

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DIEGO OROSCO RAMOS

**HETEROGENEIDADE MANTÉLICA DE BACIAS VULCANO-SEDIMENTARES EM
CONTEXTO GLOBAL: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA**

Caçapava do Sul

2023

DIEGO OROSCO RAMOS

**HETEROGENEIDADE MANTÉLICA DE BACIAS VULCANO-SEDIMENTARES EM
CONTEXTO GLOBAL: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof.^a Dra. Delia Del Pilar
Montecinos de Almeida

**Caçapava do Sul
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

R175h Ramos, Diego Orosco
HETEROGENEIDADE MANTÉLICA DE BACIAS VULCANO-SEDIMENTARES EM
CONTEXTO GLOBAL: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA / Diego Orosco
Ramos.
47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, DOUTORADO EM CIÊNCIA ANIMAL, 2023.
"Orientação: Delia Del Pilar Montecinos de Almeida".

1. Magmatismo. 2. Geoquímica. 3. Piroxenito. 4. Manto. I.
Título.

DIEGO OROSCO RAMOS

**HETEROGENEIDADE MANTÉLICA DE BACIAS SEDIMENTARES EM
CONTEXTO GLOBAL: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 11 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida
Orientadora
Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Vinicius Matté
Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Giuseppe Betino De Toni
Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **VINICIUS MATTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 09:24, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIUSEPPE BETINO DE TONI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 16:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DELIA DEL PILAR MONTECINOS DE ALMEIDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/07/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1190880** e o código CRC **44C1621B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pela aptidão e o gosto que me deram para pesquisar e trabalhar. Rogo para que seja digno de tais dons.

Agradeço à UNIPAMPA pela oportunidade de uma educação gratuita e de qualidade, bem como a todos os professores, técnicos e demais funcionários que a mantêm, fornecendo sempre o melhor para o avanço do conhecimento e da pesquisa em nosso país.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida pelos direcionamentos e oportunidades, pelo carinho e motivação que me dedicou ao longo deste e de outros trabalhos relacionados.

Agradeço ao Prof. Dr. Vinicius Matté pelas diversas oportunidades que me deu, sempre e pacientemente me ouvindo com as mais loucas propostas planetárias. Demonstrou um exemplo de integridade e humildade que levarei comigo para toda a minha carreira.

Agradeço à minha família pelo incentivo e oportunidade que me deram, psicológica, financeira ou espiritualmente. Obrigado por estimularem em mim a busca pelo conhecimento e por uma vida correta e moral.

Agradeço à minha namorada e futura esposa, com a graça de Deus, Merilane Costa Luiz pela motivação, apoio e carinho. Tu estiveste sempre comigo, a me incentivar... Foi minha melhor amiga e companheira nas melhores e nas piores horas. Estar contigo me inspira a lutar para ser um homem melhor, digno da mulher que és. Teu sorriso e seu olhar me conquistam e sei que vou seguir-me apaixonando por ti todos os dias. Sou muito grato pelo presente que Deus me deu e que se Ele quiser, terei muita honra em te acompanhar pelo resto da vida.

Por fim, agradeço ao meu amigo e irmão, Marcos de Sena Lopes, pela parceria, companhia e aprendizado. Tu estarás sempre em minhas orações e considerações, que Deus, Nosso Senhor, sempre te abençoe.

“Adveniat regnum tuum, fiat voluntas tua,
sicut in caelo et in terra”.

São Mateus, 6:10

RESUMO

Um dos recentes desenvolvimentos da vulcanologia é a análise de heterogeneidades mantélicas e sua contribuição para o magmatismo, principalmente de rochas básicas. Contudo, esse tipo de estudo ainda não ultrapassa a escala regional, com uma miríade de estudos locais apontando uma possível heterogeneidade na fonte de determinada ocorrência, cujo princípio geralmente é objeto de discussão. Como forma de se analisar estes possíveis agentes em uma perspectiva global, este estudo, a partir de dados geoquímicos pré existentes, analisa ocorrências vulcânicas básicas preenchendo um total de 13 bacias sedimentares em todo o planeta. Para identificar assinaturas de heterogeneidades em sua fonte, foram analisadas nove bacias de ambientes continentais e cinco de ambientes oceânicos, representando contextos pré-colisionais, pós-colisionais e de *rift* continental. Conclui-se que heterogeneidade mantélica é um fator atuante em todo magmatismo básico associado com bacias sedimentares, cuja influência é diretamente proporcional com a espessura crustal.

Palavras-chave: Magmatismo; Geoquímica; Piroxenito; Manto

ABSTRACT

One of the most recent developments of volcanology is the analysis of mantle heterogeneity and its contribution to magmatism, mainly of basic rocks. However, this type of study doesn't yet surpass the regional scale, with a myriad of local studies pointing to a possible heterogeneity in the source of a given occurrence, in which the principle is frequently the topic of discussion. As a way of analyzing this possible agents in a global perspective, this study analyzes basic volcanic rocks from 13 different sedimentary basins worldwide in order to identify heterogeneous signatures in its source, with 9 of them being continental basins and the remaining 5 being of oceanic environments, representing pre, post and rifting geotectonic contexts. It is concluded that mantle heterogeneity is an influential factor in all basic magmatism associated with sedimentary basins, which is proportional to crustal thickness.

Keywords: Magmatism; Geochemistry; Pyroxenite; Mantle

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição global das bacias selecionadas.....	3
Figura 2 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia do Camaquã. .	5
Figura 3 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia de Cuyo	6
Figura 4 -Mapa topográfico simplificado de localização da faixa de Alborz, Irã. 7	
Figura 5 - Mapa topográfico simplificado de localização da Província Vulcânica de Payenia, Argentina.....	9
Figura 6 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia de Songliao, China.	10
Figura 7 - Mapa topográfico simplificado de localização do Cinturão de Gangdese, Tibet.....	11
Figura 8 - Mapa topográfico simplificado de localização do Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano.	12
Figura 9 - Mapa topográfico simplificado de localização da Fossa das Marianas.	13
Figura 10 - Mapa topográfico simplificado de localização do Estreito de Brainsfield, Antártica.....	14
Figura 11 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Lau, ilha de Tonga.	15
Figura 13 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Kurile, Rússia.....	16
Figura 14 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia do Kenya, África.....	18
Figura 15 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Basin and Range, EUA.....	19
Figura 16 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares oceânicas.....	23
Figura 17 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares continentais.....	24
Figura 18 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares de <i>rifts</i> continentais.....	25
Figura 19 - Heterogeneidade mantélica em termos de porcentagem individual de cada bacia sedimentar com ênfase em seu contexto geológico e geotectônico a partir do índice FC3MS.....	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVOS GERAIS	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. JUSTIFICATIVA	2
4. ÁREAS DE ESTUDO	3
4.1. AMBIENTES CONTINENTAIS	4
4.1.1. Bacia do Camaquã, Brasil	4
4.1.2. Bacia de Cuyo, Argentina	6
4.1.3. Faixa de Alborz, Irã	7
4.1.4. Província Vulcânica de Payenia, Argentina	8
4.1.5. Bacia de Songliao, China	9
4.1.6. Cinturão de Gangdese, Tibet	10
4.1.7. Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano	11
4.2. AMBIENTES OCEÂNICOS	13
4.2.1. A fossa das Marianas	13
4.2.2. Estreito de Brainsfield, Antártica	14
4.2.3. Bacia de Lau, Ilha de Tonga	15
4.2.4. Bacia de Kurile, Rússia	16
4.3. BACIAS DE RIFTE	17
4.3.1. Bacia do Quênia, África	17
4.3.2. Basin'n Range, América do Norte	18
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1. Ciclo de Wilson	19
5.2. Heterogeneidade mantélica	20
6. MATERIAIS E MÉTODOS	22
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
9. REFERÊNCIAS	27
10. APÊNDICE	33
10.1. Bacias continentais	33
10.2. Bacias oceânicas	36
10.3. Bacias de rift	37

1. INTRODUÇÃO

A vulcanologia é um tópico interessante na geologia e principalmente em tempos modernos, englobando do geoquímico à escala regional em todos os seus aspectos. Dentro desta variedade, uma área de crescente interesse é o estudo da fonte heterogênea de magmas, especificamente sua composição petrográfica e química com relação à rocha final.

Diversos estudos foram realizados com foco na explicação da variedade de tipos de ocorrências vulcânicas de caráter laboratorial (e.g. PETERMANN e HIRSCHMANN, 2003; MALLIK e DASGUPTA et al., 2012; BRUNELLI et al., 2018) e de campo (e.g. PETRINI et al., 1987; ALMEIDA et al., 2005; HEINONEN et al., 2013). Entretanto, a abrangência espacial destes trabalhos tem-se dado apenas em escala de detalhe, sem extrapolar a escala regional. A falta de integração dos dados obtidos em tantos estudos com propostas de heterogeneidades mantélicas na fonte do magmatismo limita a sua utilização como ferramenta interpretativa em investigações petrogenéticas.

Portanto, a grande quantidade de dados, especialmente geoquímicos, disponíveis na literatura, permite a realização de uma comparação estruturada e de análise conjunta. Assim, o presente trabalho pretende comparar o contexto geotectônico de 13 bacias sedimentares dispersas por todo o planeta, como foco no comportamento mantélico associado, tendo-se em conta parâmetros como atividade, contemporaneidade, compatibilidade e complexidade geotectônica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Neste estudo pretende-se analisar a heterogeneidade mantélica e sua influência no magmatismo básico através de metodologia comparativa com base geoquímica, entre bacias sedimentares com uma distribuição global e geotectônica de diferentes fases do ciclo de Wilson, de modo a determinar possíveis correlações entre os contextos e entre os parâmetros definidos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos pretendidos neste trabalho são: gerar um banco de dados geoquímicos global de rochas básicas de bacias vulcano-sedimentar, determinar a presença e influência de heterogeneidade mantélica na fonte desses magmatismos, comparar esses dados compilados e determinar a atuação global deste tipo de mecanismo magmático.

3. JUSTIFICATIVA

As heterogeneidades mantélicas são propostas interpretativas frequentes em casos regionais, contudo, nota-se que as pesquisas tendem a não avaliar este fenômeno em escalas maiores. Ademais, as bacias com interpretação de heterogeneidade mantélica já possuem certo número de análises geoquímicas disponíveis na literatura, então uma comparação entre elas em nível global pode ser uma forma de melhor compreendê-las em sua totalidade.

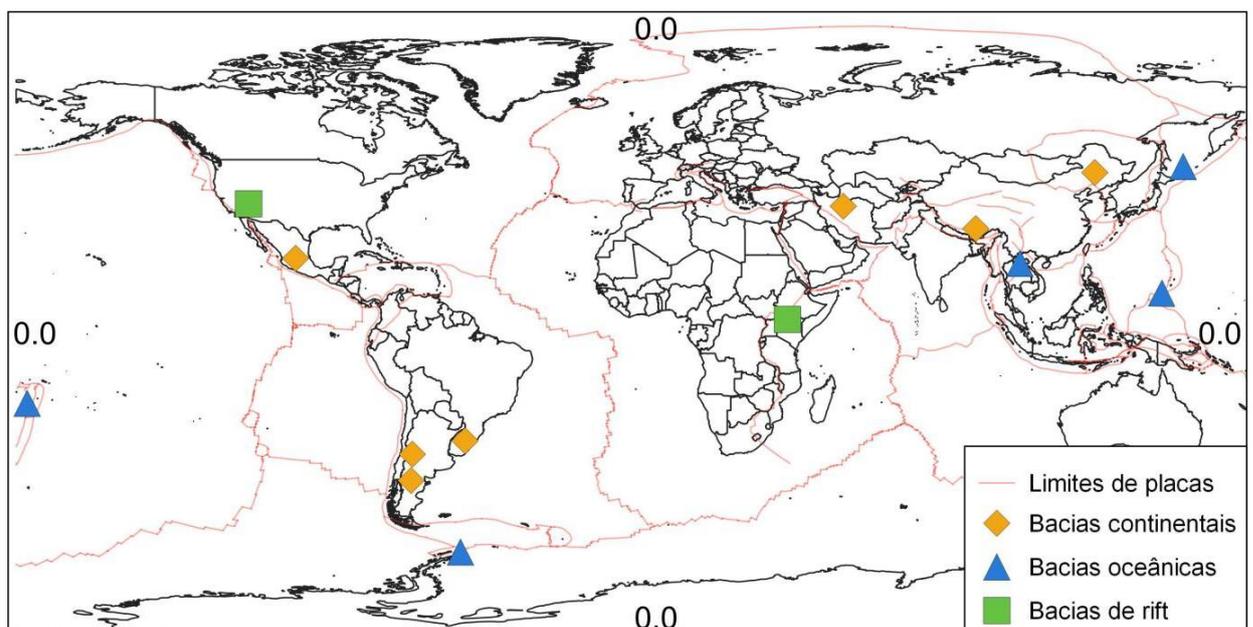
O uso de novas técnicas de análises comparativas com o aproveitamento de dados já existentes proporciona uma oportunidade de revisão dos conceitos definidos e o avanço da compreensão tanto local como geral de magmatismos em bacias sedimentares.

