraphic constraints on early Ediacaran carbonate ramp dynamics, Río de la Plata craton, Uruguay. *Gondwana Research*, Volume 22, Issues 3–4, November 2012, Pages 1073-1090.

BORBA, A.W., 2006. Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozoico e Paleozoico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, 474p.

BORTOLOTTI, O.J. 1987. Petrografia das mármores de Caçapava do sul, RS. *Ciência e Natura*. Santa Maria, RS vol. 9, p. 37-65: il.

- BORTOLOTTI, O.J. 1988. Metamorfismo termal dos mármore de Caçapava do Sul. *Ciência e Natura*. Santa Maria, RS vol. 10, (1988), p. 25-48: il.
- BRAND, U. & VEIZER, J. 1980. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system - 1: Trace elements. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 50, No 4. p.1219 - 1236.
- BUCHER, K. & FREY, M. 1994. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin-Germany, Springer-Verlag. 318p.
- CEZARIO, W.S. 2011. Químioestratigrafia isotópica (C, O e Sr) em duas capas carbonáticas neoproterozoicas, bacia do Rio Pardo e cinturão Rio Preto, Bahia, nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011. 126 folhas
- CUNHA, R.B. 2012. Químioestratigrafia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas carbonáticas do grupo Bambuí. 75 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.
- DARDENNE, M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife, 1978. V. 2.
- DENISON, R.E.; KOEPNICK, R.B.; FLETCHER, A.; HOWELL, M.W.; CALLAWAY, W.S. 1994. Criteria for the retention of original seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in ancient shelf limestones. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 112. 131-143.
- FABRIS, J. 2015. Avaliação qualitativa das diferentes variedades de mármore da região de Caçapava do Sul como matéria-prima para a produção de corretivos de acidez dos solos e cal. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, 2015.
- FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U.; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – Uma Contribuição a Partir do Registro Geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.25, n.4, p.351-374, 1995.

- FIGUEIREDO, M.F. 2010. Químioestratigrafia isotópica (C, O, S e Sr), geocronologia (Pb-Pb e K-Ar) e proveniência (Sm-Nd) das rochas da Faixa Paraguai Norte, Mato Grosso. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo.
- FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; FIGUEIREDO, M.C.H.; SOLIANI JR., E. & FACCINI, U.F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozoico Superior/Eo-Paleozoico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG, v. 3. p. 1322-1343.
- GAZZONI, C.P. 2010. Padrão mineralógico de ocorrência dos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e mármores da região de Caçapava do Sul – RS. 54 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.
- GOULART, R.V. 2012. Caracterização geoquímica e isotópica das rochas carbonáticas da zona central do embasamento do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GOULART, R.V.; REMUS, M.V.D. & REIS, R.S. 2013. Composição isotópica de Sr, C e O e geoquímica de ETRs das rochas carbonáticas do Bloco São Gabriel, Rio Grande do Sul. Pesquisas em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. vol. 40 (1): 75-97.
- HALVERSON, G.P.; WADE, B.J.; HURTGEN, M.T.; BAROVICH, K.M. 2010. Neoproterozoic Chemostratigraphy. *Precambrian Research*. 337-350.
- HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S.; FORMOSO, M.L.L.; REMUS, M.V.D.; LIMA, E.F.; MEXIAS, A.S. 1999. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil. *Pesquisas*, 26: 45–63.
- HARTMANN, L.A.; CHEMALE, F.; PHILIPP, R.P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANNUZZI, R. & FRANTZ, J.C. (Eds.) 2007. 50 Anos de geologia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade.

- HASKIN, L.A.; HASKIN, M.A.; FREY, F.A.; WILDMAN, T.R. 1968. Origin and distribution of the elements. Pergamon. 1: 889-911.
- HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 257-266.
- HOLSER W.T. 1997. Evaluation of the application of rare-earth elements to paleoceanography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 132:309-323.
- JACOBSEN, S.B. & KAUFMAN, A.J. 1999. The Sr, C and O isotopic evolution of Neoproterozoic seawater. *Chemical Geology* 161, 37-57
- JANIKIAN, L. 2004. Sequências deposicionais e evolução paleoambiental do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho, Supergrupo Camaquã, Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- KAUFMAN A.J., JACOBSEN S.B., KNOLL A.H. 1992. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic sedimentary successions: Upper Tindir Group, northwestern Canada, as a test case. *Geology*, 20:181-185.
- KAWASHITA, K. 1996. Rochas Carbonáticas Neoproterozoicas da América do Sul: Idades e interferências quimioestratigráficas. Tese de livre-docência – IG/USP. São Paulo. 126p.
- LIMA, O.N.B. 2011. Estratigrafia isotópica e evolução sedimentar do Grupo Bambuí na borda ocidental do Cráton do São Francisco: implicação tectônica e paleo-ambiental. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 114p.
- LISBOA, N.A. 1977. Estudo geológico da região de Pedra Branca, Bagé, Rio Grande do Sul, com enfoque especial nas ocorrências de mármore. Porto Alegre, 53p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LOPES, C.G. 2012. Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do Complexo Passo Feio - Terreno São Gabriel, Caçapava do Sul - RS. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

- MARTINS, L.P. & REMUS, M.V.D. 2007. Ocorrências de grafita do escudo sul-riograndense: uma revisão. In: Salão de Iniciação Científica (19. 2007: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- MCLENNAN, S.M.; FRYER, B.J.; YOUNG, G.M. 1979. The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1979, 16(2): 230-239, 10.1139/e79-022.
- MESQUITA, M.J.M. & FERNANDES, L.A.D. 1990. Petrografia dos granitoides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (região de Quitéria-Capivarita). *Acta Geologica Leopoldensia*, 13(30): 55-74.
- MICHARD, A.; ALBARÈDE, F.; MICHARD, G.; MINSTER, J.F.; CHARLOU, J.L. 1983. Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field (13°N). *Nature*, vol. 303, 795-797.
- ONIMISI, M.; OBAJE, N.G.; DANIEL, A. 2013. Geochemical and petrogenetic characteristics of the marble deposit in Itobe área, Kogi state, Central Nigeria. *Advances in Applied Science Research*, 2013, 4(5): 44-57.
- PHILIPP, R.P. 1998. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.
- PHILIPP, R.P.; NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F (Eds.). 2000. *Geologia do Rio Grande do Sul*, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.133-160, 2000.
- PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. 2002. O magmatismo granítico Neoproterozoico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.32, p.277-290, 2002.
- PHILIPP, R.P. & MACHADO, R. 2006. The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.19, p.461-478, 2006.

- PHILIPP, R.P.; PIMENTEL, M.M.; CHEMALE JR, F. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46 (Suppl 1): 83-104, June 2016.
- PIPER, D.Z. 1974. Rare earth elements in the sedimentary cycle: summary. *Chemical Geology*, 14:285-304
- RAMOS, R.C. 2011. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS. 95 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.
- RAMOS, R.C. & KOESTER, E. 2014. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41 (1): 25-38, jan./abr. 2014.
- REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 1999. SHRIMP U-Pb zircon ages of volcanism from the São Gabriel Block, southern Brazil. In: Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados, 1, Boletim de Resumos, Gramado, RS, p.83.
- REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brazilian Cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 191-216.
- RIMANN, E.T. 1917. A kimberlita no Brasil. *Anais da Escola de Minas, Ouro Preto*, 15:27-32.
- ROCK, N.M.S. 1987. The geochemistry of Lewisian marbles. In: PARK, R.G. & TARNEY, J. (eds), 1987. *Evolution of the Lewisian and Comparable Precambrian High Grade Terrains*, Geological Society Special Publication No. 27, pp. 109-126.
- SAALMANN, K.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; KOESTER, E.; CONCEIÇÃO, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian Research* 136 (2005) 159-175.