4. ÁREAS DE ESTUDO

Para compreender o vulcanismo mantélico em função do ciclo de Wilson, deve-se identificar o máximo de comparativos possíveis, procurando-se estabelecer conclusões nos casos individuais para que, em análise conjunta, se possa extrair uma conclusão geral.

A seleção das bacias foi feita com base nos seguintes critérios: presença de magmatismo básico como preenchimento, disponibilidade de dados geoquímicos na literatura e evidências de heterogeneidade mantélica. A figura 1 ilustra a localização das bacias selecionadas.

Figura 1 - Distribuição global das bacias selecionadas.



4.1. AMBIENTES CONTINENTAIS

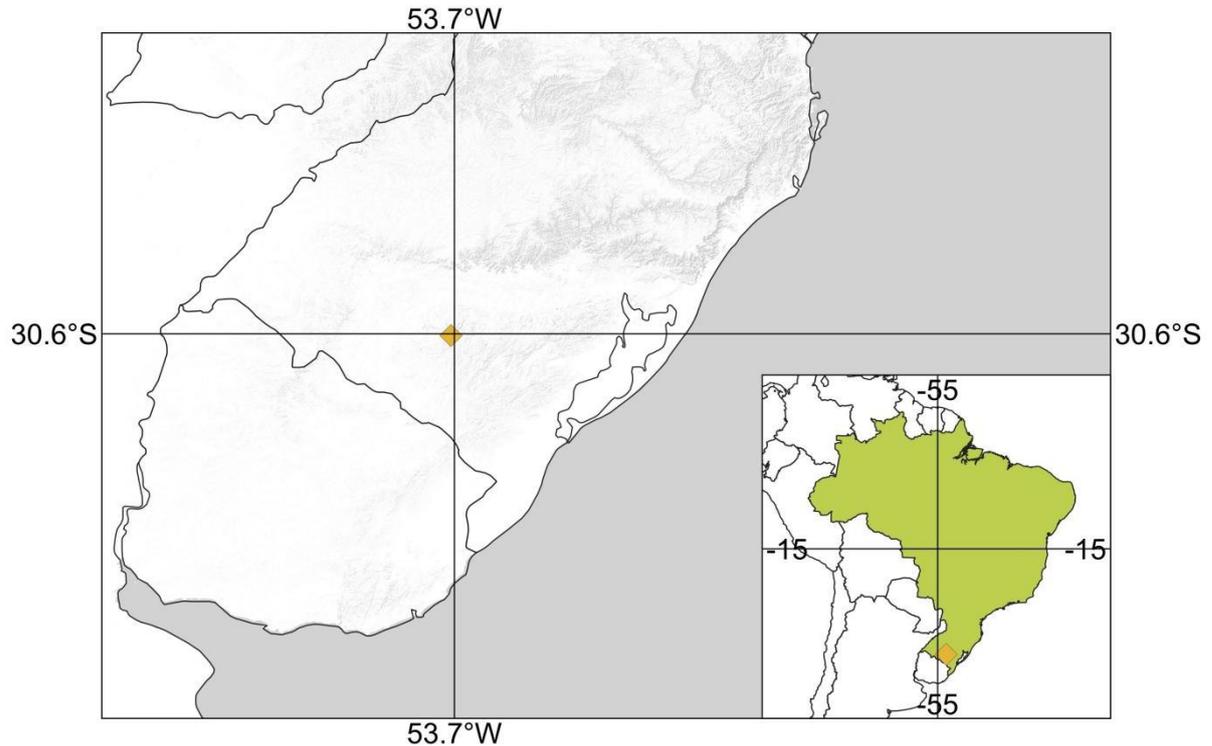
Os ambientes continentais selecionados fazem parte de uma série de sete bacias, associadas a esforços extensionais derivados da presença de subducção ou colisão, das quais três são de contexto pós colisional, nomeadamente as bacias do Camaquã, de Cuyo e de Songliao; e quatro de retroarco: bacias do Irã, da Patagônia, do Tibet e do Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano. As bacias que não possuem nome próprio oficializado são introduzidas pelo nome da feição geotectônica associada, seja o arco ou o orógeno.

4.1.1. Bacia do Camaquã, Brasil

A Bacia do Camaquã compõe uma sequência vulcano-sedimentar aflorante no Escudo Sul-Riograndense, no contexto pós-colisional do ciclo Brasileiro no cinturão colisional Dom Feliciano (e.g. FRAGOSO-CÉSAR, 1984). A deposição da Bacia, ilustrada na figura 1, apresenta quatro pulsos vulcano-sedimentares representando ambientes marinho, aluvial, fluvial, lacustre, eólico e vulcânicos (e.g. JANIQUIAN et al., 2012; MATTÉ, 2016).

O magmatismo revela uma tendência de evolução de toleítico, cálcio-alcálico de alto-K para shoshonítico e sódico-alcálico, representado por granitóides peraluminosos (SOMMER et al., 2006). As rochas vulcânicas básicas são interpretadas como produto de fontes mantélicas modificadas por subducção, provavelmente do tipo EM1 (WILDNER et al., 1999, 2002; NARDI & BONIN, 1991; e ALMEIDA et al., 2005)

Figura 2 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia do Camaquã.

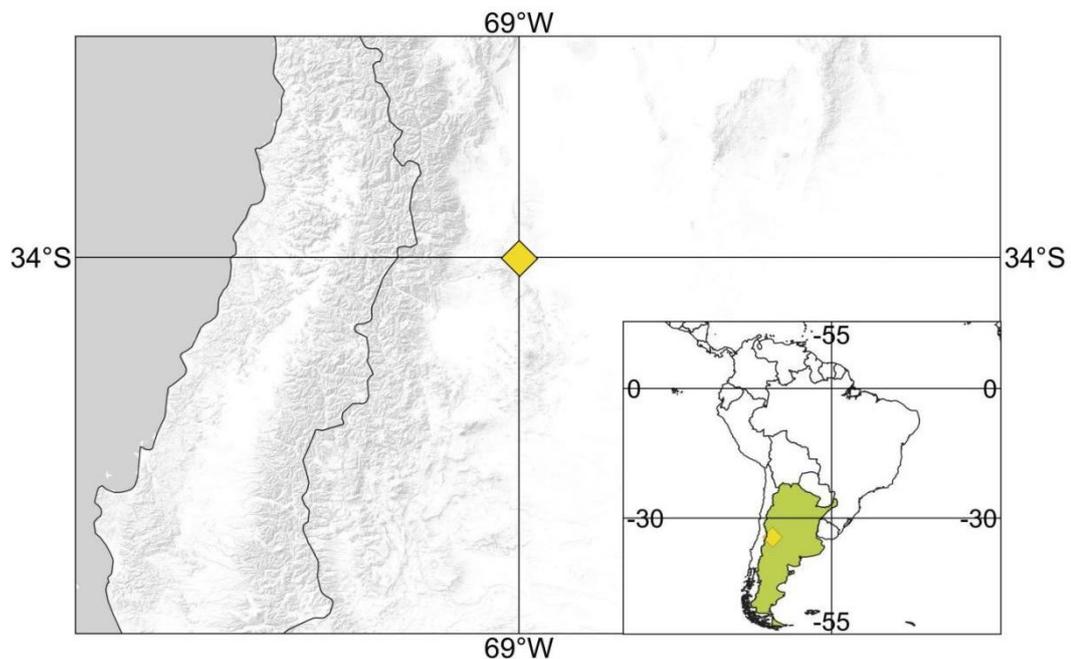


Os episódios vulcânicos da Bacia do Camaquã revelam uma tendência de evolução, de toleítico, calcio-alcálico de alto K para shoshonítico e Sódico-alcálico, representado por granitóides peraluminosos (SOMMER et al., 2006). São representadas por rochas vulcânicas e plutônicas principalmente de composição andesítica a dacítica com afinidade shoshonítica. As rochas básicas ocorrem em estruturas aa, pahoehoe, em depósitos piroclásticos e fluxos ou intrusões pequenas, caracterizadas por olivina-basaltos (ALMEIDA et al., 1996). Almeida et al. (2005) considera esse magmatismo como produto de fontes mantélicas modificadas por subducção, provavelmente do tipo EM1.

4.1.2. Bacia de Cuyo, Argentina

A bacia de Cuyo encontra-se entre uma série de valas limitadas por falhas normais, cuja formação é atribuída a esforços extensionais e adelgaçamento crustal relacionados à subducção da placa de Nazca sob a Cordilheira Andina (RAMOS e KAY, 1991). Sua evolução se deu em três estágios deposicionais representados por depósitos aluviais-fluviais, de lagos salinos, lacustres, deltaicos e eólico semiárido, com eventos vulcânicos intermitentes (BARREDO, 2012).

Figura 3 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia de Cuyo

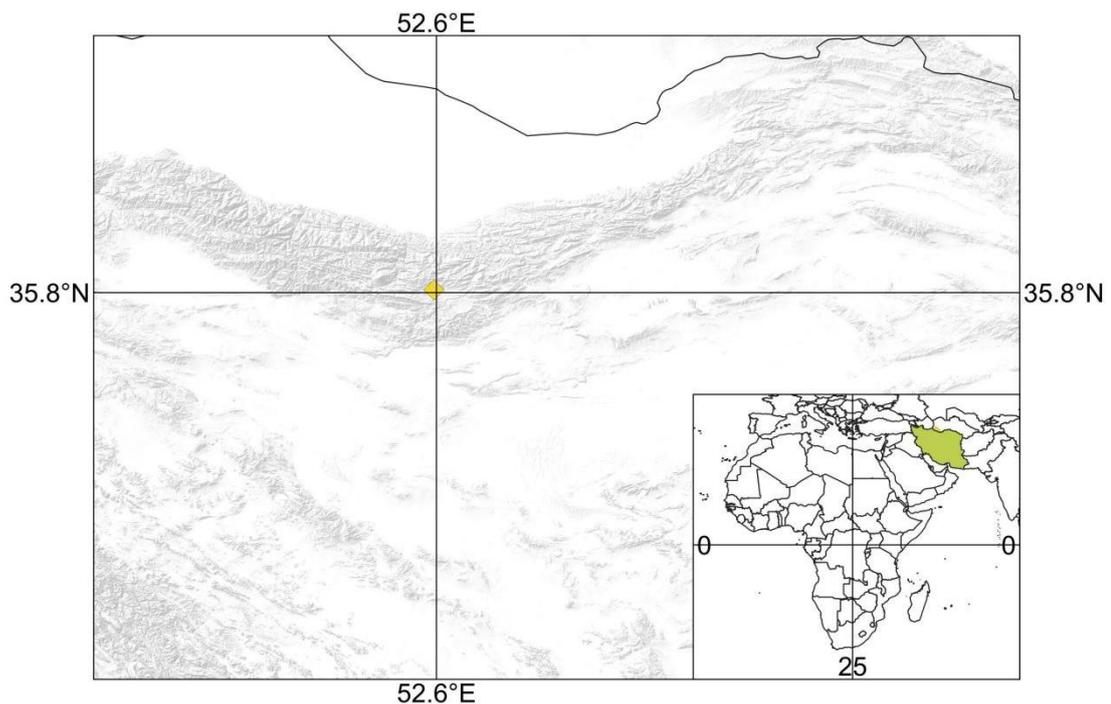


O magmatismo inclui fluxos de lava, soleiras e depósitos piroclásticos. As lavas e soleiras correspondem a basaltos com padrões ETRs moderadamente inclinados e razões isotópicas com assinatura mantélica. Os basaltos são principalmente porfíricos, com 2-15% de plagioclásio, clinopiroxênio (augita) e fenocristais de olivina envoltos em uma matriz intersticial (RAMOS e KAY, 1991).