- SAMPAIO, J.A. & ALMEIDA, S.L.M. 2005. Calcário e Dolomito. In: LUZ, A.B.; & LINS, F.A.F. Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.
- SOLIANI JR., E.; KOESTER, E.; FERNANDES, L.A.D. 2000. A geologia isotópica do Escudo Sul-Rio-Grandense – Parte I: métodos isotópicos e valor interpretativo. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/UFRGS. Porto Alegre. p. 175–230.
- TLIG, S. & M'RABET, A. 1985. A comparative study of the Rare Earth Element (REE) distributions within the Lower Cretaceous dolomites and limestones of Central Tunisia. *Sedimentology* (1985) 32, 897-907.
- TORRES, P.F.M.; PARENTE, C.V.; SIAL, A.N.; DANTAS, E.L.; FUCK, R.A.; VERÍSSIMO, C.U.V.; ARTHAUD, M.H. 2006. Aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos dos mármore dolomíticos com nódulos de quartzo da sequência metavulcano-sedimentar de Acarape-CE. *Revista Brasileira de Geociências* 36 (4): 748-760.
- VIEIRA, L.C. 2007. A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozoico. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo. 145p.

FIGURAS E TABELAS

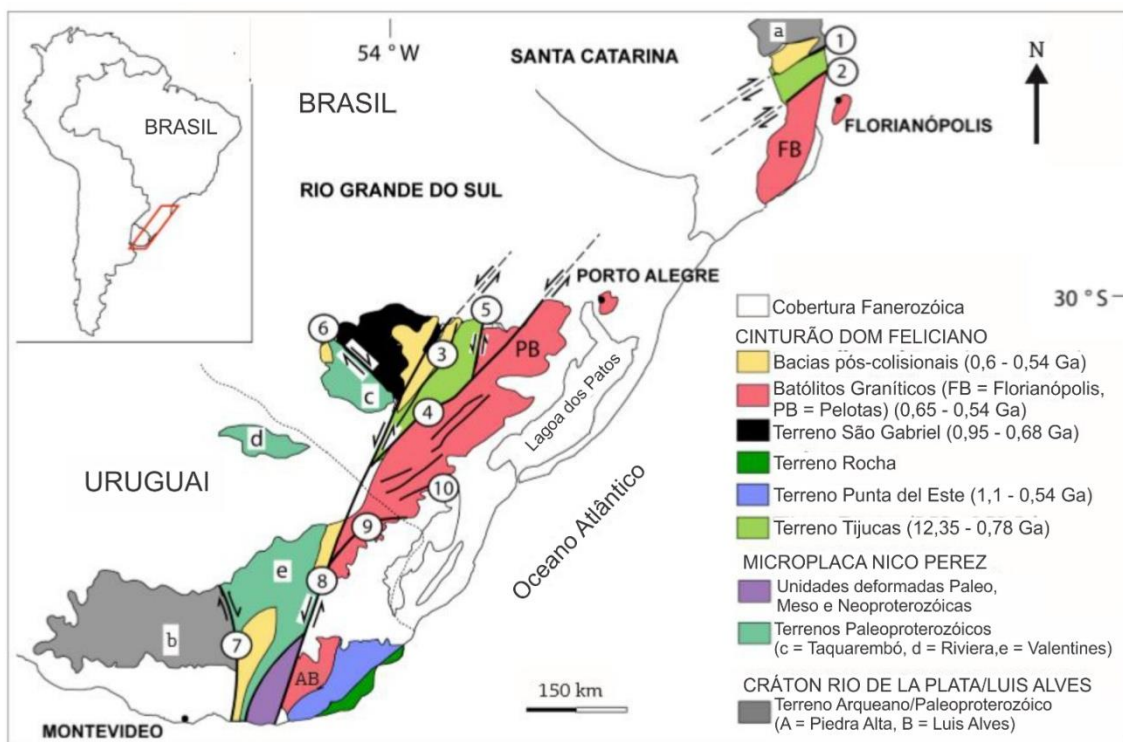


Figura 1: Mapa geológico das principais geotectônicas do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande (modif. de Philipp *et al.*, 2016).

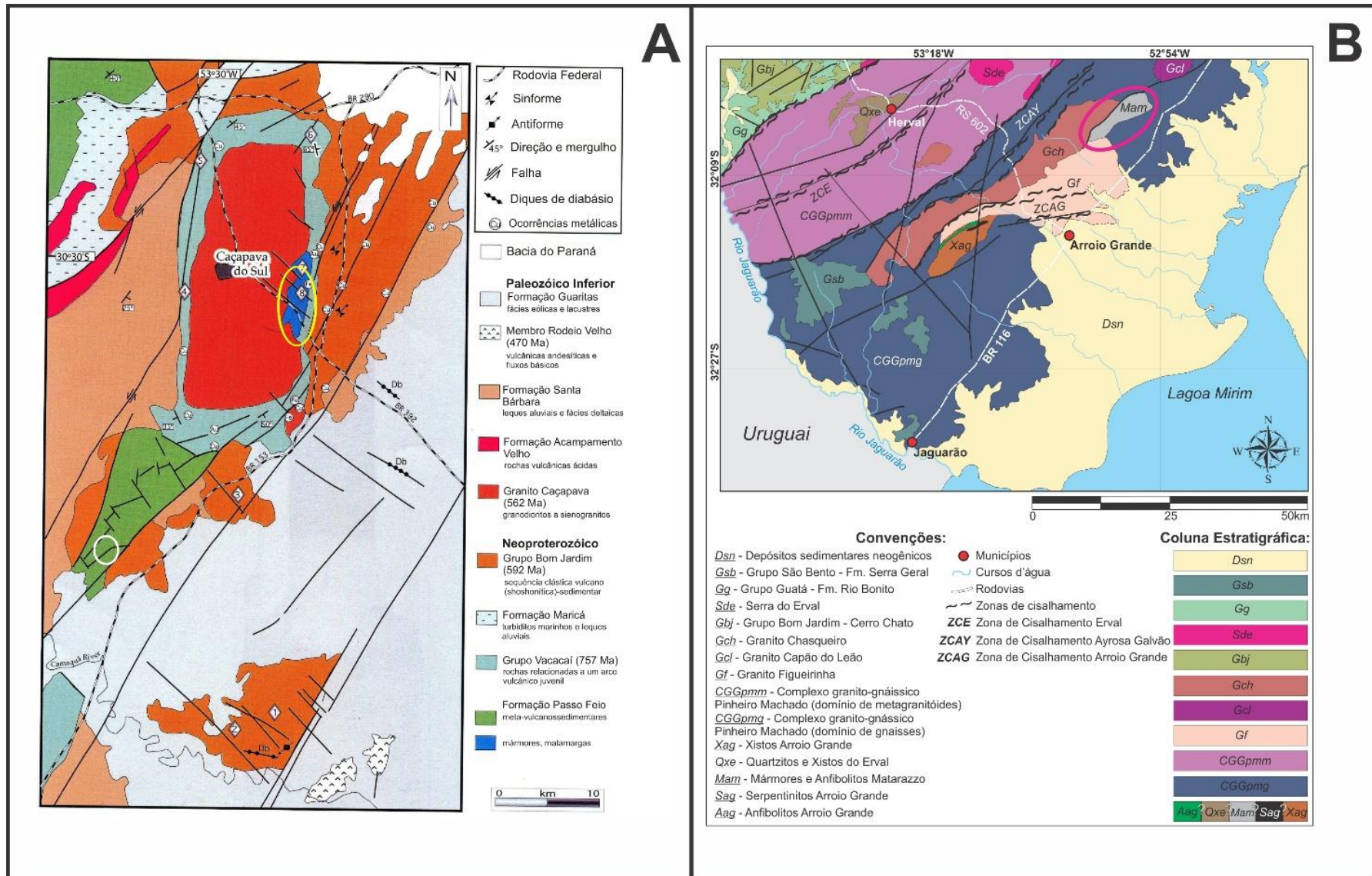


Figura 2: Mapas geológicos da região de A) Caçapava do Sul (modif. de Remus *et al.*, 2000); B) Arroio Grande (modif. de Ramos & Koester, 2014).

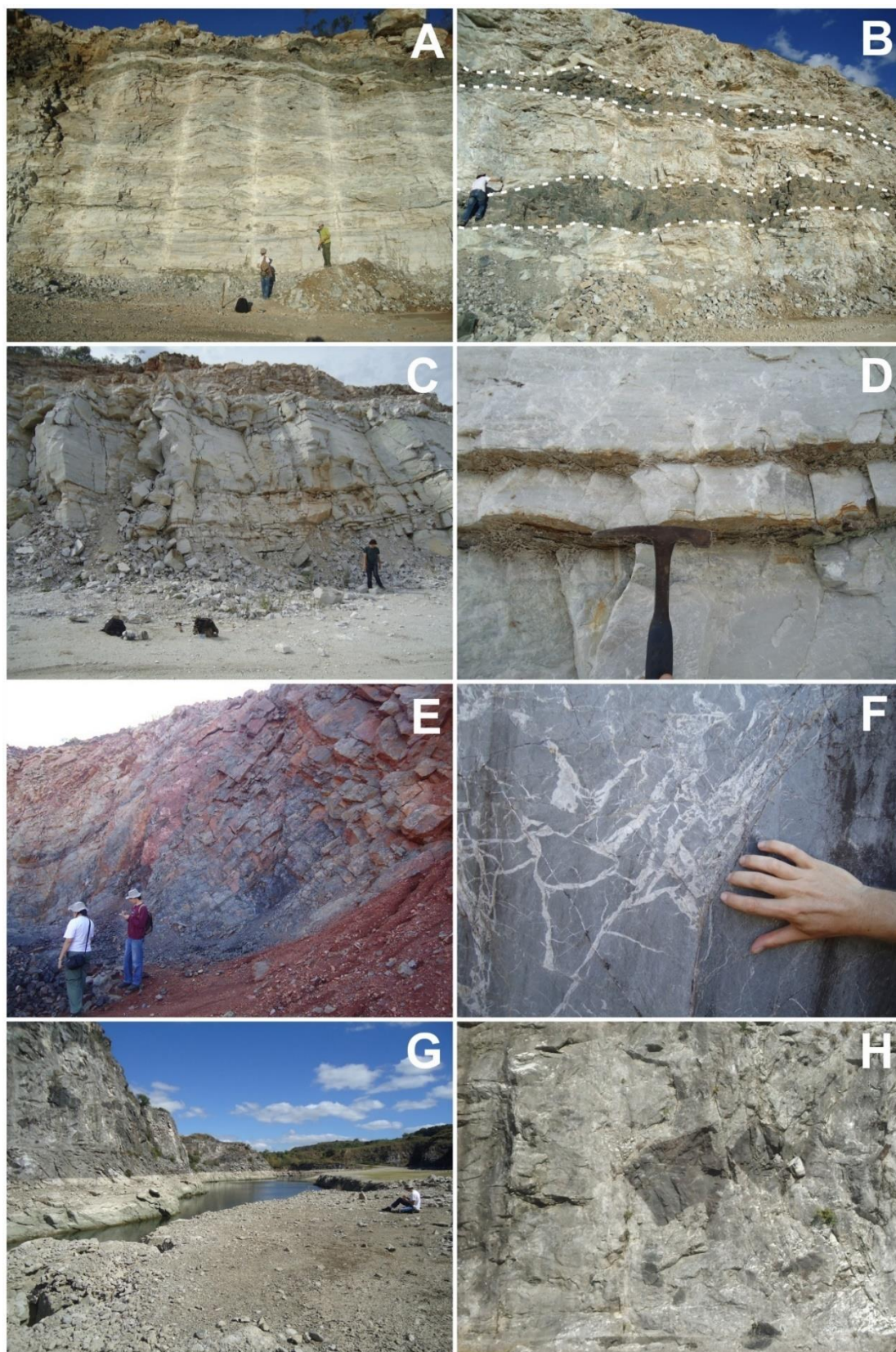


Figura 3: Detalhes das pedreiras em estudo. A) Pedreira Fida: aspecto geral e intercalações centimétricas de xisto; B) Pedreira Fida: aspecto geral e destaque para intercalações centimétricas a métricas de xisto; C) Pedreira Inducal: aspecto geral; D) Pedreira Inducal: destaque para camada centimétrica de xisto; E) Pedreira Mudador: mármore escuros fraturados e dobrados; F) Pedreira Mudador: veios milimétricos a centimétricos cortando os mármore; G) Pedreira Matarazzo: aspecto geral; H) Pedreira Matarazzo: fragmentos de anfibolitos associados aos mármore, com ocorrências centimétricas a métricas.

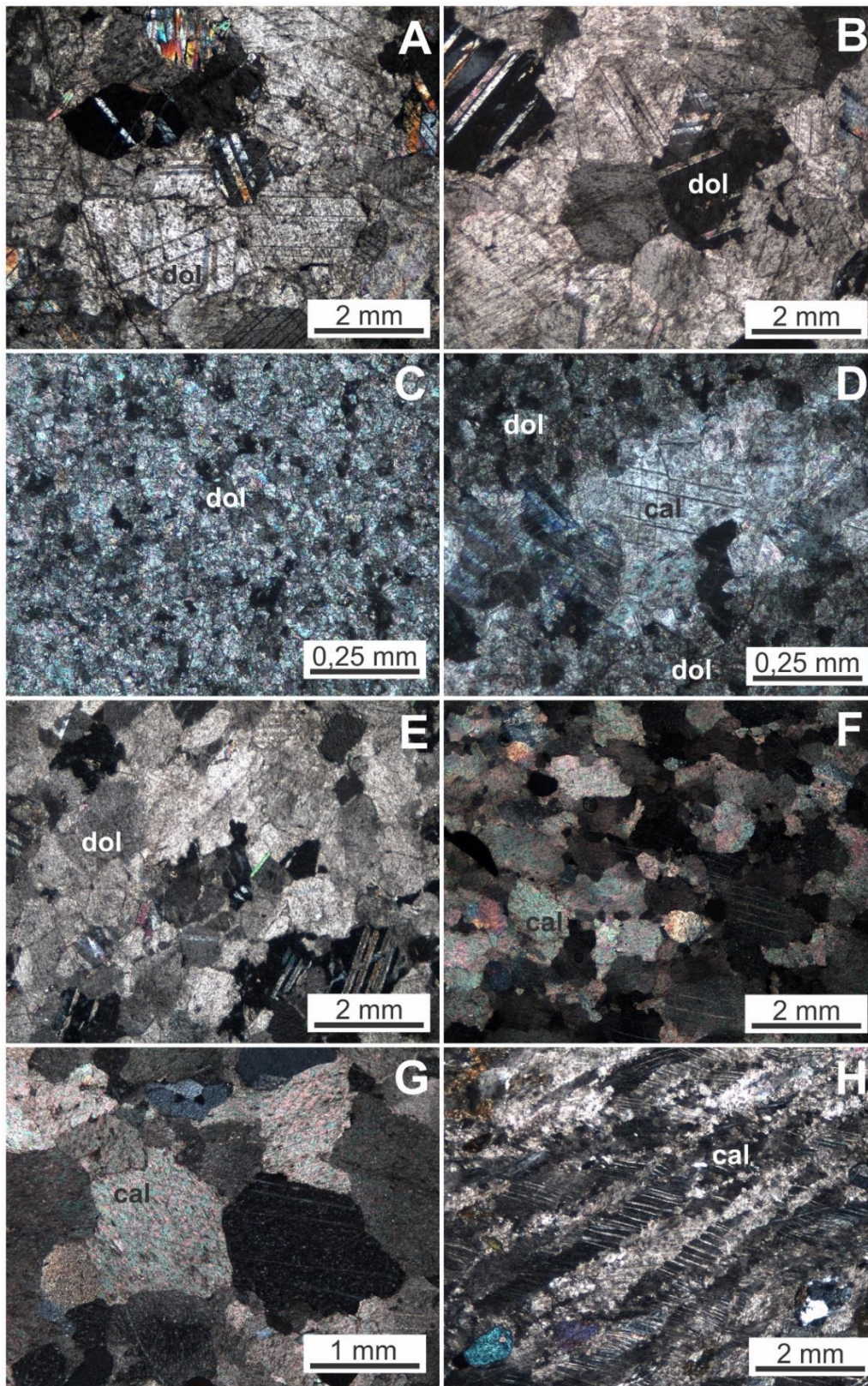


Figura 4: Fotomicrografias dos mármore em estudo. A) FID-01: aspecto geral dos mármore Fida (LP); B) FID-13: textura granoblástica destacada em amostra da pedreira Fida (LP); C) MUD-14: aspecto geral dos mármore Mudador, com destaque para o pequeno tamanho de grão (LP); D) MUD 22: veio milimétrico preenchido por calcita com tamanho de grão superior ao apresentado pela matriz da rocha (LP); E) IND-01: aspecto geral dos mármore Inducal (LP); F) MAT-02: aspecto geral dos mármore Matarazzo (LP); G) MAT-01: destaque para cristais de calcita bem desenvolvidos (LP); H) MAT-19: destaque para o crescimento dos cristais de calcita segundo orientação preferencial (LP).