4.1.3. Faixa de Alborz, Irã

As montanhas de Alborz compõem uma zona de sutura no norte do Irã, representando parte da margem norte do cinturão orogênico Alpino-Himalaiano, ilustrado na figura 3. São conectadas a noroeste às montanhas do Cáucaso e às montanhas de Hindu kush a leste, formadas a partir da quebra do Gondwana até o Ordoviciano, para no Triássico se conectarem à placa Eurasiana. Atualmente é ativo na influência da colisão da placa da arábia com a Eurasiana (DOROOZI et al., 2016).

Figura 4 -Mapa topográfico simplificado de localização da faixa de Alborz, Irã.



No Mesozóico, dá-se início a fases extensionais no centro do Alborz relacionadas com a ocorrência de episódios vulcânicos, concomitantes com a deposição de xistos betuminosos da formação de Shemshak. No Jurássico e Cretáceo inferior, houve a deposição de calcários rasos acompanhados de erupções

alcalinas basálticas. No Eoceno, diversas erupções vulcânicas se mantiveram, como resultado de um regime extensional. No Oligoceno e no Mioceno, o soerguimento da região causado pela colisão de terrenos permitiu a deposição de sedimentos continentais (ASIABANHA e FODEN, 2012; SEPIDBAR et al., 2018).

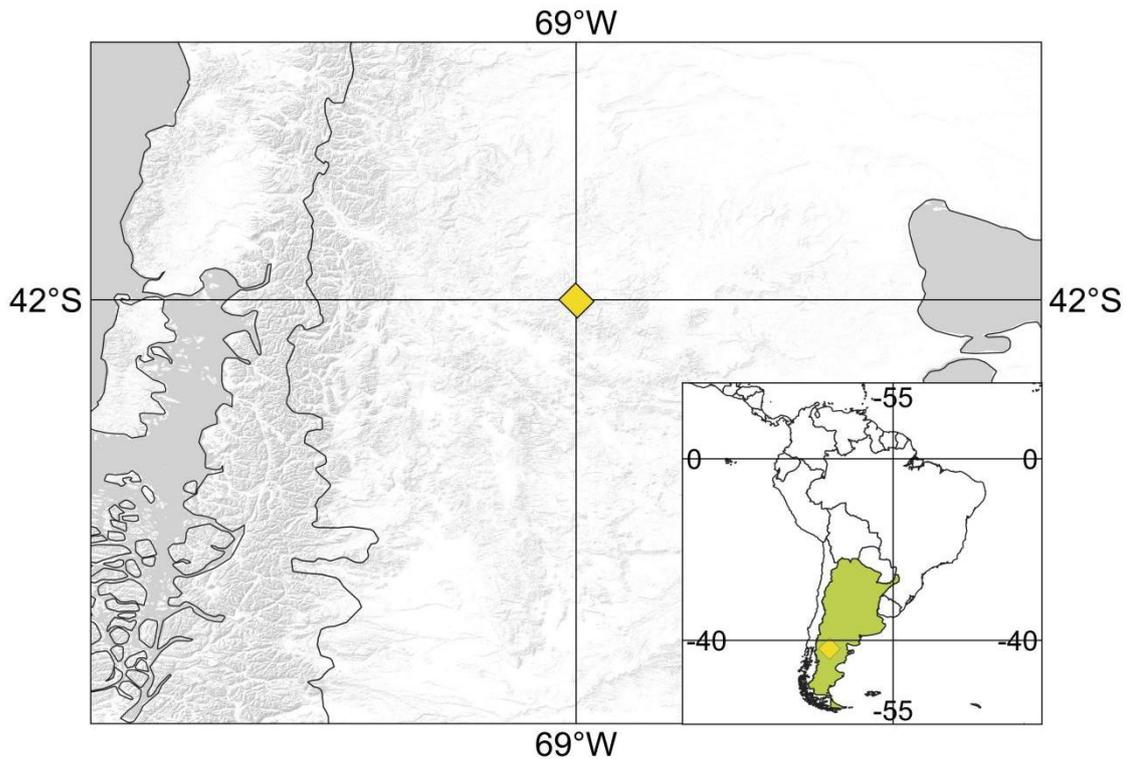
O magmatismo consiste em dois grupos principais: os basaltos alcalinos, caracterizados por alcali-basaltos e olivina-basaltos com textura porfiritica contendo fenocristais de olivina, piroxênio e plagioclágio; e os traqui-andesitos-basaltos, caracterizados pela textura porfiritica ou afanítica com piroxênio, plagioclásio e anfibólio (DOROOZI et al., 2016).

4.1.4. Província Vulcânica de Payenia, Argentina

A província vulcânica de Payenia é disposta na região de retroarco da zona vulcânica de transição andina, cuja formação é associada à subducção da placa de Nazca. Ocorrências vulcânicas começam no início do Mioceno com a erupção de basaltos alcalinos formando um platô de lava (SOAGER e HOLM, 2013).

No Mioceno tardio até o Pleistoceno, um raseamento da subducção levou a uma expansão para o leste do arco e à erupção de rochas de arco e retroarco na província de Payenia. Concomitantemente houve um relaxamento crustal na região de arco e retroarco devido a um regime extensional (GUIVEL et al., 2006). As rochas vulcânicas da província consistem principalmente em basaltos alcalinos e traqui-basaltos com número de magnésio entre 45 e 70 (SOAGER e HOLM, 2013).

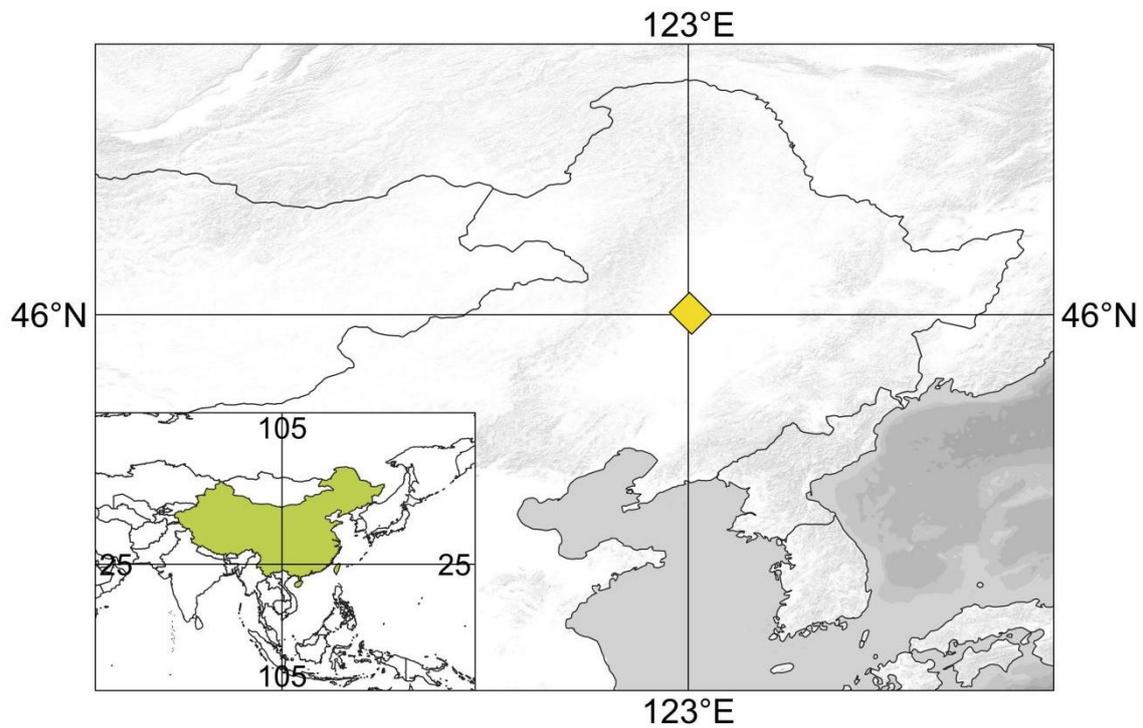
Figura 5 - Mapa topográfico simplificado de localização da Província Vulcânica de Payenia, Argentina.



4.1.5. Bacia de Songliao, China

A Bacia de Songliao é localizada no noroeste da China, no segmento mais a leste do Cinturão Orogênico da Ásia Central, formado pela colisão de diversos microcontinentes durante o Paleozoico. Inicialmente desenvolveu-se por um estágio de rifte, formando diversas bacias de rifte no Mesozoico tardio (150–100 Ma). As ocorrências vulcânicas se concentram no estágio de sin-rifte tardio para pós-rifte, durante três importantes ciclos de vulcanismo. O magmatismo de rifte é principalmente composto de basaltos alcalinos com textura porfírica com predominância de plagioclásico e piroxênio, respectivamente (LIU et al., 2022).

Figura 6 - Mapa topográfico simplificado de localização da Bacia de Songliao, China.



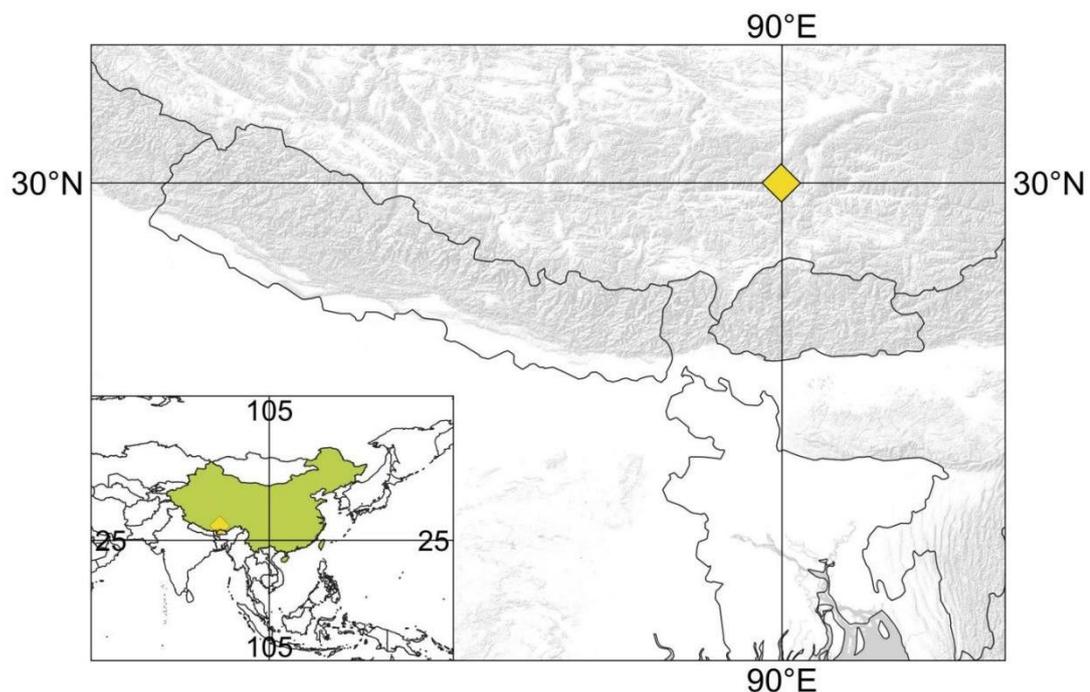
4.1.6. Cinturão de Gangdese, Tibet

O cinturão de Gangdese é uma zona de sutura conhecida como modelo para orógenos colisionais, relacionada à colisão entre a Índia e Ásia. Diversos tipos de magmatismos são documentados, dentre eles, destaca-se o magmatismo Cenozóico associado a processos colisionais, cuja fonte é interpretada como um manto subcontinental litosférico enriquecido ou como crosta inferior mais espessa do pós-colisional Tibetano, encontrada principalmente ao sul do cinturão (TURNER et al., 1996).

Nesta região, a sequência sedimentar mais antiga exposta consiste em rochas siliciclásticas com uma abundância de rochas vulcânicas, interpretada como consequência de rifteamento na crosta, possivelmente relacionado com a separação

da Índia. Consiste em uma sequência vulcano-sedimentar composta principalmente de lavas basálticas e félsicas, bem como rochas vulcanoclásticas félsicas. As rochas sedimentares são calcários e arenitos intercalados com rochas silicicas (ZHU et al., 2008).