Tabela 1: Resultados de concentração dos principais óxidos e outros parâmetros geoquímicos.

Amostra	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ %	LOI %	Sr ppm	Mg/Ca	Mn/Sr	
MATARAZO	MAT-01	51,37	0,54	9,32	0,58	0,53	0,02	0,15	0,15	0,08	36,9	2158,8	0,01	0,07
	MAT-02	53,24	0,52	4,67	0,31	0,35	0,02	0,08	0,04	0,06	40,4	2012,9	0,01	0,08
	MAT-03	52,39	0,53	6,98	0,72	0,71	0,02	0,15	0,07	0,07	38,0	2139,3	0,01	0,07
	MAT-04	52,33	0,44	6,97	0,27	0,34	0,02	0,05	0,04	0,06	39,2	2221,3	0,01	0,07
	MAT-05	52,12	0,50	8,74	0,41	0,49	0,02	0,13	0,06	0,07	37,1	2344,9	0,01	0,07
MUDADOR	MUD-01	28,14	19,43	6,01	0,52	1,09	0,03	0,16	0,03	0,03	44,2	70,7	0,58	3,29
	MUD-02	26,39	17,66	12,85	0,34	1,28	0,05	0,11	0,02	0,04	40,9	65,1	0,56	5,95
	MUD-03	26,24	17,85	11,49	1,17	1,15	0,02	0,47	0,03	0,04	41,2	71,8	0,57	2,16
	MUD-04	28,67	19,19	4,17	0,64	1,77	0,03	0,23	0,04	0,03	44,9	77,0	0,56	3,02
	MUD-05	29,28	19,50	3,91	0,37	1,37	0,04	0,12	0,02	0,02	45,0	82,5	0,56	3,75
FIDA	FID-01	31,26	20,49	1,81	0,33	0,22	0,02	0,13	0,02	0,01	45,4	56,1	0,55	2,76
	FID-03	31,44	20,36	2,50	0,35	0,24	0,01	0,13	0,01	0,01	44,6	60,3	0,55	1,28
	FID-05	31,24	20,37	1,27	0,13	0,49	0,03	0,02	0,01	0,01	46,1	126,9	0,55	1,83
	FID-13	30,05	21,52	0,61	0,06	0,55	0,03	0,02	0,01	0,01	47,1	66,9	0,60	3,47
	FID-19	30,66	20,70	1,80	0,15	0,30	0,03	0,05	0,01	0,01	46,3	55,4	0,57	4,19
	FID-23	30,62	20,77	1,33	0,17	0,27	0,03	0,04	0,02	0,01	46,7	61,8	0,57	3,76
INDUCAL	IND-01	28,95	19,92	11,92	0,89	0,64	0,02	0,29	0,10	0,01	36,9	126,4	0,58	1,23
	IND-02	31,59	21,35	2,77	0,10	0,17	0,01	0,06	0,01	0,01	43,6	92,8	0,57	0,83
	IND-04	30,94	20,67	4,54	0,42	0,30	0,02	0,20	0,02	0,01	42,5	54,4	0,56	2,85
	IND-07	30,80	20,79	4,29	0,39	0,26	0,01	0,21	0,01	0,01	42,9	53,1	0,57	0,73
	IND-10	29,89	20,62	4,28	0,71	0,71	0,02	0,15	0,16	0,02	43,0	141,4	0,58	1,10

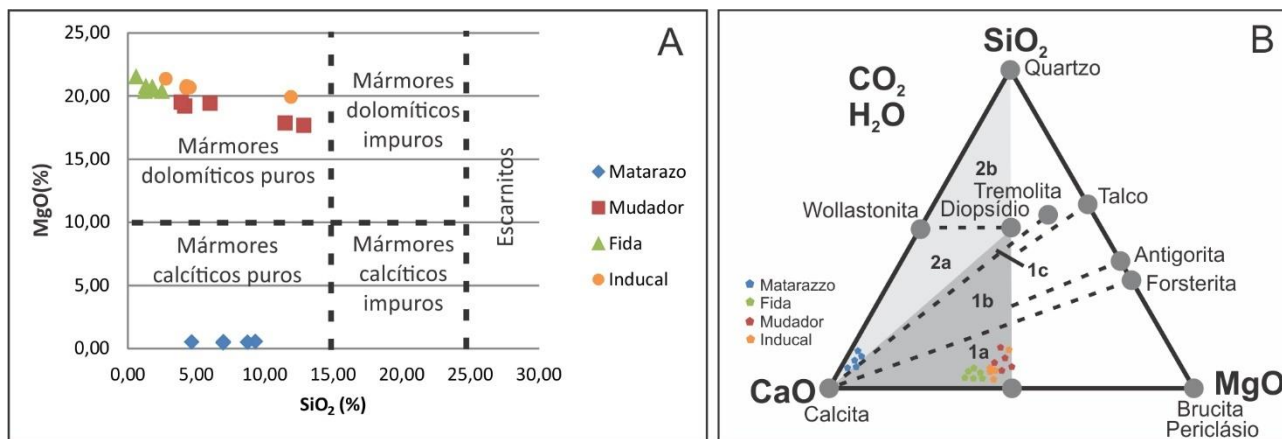


Figura 5: Diagramas de classificação dos mármore. A) Diagrama MgO x SiO₂ (Rock, 1987); B) Diagrama SiO₂-CaO-MgO. Campos 1a, 1b e 1c: mármore dolomítico a calcítico-dolomítico. Campos 2a e 2b: mármore cálcio-silicático (Bucher & Frey, 1994).

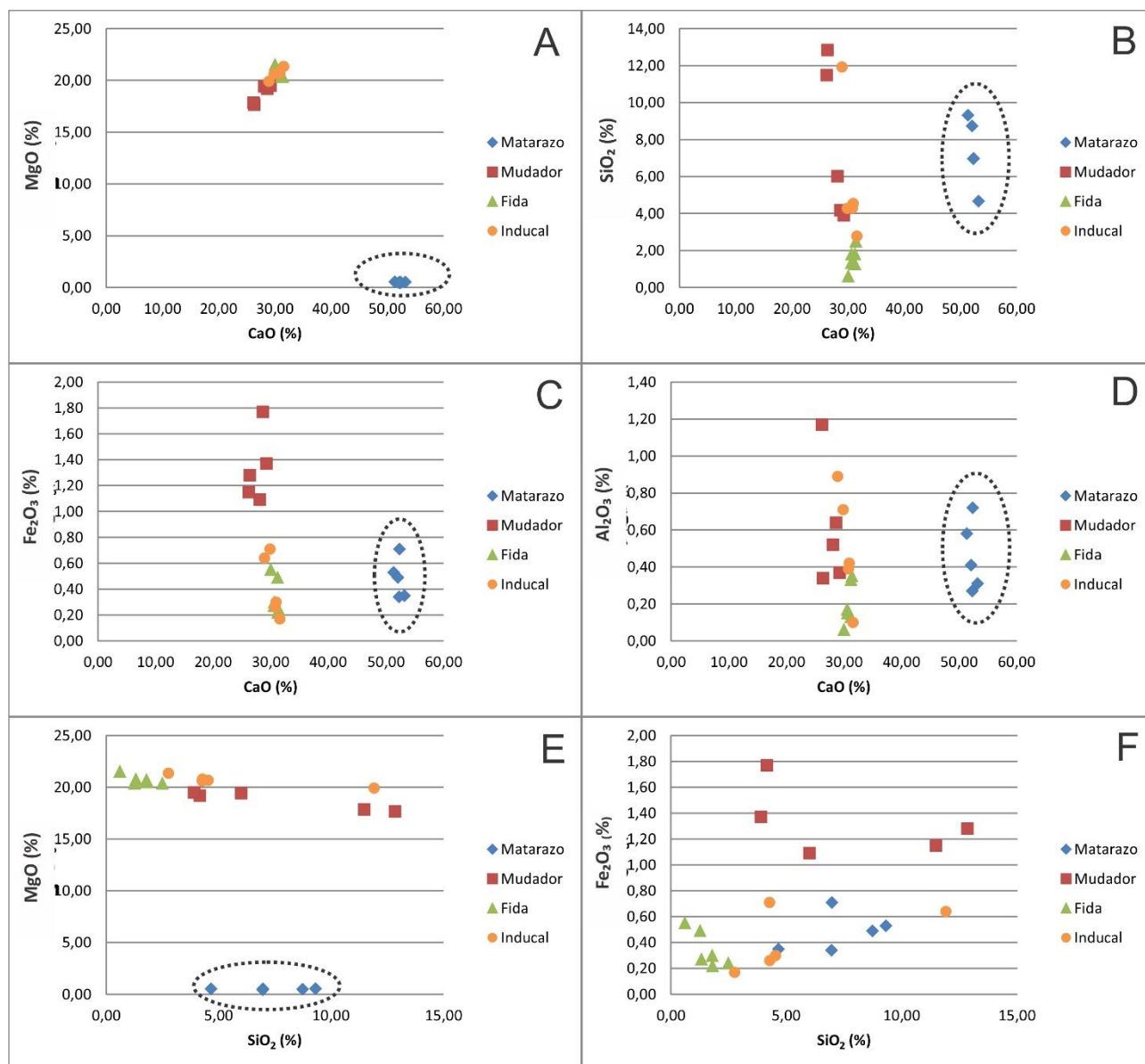


Figura 6: Diagrama CaO x MgO; B) Diagrama CaO x SiO₂; C) Diagrama CaO x Fe₂O₃; D) Diagrama CaO x Al₂O₃; E) Diagrama SiO₂ x MgO; F) Diagrama SiO₂ x Fe₂O₃.

Tabela 2: Resultados de concentração dos ETR.

Amostra		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MATARAZO	MAT-01	5,7	8,7	1,38	6,3	1,26	0,30	1,30	0,24	0,31	0,73	0,13	0,60	0,12
	MAT-02	3,6	5,6	0,87	3,6	0,83	0,19	0,91	0,16	0,21	0,58	0,07	0,44	0,07
	MAT-03	4,4	7,4	1,14	5,2	1,08	0,25	1,20	0,19	0,25	0,63	0,09	0,49	0,08
	MAT-04	3,5	5,8	0,92	4,1	0,85	0,22	0,99	0,15	0,19	0,51	0,08	0,45	0,06
	MAT-05	4,5	7,1	1,12	5,3	1,01	0,24	1,14	0,19	0,22	0,62	0,10	0,47	0,09
MUDADOR	MUD-01	3,3	6,5	0,72	2,9	0,51	0,12	0,46	0,08	0,08	0,22	0,04	0,25	0,04
	MUD-02	2,8	5,9	0,65	3,0	0,51	0,12	0,44	0,08	0,11	0,28	0,05	0,31	0,05
	MUD-03	3,8	8,7	0,96	3,6	0,65	0,15	0,65	0,10	0,11	0,31	0,05	0,34	0,05
	MUD-04	3,2	6,8	0,75	2,9	0,60	0,14	0,53	0,09	0,10	0,23	0,04	0,25	0,04
	MUD-05	2,0	4,3	0,46	2,1	0,29	0,07	0,29	0,05	0,06	0,14	0,02	0,18	0,02
FIDA	FID-01	1,1	2,2	0,23	0,9	0,12	0,03	0,18	0,02	0,03	0,08	0,01	0,09	0,09
	FID-03	1,2	2,4	0,24	1,0	0,17	0,04	0,17	0,02	0,03	0,09	0,01	0,08	0,08
	FID-05	1,4	2,4	0,29	1,0	0,21	0,11	0,28	0,04	0,05	0,17	0,03	0,17	0,17
	FID-13	3,0	2,4	0,26	0,5	0,15	0,06	0,28	0,03	0,08	0,25	0,04	0,19	0,03
	FID-19	1,5	2,1	0,27	1,5	0,17	0,05	0,30	0,03	0,06	0,20	0,03	0,07	0,01
	FID-23	1,7	2,1	0,27	0,7	0,09	0,0	0,16	0,01	0,02	0,10	0,01	0,19	0,03
INDUCAL	IND-01	3,2	5,2	0,51	1,8	0,28	0,12	0,25	0,04	0,03	0,10	0,02	0,14	0,01
	IND-02	0,9	1,1	0,10	0,6	0,04	0,06	0,07	0,01	0,01	0,07	0,01	0,04	0,01
	IND-04	2,0	3,2	0,29	1,0	0,17	0,09	0,20	0,03	0,03	0,09	0,02	0,06	0,01
	IND-07	1,4	2,2	0,23	0,9	0,14	0,04	0,08	0,02	0,01	0,06	0,02	0,06	0,01
	IND-10	4,0	8,0	0,79	2,8	0,48	0,19	0,40	0,05	0,05	0,10	0,03	0,08	0,02