Figura 7 - Mapa topográfico simplificado de localização do Cinturão de Gangdese, Tibet.



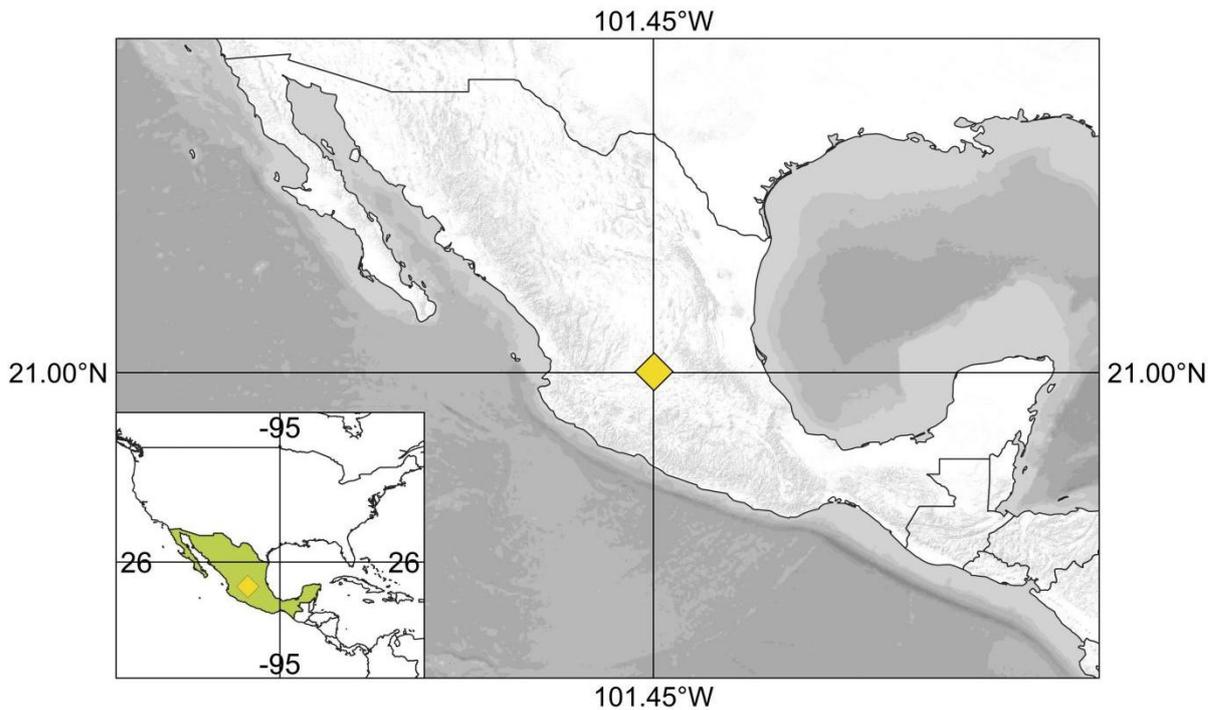
As rochas magmáticas basálticas são maciças ou com microvesículas preenchidas com clorita e epidoto. Possuem textura afírica e porfírica com plagioclásio e clinopiroxênio dominantes (ZHU et al., 2008).

4.1.7. Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano

O cinturão vulcânico Trans-Mexicano consiste em um arco vulcânico que esteve em atividade do Mioceno médio ao Holoceno, associado com a subducção da placa de Cocos e de Rivera sob a placa Norte Americana (TUENA et al., 2003).

Inicia-se a 180km da fossa e é caracterizado por extensão intra-arco associada à abertura do golfo da Califórnia (PETRONI e FERRARI, 2008).

Figura 8 - Mapa topográfico simplificado de localização do Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano.



É composto por rochas alcalinas e cálcio-alcalinas. Reconhecem-se duas suítes de rochas vulcânicas: as rochas alcalinas relacionadas a subducção e as rochas alcalinas transicionais, compostas por basaltos de ilhas oceânicas, geralmente associados com a migração de um manto astenosférico enriquecido para uma zona de fusão em regime extensional ativo. (PETRONI e FERRARI, 2008).

As rochas basálticas da região possuem textura porfirítica a afanítica com uma abundância de fenocristais de olivina e plagioclásio. Diversas amostras possuem xenólitos, sendo estes de dois tipos principais: os xenólitos ígneos gabróicos e os metamórficos de granulitos máficos e félsicos (ORTEGA-GUTIERREZ et al., 2014).

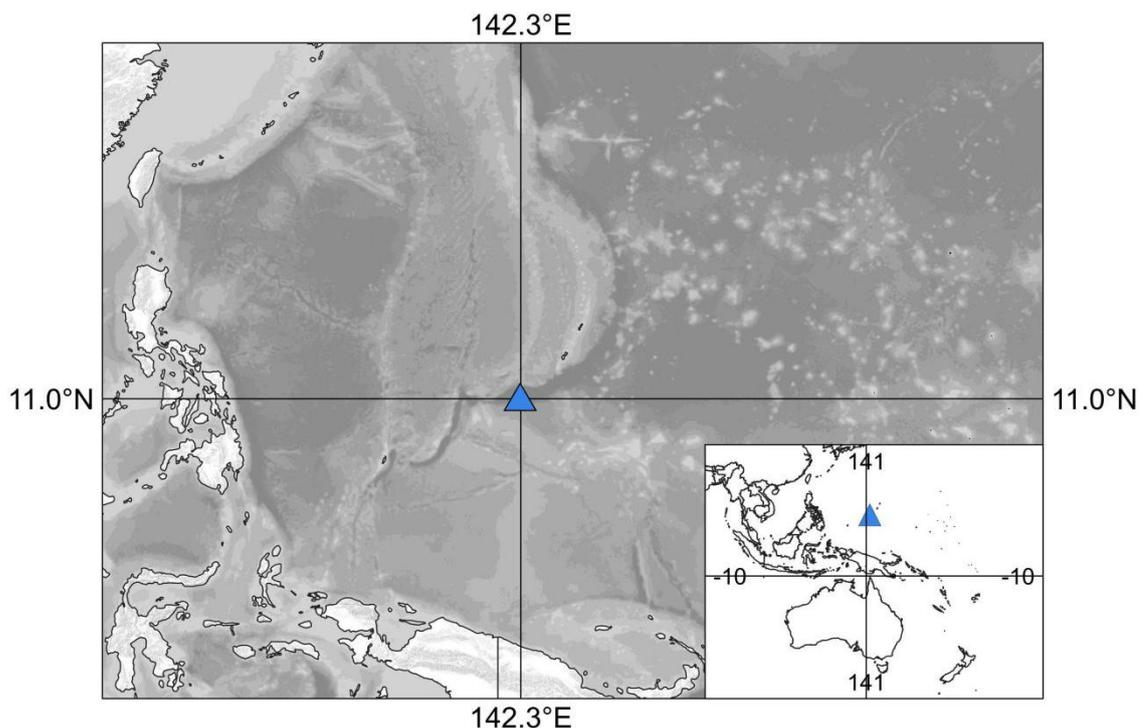
4.2. AMBIENTES OCEÂNICOS

Os ambientes oceânicos são compostos por quatro bacias extensionais, sendo elas: a fossa das Marianas, no sudeste do Japão, o estreito de Brainsfield, na Antártica, a bacia de Lau, na ilha de Tonga, e a bacia de Kurile, na Rússia. Nota-se que todos de alguma forma estão conectados ao círculo de fogo do Pacífico.

4.2.1. A fossa das Marianas

Localizado na parte ocidental do oceano Pacífico, no sudeste do Japão, o sistema magmático de Mariana é associado à subducção da placa das Filipinas sob a placa do oceano Pacífico. A fossa das Marianas é uma bacia de retroarco ativa que converge para o arco no norte e no sul.

Figura 9 - Mapa topográfico simplificado de localização da Fossa das Marianas.

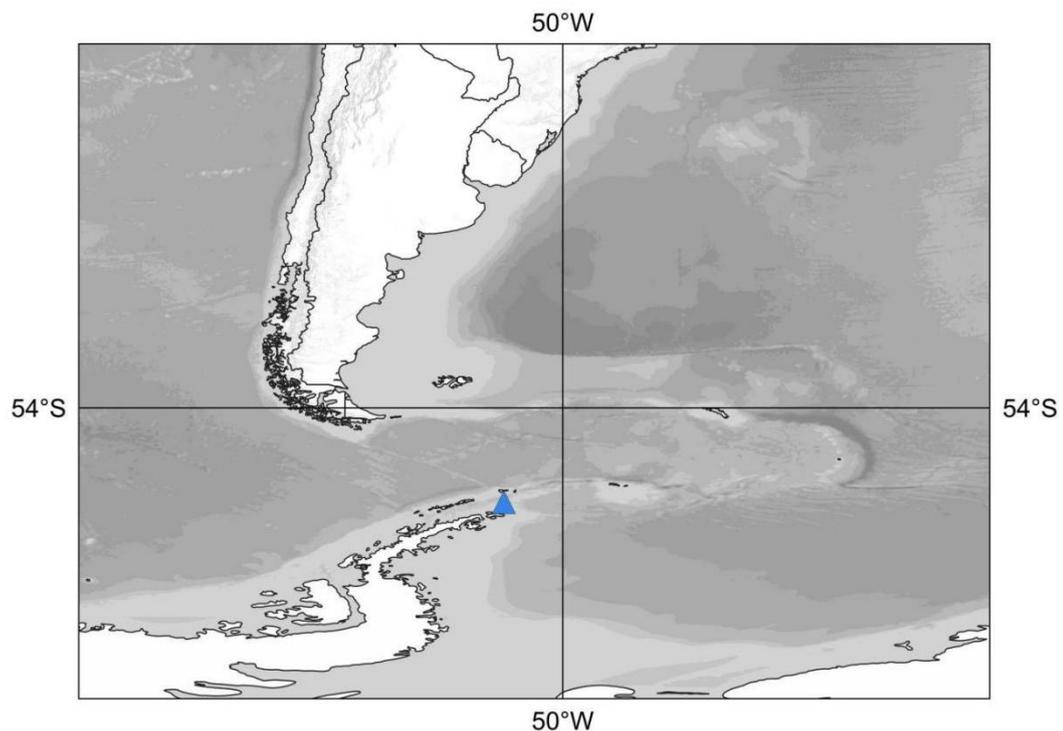


O manto alimentador do vulcanismo da bacia é caracterizado como enriquecido em elementos incompatíveis, sendo interpretado como referente a variação, em termos de enriquecimento, do manto litosférico antes do rifteamento do arco ou como baixo grau de fusão de um componente derivado da subducção. O magmatismo predominante é basáltico com alto enriquecimento em elementos incompatíveis (PEARCE et al., 2005).

4.2.2. Estreito de Brainsfield, Antártica

O estreito de Brainsfield, localizado na ponta da ilha Antártica próximo do extremo sul da América, é formado pela subducção da antiga placa de Fênix, agora parte da placa de Antártica. O arco magmático da península Antártica associado a esta subducção estava em atividade no início do Mioceno, mas evidências sugerem que a subducção se mantém atualmente.

Figura 10 - Mapa topográfico simplificado de localização do Estreito de Brainsfield, Antártica.