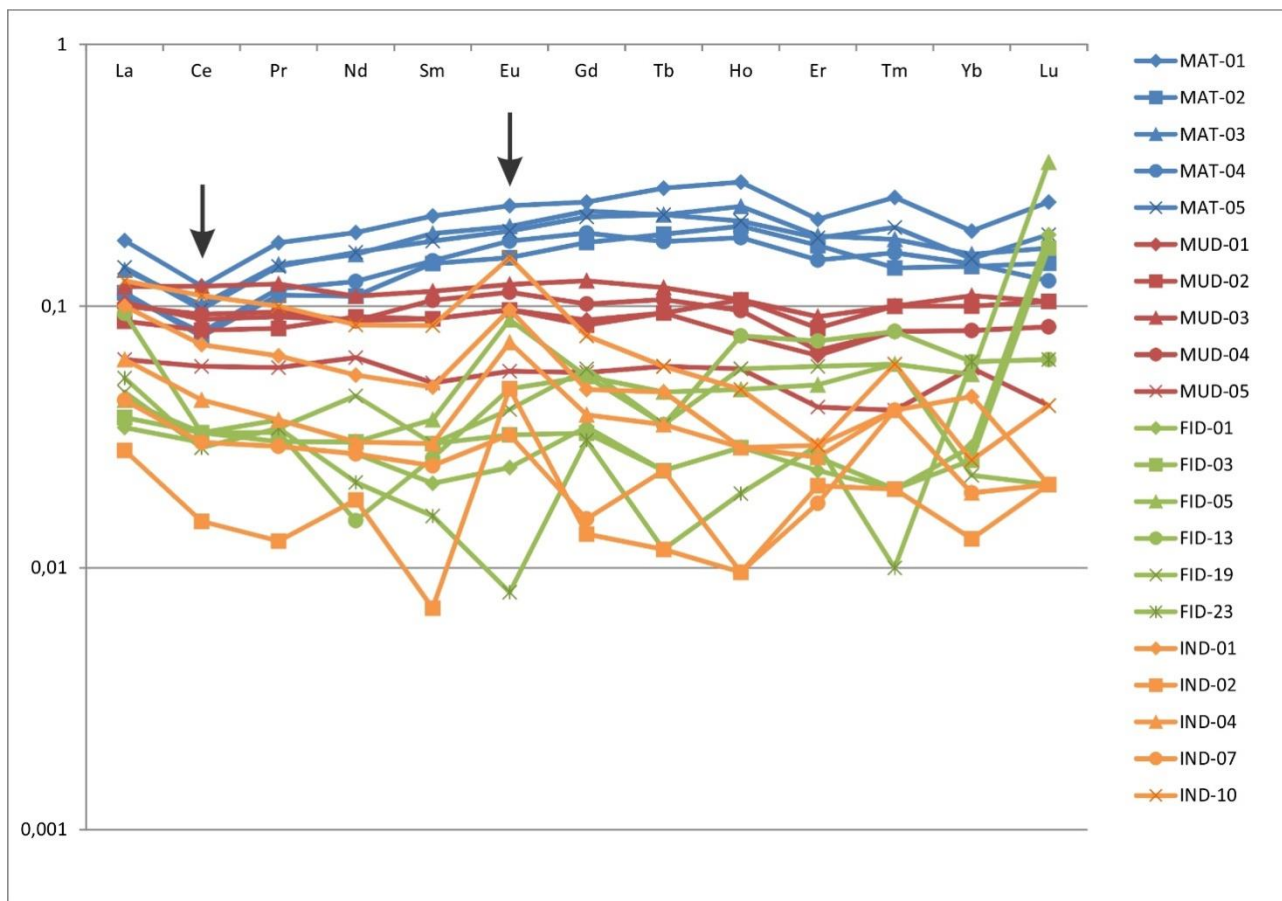


Figura 7: Diagrama com o comportamento dos ETR dos mármores em estudo após normalização pelo padrão NASC (Haskin *et al.*, 1968), com indicação para as anomalias de Ce e de Eu, presentes em algumas amostras.

Tabela 3: Resultados das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos mármore em estudo.

Amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
MAT-01	0,7062040
MAT-02	0,7062390
MAT-03	0,7060680
MAT-04	0,7063370
MAT-05	0,7061790
MAT-13	0,7067807
MAT-25	0,7062403
MAT-26	0,7060861
MAT-29	0,7061467
MAT-32	0,7062187
MUD-01	0,7118950
MUD-02	0,7113130
MUD-03	0,7127640
MUD-04	0,7127040
MUD-05	0,7117730
MUD-10	0,7120255
MUD-12	0,7143463
MUD-14	0,7145660
MUD-22	0,7092744
MUD-25	0,7100292
FID-01	0,7131060
FID-03	0,7048590
FID-05	0,7048010
FID-10	0,7094367
FID-13	0,7067289
FID-15	0,7094564
FID-19	0,7076851
FID-23	0,7074768
IND-01	0,7075065
IND-02	0,7054533
IND-04	0,7093452
IND-07	0,7086457
IND-10	0,7065613

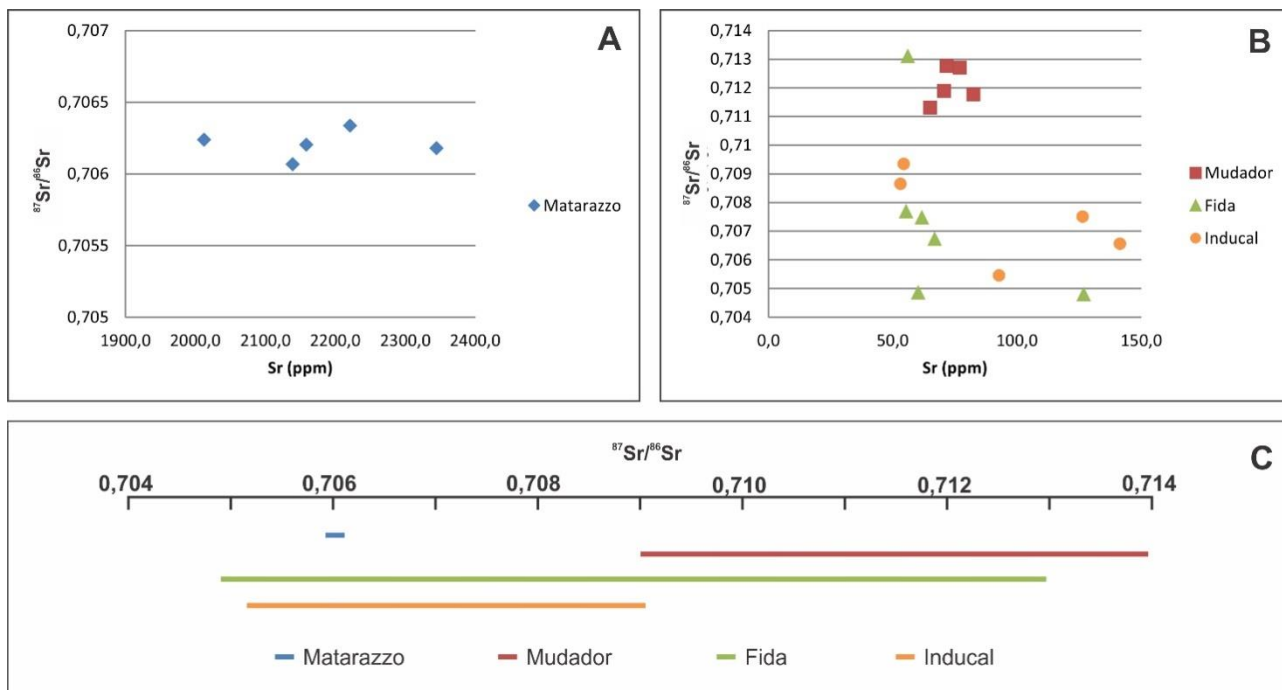


Figura 8: A) Diagrama Sr x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para as amostras Matarazzo; B Diagrama Sr x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para os mármorees Mudador, Fida e Inducal; C) Distribuição espacial dos resultados das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para cada área de estudo.

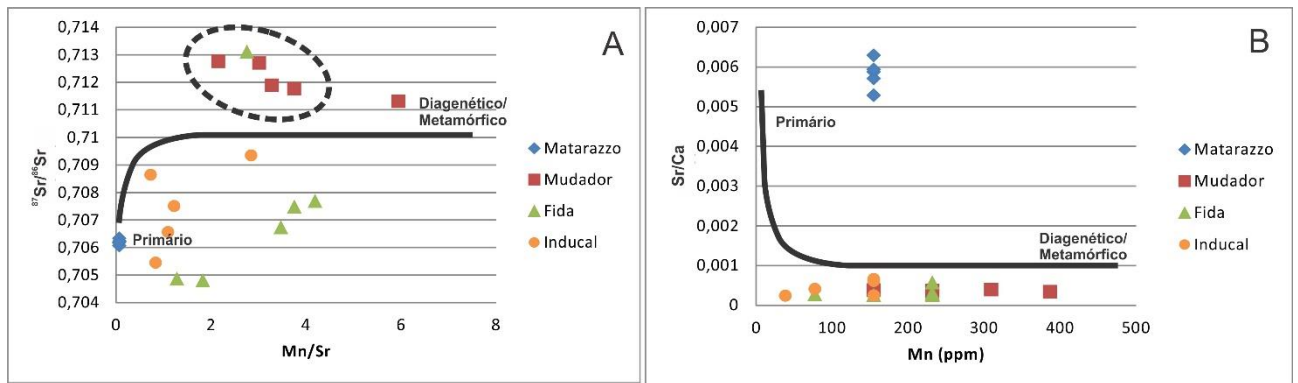


Figura 9: Diagramas com parâmetros indicativos da interação dos mármore com fluidos relacionados à diagênese e/ou ao metamorfismo. A) Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ x Mn/Sr, mostrando no campo inferior, amostras com conteúdo primário e, no campo superior, conteúdo diagenético/metamórfico B) Diagrama Sr/Ca X Mn, com amostras da pedra Matarazzo no campo do conteúdo primário e as demais no conteúdo diagenético/metamórfico (Denison *et al.*, 1994; Jacobsen & Kaufman, 1999).

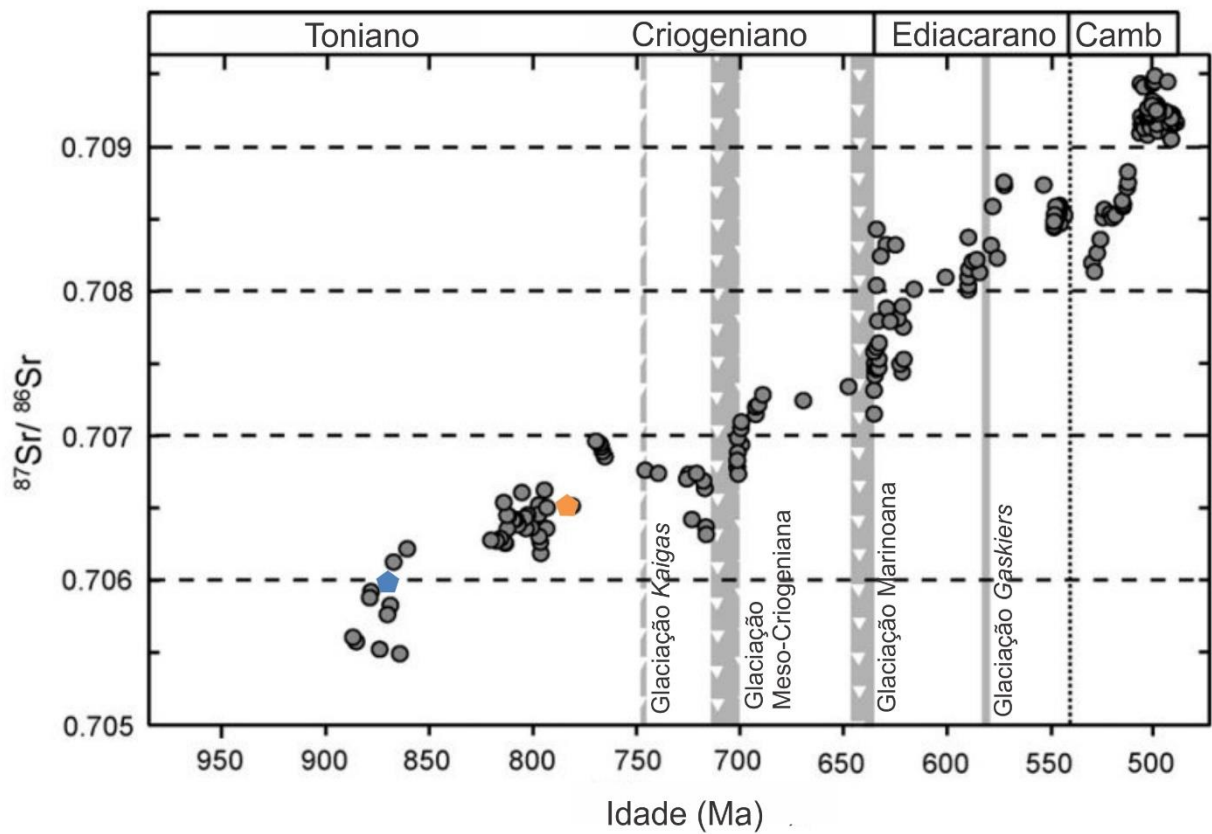


Figura 10: Curva de variação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao longo do Neoproterozoico. Em azul, interpretação das amostras Matarazzo; em laranja, interpretação das amostras Inducal (modif. de Halverson, 2010).

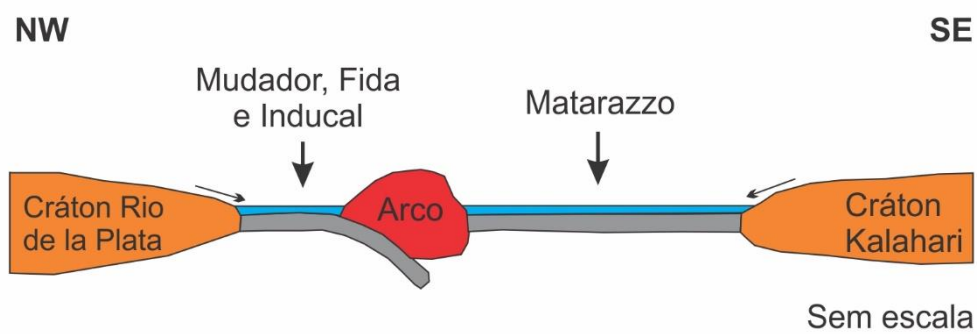


Figura 11: Modelo de ambiente para precipitação dos mármores em estudo (modif. de Lopes, 2012; Saalman *et al.*, 2005).

8. CONCLUSÕES GERAIS

Após a realização deste trabalho, a discussão e a interpretação dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- A metodologia empregada neste trabalho pode ser aplicada em mármore, desde que se tenha cuidado na seleção das amostras e na avaliação da influência de eventuais fluidos posteriores na sua composição.
- Os mármore da região de Caçapava do Sul são semelhantes quando se trata de composição mineralógica e química e se diferenciam daquele estudado na região de Arroio Grande.
- Os mármore Mudador e Fida não podem ser utilizados de forma confiável para a análise isotópica de Sr, pois sofreram influência de fluidos secundários (durante a diagênese e/ou o metamorfismo) e não preservam as características originais de sua formação. Não é possível, portanto, definir uma idade deposicional para essas rochas.
- Os mármore da região de Caçapava do Sul, interpretados como correlatos, possuem uma idade entre 800 e 750 Ma (razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de uma amostra Inducal de 0,7065), enquanto que o mármore de Arroio Grande apresentou razões de 0,7060, com idade deposicional estimada entre 900 a 850 Ma.
- Os mármore em estudo neste trabalho não se formaram no mesmo sistema deposicional. Os Fida, Inducal e Mudador possuem características químicas, isotópicas e mineralógicas que indicam serem geneticamente relacionados, tendo sido formados sob condições semelhantes, em uma mesma bacia. Porém, algumas características diferentes dos mármore Mudador (como a cor, associada a presença de grafita e FeO, e as venulações) indicam que estas rochas se formaram em pontos diferentes e passaram por processos diagenéticos e/ou metamórficos também diferentes em relação à Fida e Inducal. O mármore Matarazzo, que possui composição química e mineralógica distinta, foi precipitado em um outro sistema deposicional e em um momento anterior.

9. REFERÊNCIAS GERAIS

ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, 17:1-29.

ALVARENGA, C.J.S.; GIUSTINA, M.E.S.D.; SILVA, N.G.C.; SANTOS, R.V.; GIOIA, S.M.C.L.; GUIMARÃES, E.M.; DARDENNE, M.A.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P. 2007. Variações dos isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 37 (4 - supl.), p. 147-155.

ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; SANTOS, R.V.; BROD, E.R.; GIOIA, S.M.C.L.; SIAL, A.N.; DANTAS, E.L.; FERREIRA, V.P. 2008. Isotope stratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates in the Araras Group, Brazil. *Gondwana Research*, 13, p. 469-479.

AUBET, N.R.; PECOITS, E.; BEKKER, A.; GINGRAS, M.K; ZWINGMANN, H.; VEROSLAVSKY, G.; SANTA ANA, H.; KONHAUSER, K.O. 2012. Chemostratigraphic constraints on early Ediacaran carbonate ramp dynamics, Río de la Plata craton, Uruguay. *Gondwana Research*, Volume 22, Issues 3–4, November 2012, Pages 1073-1090.

BARILI, R. 2012. Químioestratigrafia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas carbonáticas do grupo Bambuí. 75 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

BARILI, R. 2015. 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. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 92 p.

BORBA, A.W., 2006. Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozoico e Paleozoico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, 474p.

BORTOLOTTI, O.J. 1987. Petrografia das mármores de Caçapava do sul, RS. *Ciência e Natura*. Santa Maria, RS vol. 9, p. 37-65: il.

BORTOLOTTI, O.J. 1988. Metamorfismo termal dos mármores de Caçapava do Sul. *Ciência e Natura*. Santa Maria, RS vol. 10, (1988), p. 25-48: il.

BRAND, U. & VEIZER, J. 1980. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system - 1: Trace elements. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 50, No 4. p.1219 - 1236.