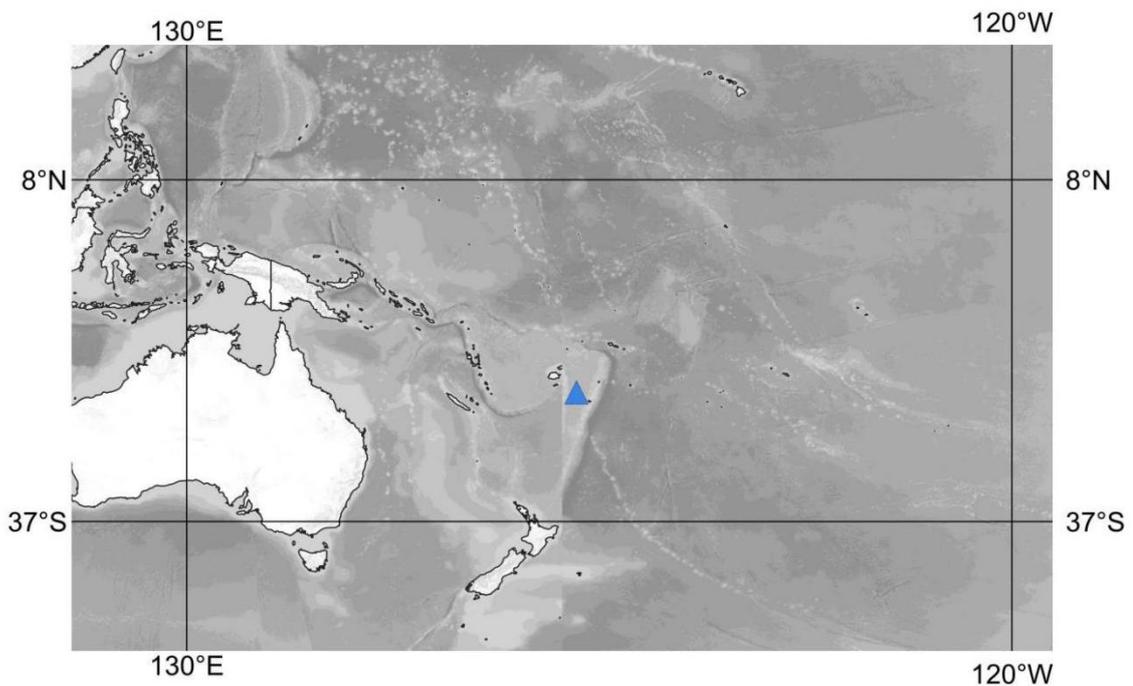


Atrás deste arco, esforços extensionais afinaram a crosta para cerca de 40 km, permitindo a ocorrência de basaltos e andesitos com composição similar a basaltos de ilha vulcânica, em edifícios vulcânicos que podem inclusive sobressair ao nível do mar (KELLER et al., 2002).

4.2.3. Bacia de Lau, Ilha de Tonga

Dentre uma série de valas e bacias que se estendem entre Nova Guiné, por Fiji até a Nova Zelândia, onde estão o limite entre as placas tectônicas do Pacífico e da Austrália, encontram-se as cordilheiras de Tonga Kermadec a leste e de Lau Colville a oeste.

Figura 11 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Lau, ilha de Tonga.



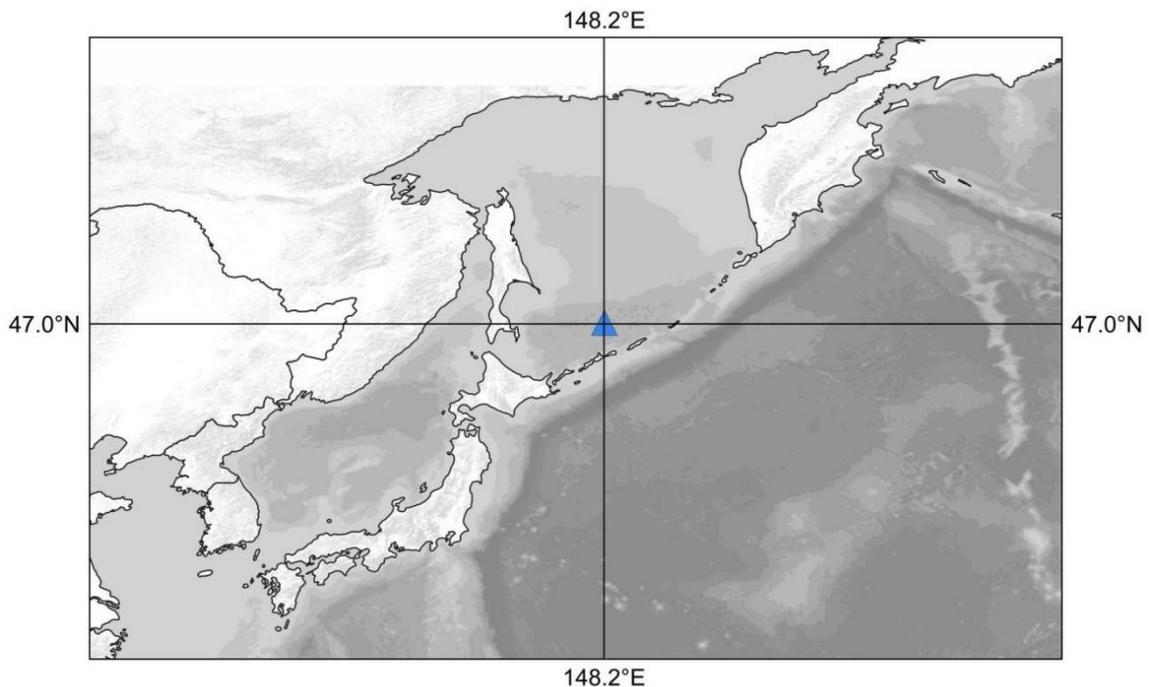
O espaço entre elas permitiu a formação de uma depressão conhecida como a Bacia de Lau. Há várias hipóteses quanto à formação da bacia, mas em geral

aceita-se como uma feição de retroarco referente a uma das cordilheiras (FALLON et al., 1992).

4.2.4. Bacia de Kurile, Rússia

A bacia de Kurile se formou a partir da subducção da placa do Pacífico sob a placa Norte Americana e consiste na fossa de Kurile-Kamchatka, a cadeia vulcânica de Big Kurile e a Bacia de Kurile, formada pelo espalhamento de retroarco ocorrido entre o início do Oligoceno e o Mioceno médio.

Figura 13 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Kurile, Rússia.



A presença abundante de xenólitos de rochas metamórficas em basaltos do Quaternário fornece evidências para a formação do arco em uma crosta continental. Os esforços extensivos tornaram-se compressivos desde o Plioceno, sendo a atividade magmática operante até o presente (MARTYNOV et al., 2016).

4.3. BACIAS DE RIFTE

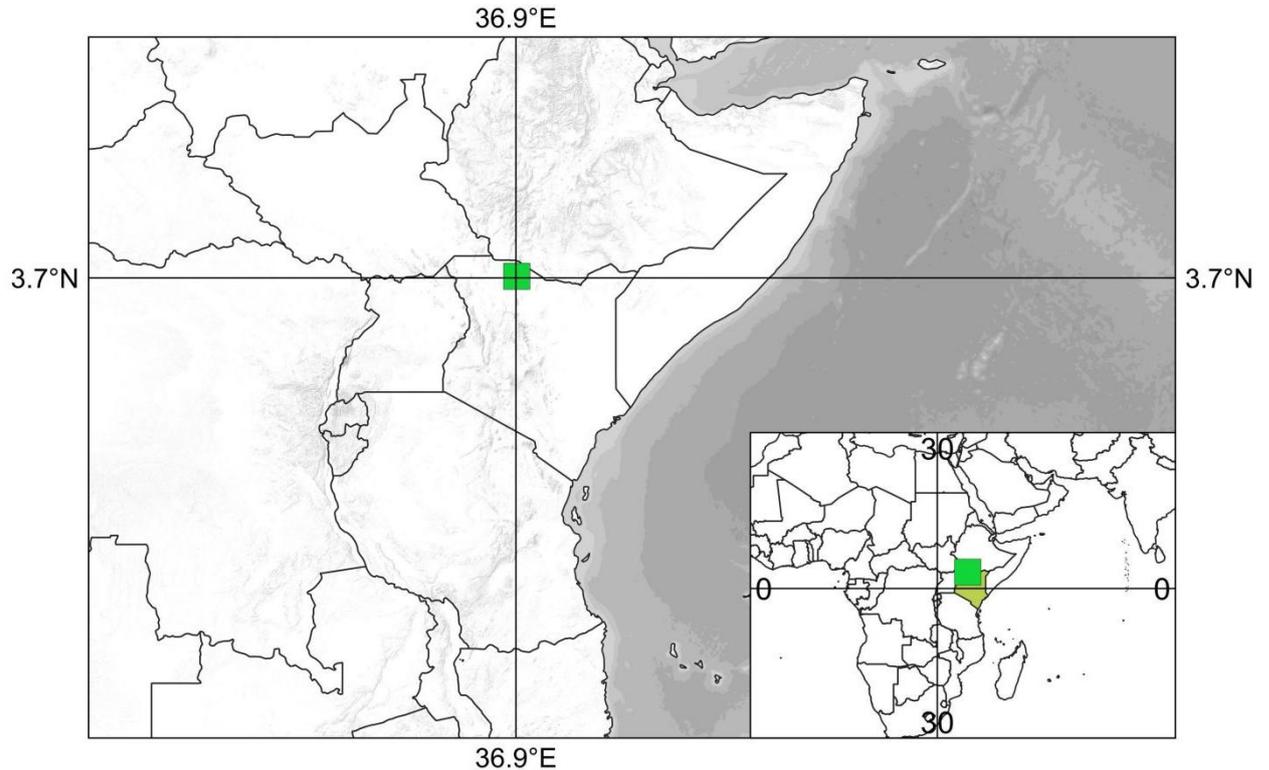
Como forma de garantir um grupo de controle das análises, foram selecionadas também duas amostras de bacias de *rift* cujo estágio inicial no ciclo de Wilson em certa medida independe no magmatismo de processos relacionados à subducção. As bacias escolhidas foram as de Kenya no oeste do continente africano e o complexo de Basin'n Range no leste da América do Norte.

4.3.1. Bacia do Quênia, África

O leste africano é composto de uma série de bacias e platôs que o diferenciam de outros continentes. Estas estruturas são conhecidas como sistema de riftes do leste africano, interpretado como um representante moderno de um rifte continental, é associado com dois soerguimentos principais de domos, o domo Afro-arábico, interceptado pelo Mar Vermelho, pelo golfo de Aden e pelo rifte da Etiópia; e o domo do Quênia ao sul. No Quênia, o vulcanismo começou há cerca de 35 Ma, ao norte, seguido por processos de falhamento normal e extensão. Desde então, têm migrado para o sul, atingindo a Tanzânia há cerca de 5 Ma. A extensão no centro do rifte começou cerca de 10 Ma atrás (MCDONALD, 2003).

As rochas basálticas são compostas de basaltos alcalinos moderadamente evoluídos. As lavas possuem texturas de afaníticas a porfíricas com fenocristais de olivina, piroxênio e plagioclásio (ROEX et al., 2001).

Figura 14 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia do Kenya, África.

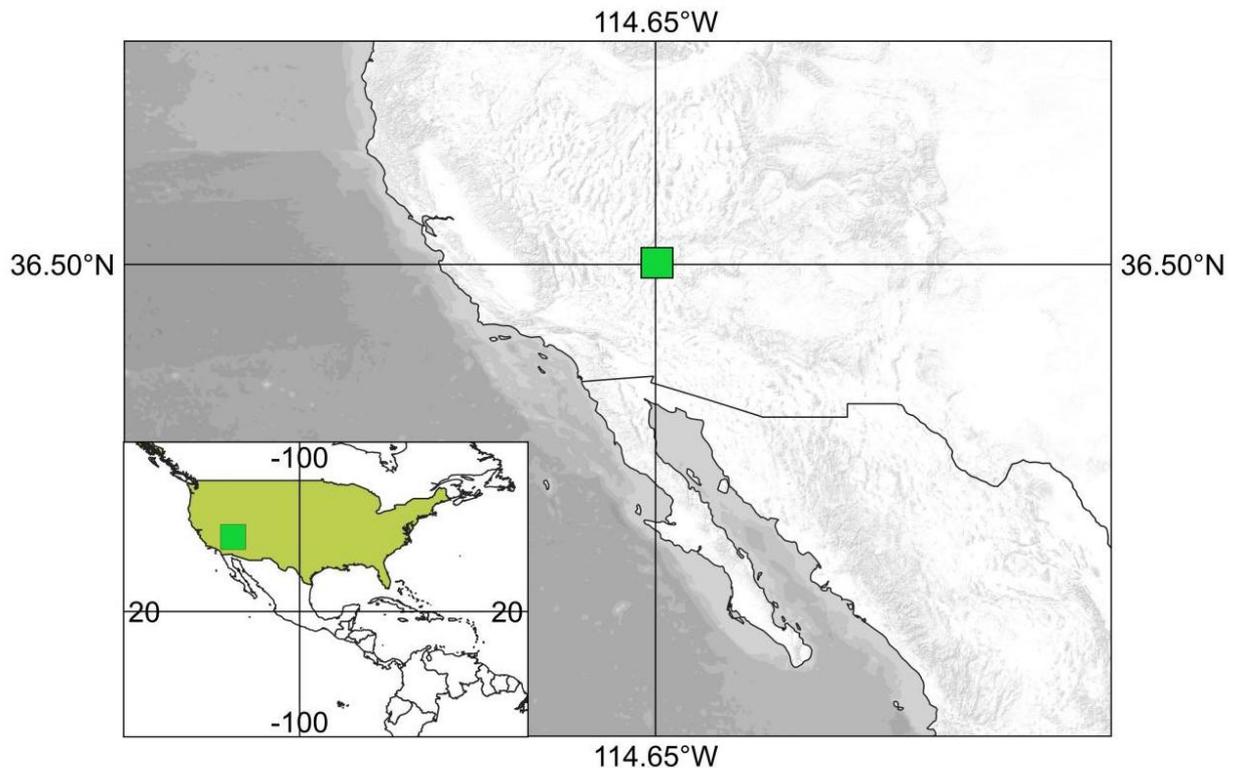


4.3.2. Basin'n Range, América do Norte

A província de Basin and Range consiste em um grande intervalo desértico, de relevo enrugado e topografia angular do oeste da Cordilheira, nos Estados Unidos, formando uma série de montanhas e bacias desérticas, interpretadas como desenvolvimento de um regime anterior de deformação extensional (BRADSHAW et al., 1993).

Concomitantemente existem diversas rochas vulcânicas de composição cálcio-alcálica, alojadas quase continuamente no fim do Cretáceo, no Eoceno inferior e no início do Oligoceno. O término deste vulcanismo deu lugar a episódios de erupção basáltica que se mantêm durante o Quaternário (EATON, 1982).

Figura 15 - Mapa topográfico simplificado de localização da bacia de Basin and Range, EUA.



As rochas basálticas da região possuem composição de basáltica a traquibasáltica, com relativamente grande variação de elementos maiores sob um mesmo número de magnésio, indicando que a fusão mantélica produziu diversas composições primitivas. Petrograficamente são caracterizados por fenocristais de olivina e plagioclásio em menor quantidade (VALENTINE e PERRY, 2007).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Ciclo de Wilson

Dentro do estudo dos movimentos das placas tectônicas e do desenvolvimento dos continentes está o conceito do Ciclo de Wilson, nomeado

como homenagem a um dos fundadores da teoria da tectônica de placas. Este conceito propõe uma sequência de ocorrências para o desenvolvimento de um continente, sua fragmentação, aglutinação e remodelamento, com todos os agentes envolvidos (TEIXEIRA et al., 2009; KEAREY et al., 2013).

A sequência inicia-se com o rifteamento, ou abertura devido a esforços extensivos contínuos, de um continente fragmentando-o. Conforme os esforços extensionais se mantêm, um oceano se abre formando uma bacia sedimentar que resfria a margem passiva e acumula sedimentos. Uma convergência inicia-se com a subducção, criando uma cadeia vulcânica na margem ativa e agregando material pela acreção de terreno. Os dois continentes colidem, provocando um espessamento de crosta decorrente da orogenia, o que gera um novo continente que será erodido e adelgado, dando novo início ao ciclo (GROTZINGER et al., 2006, PLUIJM e MARSHAK, 1955).

Existem diferentes formas pelas quais se pode classificar uma bacia sedimentar que podem ser definidas. Contudo, pelo fato de o escopo do trabalho, limitar-se a definição de Alen e Alen (2005), que diz que “bacias sedimentares são áreas de prolongada subsidência na superfície terrestre”, a principal distinção tomada será entre as de regiões continentais e de regiões oceânicas.

5.2. Heterogeneidade mantélica

A heterogeneidade mantélica geralmente é estudada em termos de assinaturas geoquímicas enriquecidas em rochas vulcânicas, em relação a basaltos de dorsais meso-oceânicas, o que é interpretado como reciclagem de litosfera oceânica em um manto depletado (WILLBOLD & STRACKE, 2010). Recentemente

experimentos propuseram que esse fenômeno pode ser explicado em termos da fusão de piroxenito/eclogito na fonte do magmatismo, resultado das condições metamórficas de alto grau (isto é, alta pressão e alta temperatura) da crosta oceânica subductada (SOBOLEV et al., 2005, 2007; DAY et al., 2009) ou por delaminação da crosta continental inferior (WILLBOLD & STRACKE, 2010; LEE & ANDERSON, 2015).

Eclogito é uma fácies metamórfica rica em clinopiroxênio sódico (onfacita) com adição de granada. Na tentativa de se identificar a assinatura desta rocha nos produtos de sua fusão, vários estudos têm focado na granada, utilizando o seu padrão depletado de elementos terras raras pesados (HIRSCHMANN & STOLPER, 1996). Outra possibilidade seria analisar os elementos maiores do piroxênio, que geralmente, mas não necessariamente, diferem dos da olivina no manto peridotítico circundante e portanto, pode ser mais facilmente identificado (LAMBART et al., 2012, 2013; MATZEN et al., 2017).

Com base no princípio de que o piroxênio pode acomodar CaO e muito mais SiO₂ em sua estrutura do que a olivina, que é mais compatível com os óxidos de FeO e MgO, Yang & Zhou (2013) desenvolveram o índice FC3MS ($\text{FeO/CaO} - 3 \cdot \text{MgO/SiO}_2$) e a partir dele determinaram experimentalmente o valor de 0.65 como o máximo gerado pela fusão de peridotito (definido no estudo como rocha ultramáfica com mais de 40% de olivina). Acima deste valor, a rocha pode ser interpretada como resultado da fusão de piroxenito (rocha ultramáfica com menos de 40% de olivina), apesar de que esse resultado não eliminaria a possibilidade de fusão preferencial de piroxênio.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

No caso das bacias continentais, os dados da bacia do Camaquã foram retirados de Almeida et al. (1996, 2005, 2012), Matté et al. (2016) e Lopes et al. (2014); os dados da bacia de Cuyo foram retirados de Ramos & Kay (1991), Orellano et al. (2019) e Martina et al. (2021). Para a Bacia da Patagônia os dados foram retirados de Søager & Holm (2013) e Guivel et al. (2006); Os dados do cinturão vulcânico Trans-mexicano foram retirados de Ferrari et al. (2001), Gutiérrez et al. (2014) e Gómez-Tuena et al. (2003); os dados de Alborz no Irã foram obtidos de Asiabaha & Foden (2012) e Doroozi et al. (2016); os dados do Tibet foram retirados de Zhu et al. (2008) e os de Songliao, de Liu et al. (2022, 2023)

Para as bacias oceânicas, os dados da bacia da fossa das Marianas foram retirados de Pearce et al. (2005); os dados do estreito de Brainsfield foram retirados de Keller et al. (2002); os dados da bacia de Lau, na ilha de Tonga, foram retirados de Falloon et al. (1992); e os dados da bacia de Kurile na Rússia foram retirados de Martinov et al. (2010).

Por fim no caso das bacias de rifte, os dados da bacia do Quênia no leste africano, foram retirados de Roex et al. (2001) e os dados da bacia de Basin and Range no Oeste da América do Norte foram retirados de Bradshaw et al. (1993) e de Cousens et al. (2008). O resultado da compilação de dados está disponível nos apêndices.

Para os elementos maiores será utilizado o *software* Petrograph®, cuja diagramação determinará a proveniência do magmatismo nas bacias e suas possíveis trajetórias de evolução. Depois da compilação de dados, as amostras foram selecionadas com base nos teores de sílica (<51%), descartando-se da

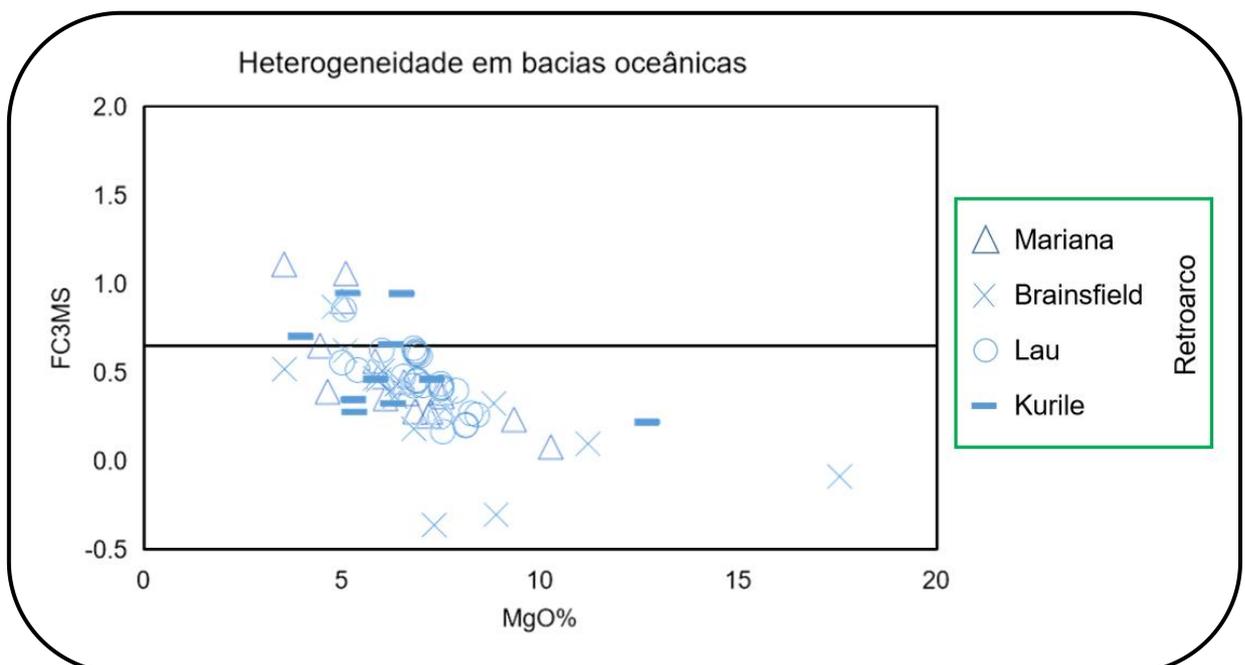
análise aquelas cujo conteúdo de sílica apontaria falsamente para uma fonte piroxenítica (i.e. $FC3MS > 0.65$; rochas com alta cristalização fracionada e/ou processos de sistema aberto, como assimilação crustal).

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 16 ilustra a dispersão das amostras de bacias oceânicas em um diagrama com o índice FC3MS vs. MgO, demonstrando a heterogeneidade mantélica neste ambiente. A barra ao meio indica o valor de 0.65 para o FC3MS, definindo a divisão entre fusão peridotítica e a piroxenítica.

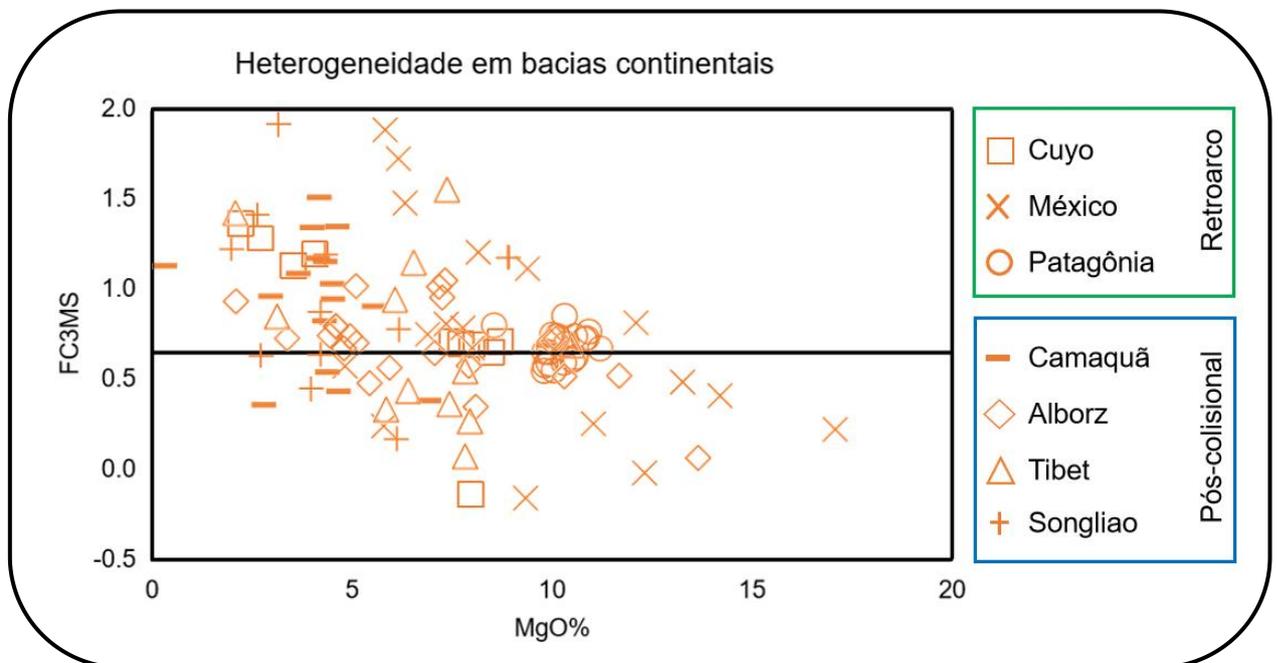
Nota-se inicialmente que a maior parte das amostras localizam-se abaixo da linha, implicando que neste tipo e ambiente a maioria dos magmas basálticos fundidos deriva da fusão de manto peridotítico normal, com apenas uma minoria representando a fusão de piroxenitos, apesar de que não nula.