BRILLI, M.; CAVAZZINI, G.; TURI, B. 2005. New data of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in classical marble: an initial database for marble provenance determination. *Journal of Archaeological Science*, 32 (2005) p. 1543-1551.

CHEMALE JR. F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: M. Holz & L.F. De Ros (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. p. 13-52.

DENISON, R.E.; KOEPNICK, R.B.; FLETCHER, A.; HOWELL, M.W.; CALLAWAY, W.S. 1994. Criteria for the retention of original seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in ancient shelf limestones. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 112. 131-143.

FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U.; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – Uma Contribuição a Partir do Registro Geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.25, n.4, p.351-374, 1995.

FRAGA, L.M.S.; NEVES, S.C.; UHLEIN, A.; SIAL, A.N.; PIMENTEL, M.M.; HORN, A.H. 2014. C-, Sr-isotope stratigraphy of carbonate rocks from the Southern Espinhaço Ridge, Minas Gerais, southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86 (2), p. 633-648.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; FIGUEIREDO, M.C.H.; SOLIANI JR., E. & FACCINI, U.F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozoico Superior/Eo-Paleozoico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG, v. 3. p. 1322-1343.

GAZZONI, C.P. 2010. Padrão mineralógico de ocorrência dos depósitos de minério de cobre hospedados em escarnitos e mármores da região de Caçapava do Sul – RS. 54 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

GOULART, R.V. 2012. Caracterização geoquímica e isotópica das rochas carbonáticas da zona central do embasamento do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOULART, R.V.; REMUS, M.V.D. & REIS, R.S. 2013. Composição isotópica de Sr, C e O e geoquímica de ETRs das rochas carbonáticas do Bloco São Gabriel, Rio Grande do Sul. Pesquisas em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. vol. 40 (1): 75-97.

HALVERSON, G.P.; WADE, B.J.; HURTGEN, M.T.; BAROVICH, K.M. 2010. Neoproterozoic Chemostratigraphy. *Precambrian Research*. 337-350.

HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S.; FORMOSO, M.L.L.; REMUS, M.V.D.; LIMA, E.F.; MEXIAS, A.S. 1999. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil. *Pesquisas*, 26: 45–63.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE, F.; PHILIPP, R.P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANNUZZI, R. & FRANTZ, J.C. (Eds.) 2007. 50 Anos de geologia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade.

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 257-266.

JACOBSEN, S.B. & KAUFMAN, A.J. 1999. The Sr, C and O isotopic evolution of Neoproterozoic seawater. *Chemical Geology* 161, 37-57

JANIKIAN, L. 2004. Sequências deposicionais e evolução paleoambiental do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho, Supergrupo Camaquã, Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

KAUFMAN A.J., JACOBSEN S.B., KNOLL A.H. 1992. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic sedimentary successions: Upper Tindir Group, northwestern Canada, as a test case. *Geology*, 20:181-185.

KAWASHITA, K. 1996. Rochas Carbonáticas Neoproterozoicas da América do Sul: Idades e interferências quimioestratigráficas. Tese de livre-docência – IG/USP. São Paulo. 126p.

KUZNETSOV, A.B.; MELEZHIK, V.A.; GOROKHOV, I.M.; MELNIKOV, N.N.; KONSTANTINOVA, G.V.; KUTYAVIN, E.P.; TURCHENKO, T.L. 2010. Sr isotopic composition of Paleoproterozoic ¹³C-rich carbonate rocks: The Tulomozero Formation, SE Fennoscandian Shield. *Precambrian Research*, 182, p. 300-312.

LISBOA, N.A. 1977. Estudo geológico da região de Pedra Branca, Bagé, Rio Grande do Sul, com enfoque especial nas ocorrências de mármore. Porto Alegre, 53p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MELEZHIK, V.A.; ROBERTS, D.; FALLICK, A.E.; GOROKHOV, I.M.; KUSNETZOV, A.B. 2005. Geochemical preservation potential of high-grade calcite marble versus dolomite marble: implication for isotope chemostratigraphy. *Chemical Geology*, 216 (2005), p. 203-224.

MELEZHIK, V.A.; BINGEN, B.; FALLICK, A.E.; GOROKHOV, I.M.; KUSNETZOV, A.B.; SANDSTAD, J.S.; SOLLI, A.; BJERKGARD, T.; HENDERSON, I.; BOYD, R.; JAMAL, D.; MONIZ, A. 2008. Isotope chemostratigraphy of marbles in northeastern Mozambique: Apparent depositional ages and tectonostratigraphic implications. *Precambrian Research*, 162 (2008), p. 540-558.

MESQUITA, M.J.M. & FERNANDES, L.A.D. 1990. Petrografia dos granitoides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (região de Quitéria-Capivarita). *Acta Geologica Leopoldensia*, 13(30): 55-74.

MUNYANYIWA, H. & HANSON, R.E. 1988. Geochemistry of marbles and calc-silicate rocks in the Pan-African Zambezi Belt, Zambia. *Precambrian Research*, 38 (1988), p. 177-200.

MURRA, J.A.; BALDO, E.G.; GALINDO, C.; CASQUET, C.; PANKHURST, R.J.; RAPELA, C.W.; DAHLQUIST, J. 2011. Sr, C and O isotope composition of marbles from the Sierra de Ancasti, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: age and constraints for the Neoproterozoic-Lower Paleozoic evolution of the proto-Gondwana margin. *Geologica Acta*, Vol. 9, N° 1, March 2011, p. 79-92.

MURRA, J.A.; CASQUET, C.; LOCATI, F.; GALINDO, C.; BALDO, E.G.; PANKHURST, R.J.; RAPELA, C.W. 2016. Isotope (Sr, C) and U-Pb SHRIMP zircon geochronology of marble-bearing sedimentary series in the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. Constraining the SW Gondwana margin in Ediacaran to early Cambrian times. *Precambrian Research*, vol. 281, 2016, p, 602-617.

ONIMISI, M.; OBAJE, N.G.; DANIEL, A. 2013. Geochemical and petrogenetic characteristics of the marble deposit in Itope área, Kogi state, Central Nigeria. *Advances in Applied Science Research*, 2013, 4(5): 44-57.

PHILIPP, R.P. 1998. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.

PHILIPP, R.P.; NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F (Eds.). 2000. *Geologia do Rio Grande do Sul*, Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.133-160, 2000.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. 2002. O magmatismo granítico Neoproterozoico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.32, p.277-290, 2002.

PHILIPP, R.P. & MACHADO, R. 2006. The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.19, p.461-478, 2006.

PHILIPP, R.P.; PIMENTEL, M.M.; CHEMALE JR, F. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46 (Suppl 1): 83-104, June 2016.

RAMOS, R.C. 2011. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS. 95 f.: il. Trabalho de conclusão (graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia, Porto Alegre, RS.

RAMOS, R.C. & KOESTER, E. 2014. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41 (1): 25-38, jan./abr. 2014.

REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brazilian Cycle in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 191-216.

SATISH-KUMAR, M.; HERMANN, J.; MIYAMOTO, T.; OSANAI, Y. 2010. Fingerprinting a multistage metamorphic fluid-rock history: Evidence from grain scale Sr, O and C isotopic and trace element variations in high-grade marbles from East Antarctica. *Lithos*, 114 (2010), p. 217-228.

SIAL, A.N.; CAMPOS, M.S.; GAUCHER, C.; FREI, R.; FERREIRA, V.P.; NASCIMENTO, R.C.; PIMENTEL, M.M.; PEREIRA M.S.; RODLER, A. 2015. Algoma-type Neoproterozoic BIFs and related marbles in the Seridó Belt (NE Brazil): REE, C, O, Cr and Sr isotope evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, 61 (2015), p. 33-52.

SILVA, D.R.A. 2006. Aplicação de métodos radiométricos (Rb-Sr e Sm-Nd) na análise de bacias sedimentares – o exemplo da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOLIANI JR., E.; KOESTER, E.; FERNANDES, L.A.D. 2000. A geologia isotópica do Escudo Sul-Rio-Grandense – Parte I: métodos isotópicos e valor interpretativo. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/UFRGS. Porto Alegre. p. 175–230.