Figura 16 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares oceânicas.



A figura 17 ilustra a dispersão das amostras de bacias continentais em um diagrama com o índice FC3MS vs. MgO, demonstrando a heterogeneidade mantélica do ambiente. Assim, a dispersão demonstra-se muito mais dividida, com uma predominância de amostras com a derivação atribuída à fusão de rochas piroxeníticas. Neste caso, a amplitude de MgO se concentra mais entre os valores de 0 e 10, principalmente no intervalo de 5 a 10.

Figura 17 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares continentais.

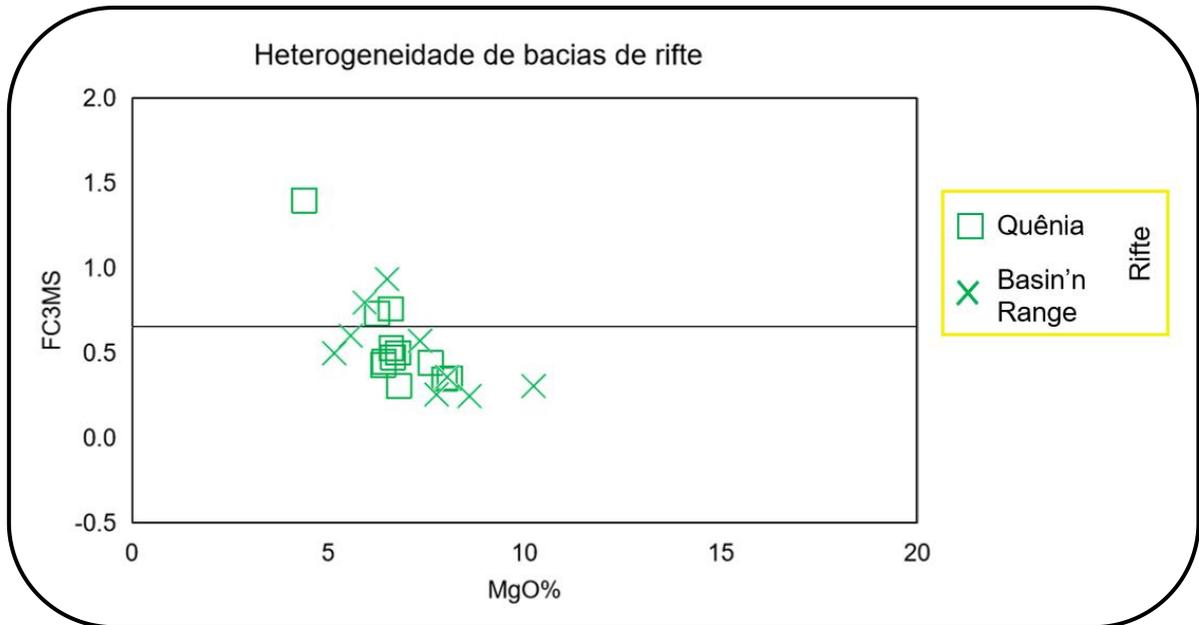


Por fim, o diagrama ilustrado na figura 18 representa dispersão das amostras de bacias sedimentares relacionadas a riftes continentais em um diagrama com o índice FC3MS vs. MgO, como forma de se analisar o caráter heterogêneo do manto sem a influência de mecanismos de subducção.

Nota-se uma dispersão bem similar com a encontrada nas bacias oceânicas, com algumas amostras acima do campo de fusão piroxenítica, mas com a grande

maioria disposta abaixo deste campo. Contudo, o grau de MgO ainda é mais compatível com o ilustrado nos ambientes continentais.

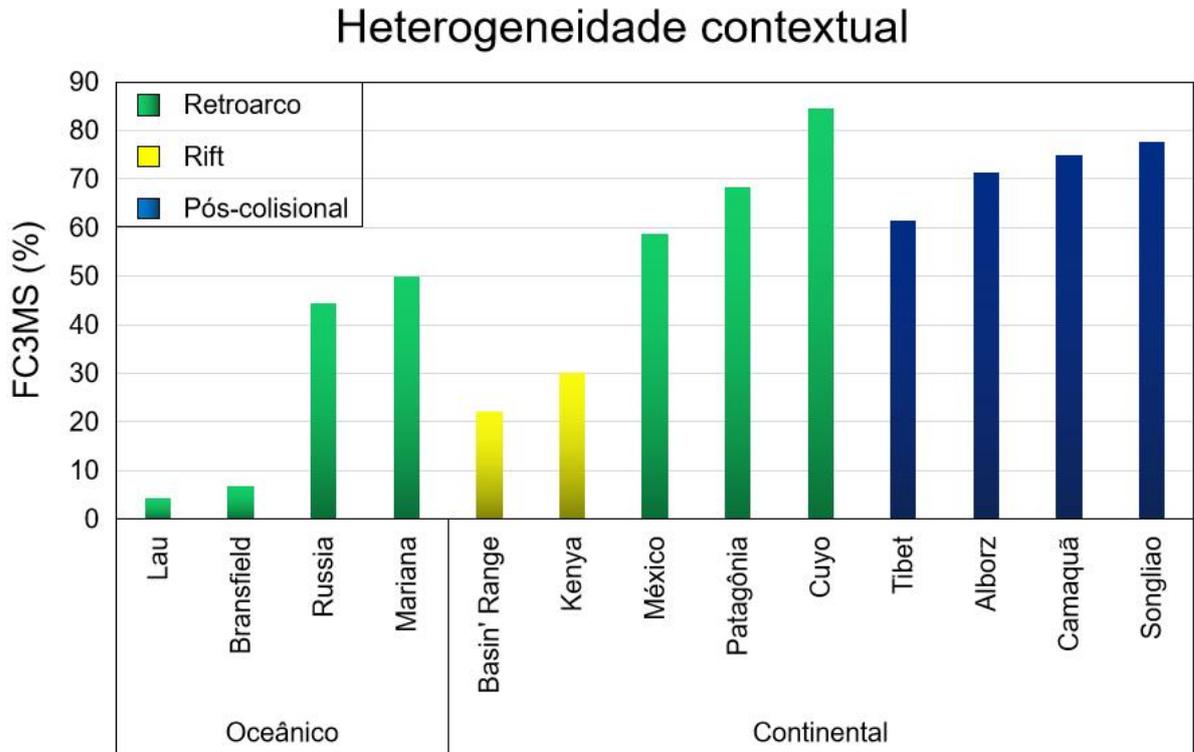
Figura 18 - Gráfico do índice FC3MS vs. MgO com a dispersão das amostras de bacias sedimentares de *riffts* continentais.



Levando-se adiante a separação dos campos, pode-se utilizar-se do valor de 0.65 no índice FC3MS para se determinar uma porcentagem de fusão piroxenítica individual para cada bacia, podendo-se assim compará-las quanto a sua derivação, bem como quanto ao seu contexto geológico e geotectônico.

A Figura 19 ilustra os resultados das análises. Nota-se inicialmente que de fato a espessura da crosta determina fortemente a proporção de fusão da heterogeneidade em função do manto peridotítico normal. As bacias sedimentares oceânicas possuem uma contribuição entre 0 e 50% de piroxenito, valor muito menor quando comparado com a amplitude de 20 a cerca de 80% encontrada no contexto continental.

Figura 19 - Heterogeneidade mantélica em termos de porcentagem individual de cada bacia sedimentar com ênfase em seu contexto geológico e geotectônico a partir do índice FC3MS.



Contudo, prova-se que a espessura não é o único agente envolvido nesta distinção já que o contexto de bacias pós-colisionais, teoricamente aquelas com a maior espessura crustal associada, não é o detentor dos maiores valores de porcentagens, o que ocorre nos contextos de retroarco continental. Outra corroboração é o fato de que as bacias de rifte, apesar de localizadas em contexto continental, possuem valores de porcentagens comparáveis e até inferiores aos valores de algumas bacias oceânicas.

Pode-se identificar que outro parâmetro influente na divisão da heterogeneidade mantélica nas bacias é a evidência de subducção. Isso explica o motivo de as bacias sedimentares relacionadas com riftes continentais possuírem valores menores que os atribuídos aos contextos oceânicos.

Quanto às bacias sedimentares de contextos tectônicos pós-colisionais, a presença de evidências subducção, mesmo que apenas como fragmentos abandonados da crosta subductada ou pela simples modificação do manto por processos relacionados à subducção. Contudo, abre-se espaço também para a proposta de delaminação da crosta inferior, já espessada pela colisão associada.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados analisados em conjunto com os diagramas e com o histograma nos permitem sugerir que a heterogeneidade mantélica é um fator não apenas característico de magmas relacionados com bacias sedimentares, como altamente influente, determinando muitas vezes uma concentração de 4 a 84% da derivação mantélica dos eventos magmáticos.

Pôde-se observar também que os dentre os parâmetros que regulam a heterogeneidade mantélica, os mais importantes são a espessura crustal e seus agentes formadores, principalmente a subducção, apesar de que também se abre espaço para a discussão dos fenômenos de delaminação.

Sugere-se futuramente uma pesquisa mais profunda a respeito dos mecanismos geradores de heterogeneidade mantélica e sua influência na geração de magmas, como por exemplo os fenômenos de delaminação.

9. REFERÊNCIAS

Allen, Phillip A. e Allen John R. **Basin Analysis: Principles and Applications**. Blackwell publishing, ISBN-13: 978-0-632-05207-3, 2005.

Almeida, D. del P.M. de, Zeffass, H. and Lima, L. **Estratigrafia das rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho (meso-cambriano a eo-**

ordoviciano) na região dos Cerros do Bugio e Perau (Caçapava do sul, RS/Brasil). 2 Congresso Uruguaio Geologia de Punta del Este, Uruguai, v. 1, pp. 92-95, 1998.

Almeida, D.P.M., Zerfass, H. and Basei, M.A.S. **Mineralogia, Geoquímica e Novas Idades para o vulcanismo ácido da Bacia do Camaquã.** Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Brazil, v. 39, pp. 19-21, 1996.

Almeida, Delia del Pilar M.; Conceição, Rommulo V.; Chemale Jr., Farid; Koester, Edinei; Borba, André W. and Petry, Karla. **Evolution of Heterogeneous Mantle in the Acampamento Velho and Rodeio Velho Volcanic Events, Camaquã Basin, Southern Brazil.** Gondwana Research, vol. 8, No. 4, pp. 479-492, 2005.

Almeida, Delia del Pilar Montecinos; Chemale Jr., Farid and Machado, Adriane. **Late to Post-Orogenic Brasiliano-Pan-African Volcano-Sedimentary Basins in the Dom Feliciano Belt, Southernmost Brazil.** Ismail Al-Juboury, Ali (Ed.), Petrology e New Perspectives and Applications, vol. InTech e Open Access Publisher, Rijeka, pp. 73-130, 2012.

Asiabanha, Abbas e Foden, John. **Post-collisional transition from an extensional volcano-sedimentary basin to a continental arc in the Alborz Ranges, N-Iran.** Lithos 148, 98–111, 2012.

Barredo, S., Chemale Jr, F., Marsicano, C., Ávila, J. N., Ottone, G. E. and Ramos, V. **Tectono-sequence stratigraphy and U-Pb zircon ages of the Rincon Blanco Depocenter, northern Cuyo Rift.** Gondwana Research 21: 624-636, 2012.

Bradshaw, T.K. ; Hawkesworth, C.J.; Gallagher, K. **Basaltic volcanism in the Southern Basin and Range: no role for a mantle plume.** Earth and Planetary Science Letters, 116, 45-62, 1993.

Brunelli, Daniele; Cipriani, Anna e Bonatti, Enrico. **Thermal effects of pyroxenites on mantle melting below mid-ocean ridges.** Nature Geosciences, 2018.

Day, James M.D.; Pearson, D. Graham; Macpherson, Colin G.; Lowry, David and Carracedo, Juan-Carlos. **Pyroxenite-rich mantle formed by recycled oceanic lithosphere: Oxygen-osmium isotope evidence from Canary Island lavas.** Geology, v. 37; no. 6; p. 555–558; 2009.

Doroozi, Roghieh; Vaccaro, Carmela; Masoudi, Fariborz; e Petrini, Riccardo. **Cretaceous alkaline volcanism in south Marzanabad, northern central Alborz, Iran: Geochemistry and petrogenesis.** Geoscience Frontiers 7, 937e951, 2016.

Eaton, Gordon P. **The Basin and Range Province: Origin and tectonic significance.** Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 10:409-40, 1982.

Falloon, T. J.; Malahoff, A.; Zonenshain, L.P. e Bogdanov, Y. **Petrology and Geochemistry of Back-Arc Basin Basalts from Lau Basin Spreading Ridges at 15 °, 18 ° and 19°S.** Mineralogy and Petrology, 47:1-35, 1992.

Fragoso-Cesar, Antonio Romalino Santos; Lavina, Ernesto Luiz; Paim, Paulo Sérgio Gomes, Faccini, Ubiratan Ferruccio. **A antefossa molássica do cinturão Dom Feliciano no escudo do Rio Grande do Sul.** 1984, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro: SBG, 1984.

Grotzinger, John; Jordan, Tom e Abreu, Iuri Duquia. **Para entender a Terra.** Bookman Companhia Ed, ISBN: 9788565837774, 2006.

Guivel, Christèle; Morata, Diego; Pelleter, Ewan; Espinoza, Felipe; Maury, René C.; Lagabriele, Yves; Polvé, Mireille; Bellon, Hervé; Cotton, Joseph; Benoit, Mathieu; Suarez, Manuel e De la Cruz, Rita. **Miocene to Late Quaternary Patagonian basalts (46–478S): Geochronometric and geochemical evidence for slab tearing due to active spreading ridge subduction.** Journal of Volcanology and Geothermal Research 149, 346 – 370, 2006.

Heinonen, Jussi S.; Luttinen, Arto V.; Riley, Teal R. e Michallik, Radoslaw M. **Mixed pyroxenite–peridotite sources for mafic and ultramafic dikes from the Antarctic segment of the Karoo continental flood basalt province.** Lithos, 177, 366–380, 2013.

Hirschmann, Marc M. and Stolper, Edward M. **A possible role for garnet pyroxenite in the origin of the “garnet signature” in MORB.** Contrib Mineral Petrol, 124:185—208, 1996.

Janikian, Liliane; Almeida, Renato Paes; Fragoso-Cesar, Antonio Romalino Santos; Martins, Veridiana Teixeira de Souza; Dantas, Elton Luiz; Tohver, Eric; McReath, Ian; D'Agrella-Filho, Manoel Souza. **Ages (U–Pb SHRIMP and LA ICPMS) and stratigraphic evolution of the Neoproterozoic volcano-sedimentary successions from the extensional Camaquã Basin, Southern Brazil.** Gondwana Research, vol. 21, 466–482, 2012.

Kearey, Philip; Klepeis, Keith A. e Vine, Frederick J. **Tectônica Global.** ISBN: 978-85-8260-135-8, 2013.

Keller, Randall A.; Fisk, Martin R.; Smellie, John L.; Strelin, Jorge A. e Lawver, Lawrence A. **Geochemistry of back arc basin volcanism in Bransfield Strait, Antarctica: Subducted contributions and along-axis variations.** Journal of Geophysical Research, vol. 107, nº. B8, 2171, 10.1029/2001JB000444, 2002.

Lambart, S.; Laporte, D.; Provost, A. and Schiano, P. **Fate of Pyroxenite-derived Melts in the Peridotitic Mantle: Thermodynamic and Experimental Constraints.** Journal of Petrology, vol. 53, nº 3, pgs. 451-476, 2012.

Lambart, Sarah; Laporte, Didier and Schiano, Pierre. **Markers of the pyroxenite contribution in the major-element compositions of oceanic basalts: Review of the experimental constraints.** Lithos, 160–161, 14–36, 2013.

Lee, Cin-Ty A• and Anderson, Don L. **Continental crust formation at arcs, the arclogite “delamination” cycle, and one origin for fertile melting anomalies in the mantle.** Sci. Bull., 60(13):1141–1156, 2015.

Liu, Chaoyang; Shan, Xuanlong; Yi, Jian; Shi, Yunqian e Ventura, Guido. **Volcanism at the end of continental rifting: The Cretaceous syn-rift to post-rift transition in the Songliao Basin (NE China)**. *Gondwana Research* 111, 174–188, 2022.

Lopes, R.W., Fontana, E., Mexias, A.S., Gomes, M.E.B., Nardi, L.V.S., Renac, C. **Caracterização petrográfica e geoquímica da sequência magmática da Mina do Seival, Formação Hilário (Bacia do Camaquã - neoproterozoico), Rio Grande do Sul, Brasil**. *Pesquisas em Geociências* 41 (1), 51, e64, 2014.

Mallik, Ananya e Dasgupta, Rajdeep. **Reaction between MORB-eclogite derived melts and fertile peridotite and generation of ocean island basalts**. *Earth and Planetary Science Letters* 329–330, 97–108, 2012.

Martynov, Alexey Y.; Kimura, Jun-Ichi; Martunov, Yuri A. e Rybin, Aleksander V. **Geochemistry of late Cenozoic lavas on Kunashir Island, Kurile Arc**. *Island Arc*, 19, 86–104, 2010.

Matté, Vinicius; Sommer, Carlos Augusto; Lima, Evandro Fernandes; Philipp, Ruy Paulo and Basei, Miguel Angelo Stipp. **Post-collisional Ediacaran volcanism in oriental Ramada Plateau, southern Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 71, 201e222, 2016.

Matzen, Andrew K.; Wood, Bernard J.; Baker, Michael B. and Stolper, Edward M. **The roles of pyroxenite and peridotite in the mantle sources of oceanic basalts**. *Nature Geoscience*, advance online publication, 2017.

Mcdonald, Ray. **Magmatism of the Kenya Rift Valley: a review**. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 93, 239-253, 2003.

Nardi, Lauro V.S. and Bonin, Bernard. **Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil-A case study**. *Chemical Geology*, 92, 197-211, 1991.

Ortega-Gutiérrez, Fernando;Gómez-Tuena, Arturo; Elías-Herrera, Mariano; Solari, Luigi A.; Reyes-Salas, Margarita e Macías-Romo, Consuelo. **Petrology and geochemistry of the Valle de Santiago lower-crust xenoliths: Young tectonothermal processes beneath the central Trans-Mexican volcanic belt**. *Geological Society of America*, 2014.

Pearce, Julian A.; Stern, Robert J.; Bloomer, Sherman H. e Fryer, Patty. **Geochemical mapping of the Mariana arc-basin system: Implications for the nature and distribution of subduction components**. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Volume 6, Number 7, 2005.

Petermann, Maik e Hirschmann Mark M. **Anhydrous Partial Melting Experiments on MORB-like Eclogite: Phase Relations, Phase Compositions and Mineral-Melt Partitioning of Major Elements at 2-3 GPa**. *Journal of Petrology*, vol. 44, 12, 2173-2201, 2003.

Petrini, R.; Civetta, L.; Piccirillo, E.M.; Bellieni, G.; Comin-Chiaramonti, P.; Masques, L.S. & Melfi, A.J. **Mantle Heterogeneity and Crustal Contamination in the Genesis of Low-Ti Continental Flood Basalts from the Parana Plateau (Brazil): Sr-Nd Isotope and Geochemical Evidence.** *Journal of Petrology*, vol. 28, Pin 4, pp 701-726, 1987.

Petrone, Chiara M. e Ferrari, Luca. **Quaternary adakite—Nb-enriched basalt association in the western Trans-Mexican Volcanic Belt: is there any slab melt evidence?** *Contrib Mineral Petrol*, 156:73–86, 2008.

Pluijm, Ben A. van der e Marshak, Stephen. **Earth Structure.** ISBN 0-393-92467-X, 1955.

Ramos, Victor A. & Kay, Suzanne Mahlburg. **Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina.** Geological Society of America, 1991.

Roex, Anton P. le; Späth, Andreas e Zartman, Robert E. **Lithospheric thickness beneath the southern Kenya Rift: implications from basalt geochemistry.** *Contributions Mineral Petrology*, 142: 89-106, 2001.

Sepidbar, Fatemeh; Mirnejad, Hassan; Ma, Changqian e Moghadam, Hadi Shafaii. **Identification of Eocene-Oligocene magmatic pulses associated with flare-up in east Iran: Timing and sources.** *Gondwana Research* 57, 141–156, 2018.

Søager, Nina e Holm, Paul Martin. **Melt–peridotite reactions in upwelling eclogite bodies: Constraints from EM1-type alkaline basalts in Payenia, Argentina.** *Chemical Geology* 360–361, 204–219, 2013.

Sobolev, Alexander V.; Hofmann, Albrecht W.; Kuzmin, Dmitry V.; Yaxley, Gregory M.; Arndt, Nicholas T.; Chung, Sun-Lin; Danyushevsky, Leonid V.; Elliott, Tim; Frey, Frederick A.; Garcia, Michael O.; Gurenko, Andrey A.; Kamenetsky, Vadim S.; Kerr, Andrew C.; Krivolutsкая, Nadezhda A.; Matvienkov, Vladimir V.; Nikogosian, Igor K.; Rocholl, Alexander; Sigurdsson, Ingvar A.; Sushchevskaya, Nadezhda M. e Teklay, Mengist. **The Amount of Recycled Crust in Sources of Mantle-Derived Melts.** *Science*, vol. 316, 2007.

Sobolev, Alexander V.; Hofmann, Albrecht W.; Sobolev, Stephan V. e Nikogosian, Igor K. **An olivine-free mantle source of Hawaiian shield basalts.** *Nature*, vol. 434, 2005.

Teixeira, Wilson; Toledo, M. Cristina Motta de; Fairchild, Thomas Rich e Taioli, Fabio. **Decifrando a Terra.** Companhia Editora Nacional, ISBN-10 8504014398, 2009.

Tuena, Arturo Gómez; LaGatta, Alexandra B.; Langmuir, Charles H.; Goldstein, Steven L.; Gutiérrez, Fernando Ortega e Núñez, Gerardo Carrasco. **Temporal control of subduction magmatism in the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Mantle sources, slab contributions, and crustal contamination.** *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Volume 4, Number 8, 2003.

Turner, S., Arnaud, N., Liu, J., Rogers, N., Hawkesworth, C., Harris, N., Kelley, S., van Calsteren, P., e Deng, W. M. **Postcollisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island Basalts.** *Journal of Petrology*, v. 37, p. 45–71.1996.

Valentine, Greg A. e Perry, Frank V. **Tectonically controlled, time-predictable basaltic volcanism from a lithospheric mantle source (central Basin and Range Province, USA).** *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 201–216, 2007.

Wildner, W.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S and Sommer,C.A. **Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic Ill to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism.** *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 118, 261-283, 2002.

Wildner, Wilson; Nardi, Lauro Valentim Stoll and Lima, Evandro Fernandes. **Post-Collisional Alkaline Magmatism on the Taquarembó Plateau: A WellPreserved Neoproterozoic–Cambrian Plutono-volcanic Association in Southern Brazil.** *International Geology Review*, Vol. 41., p. 1082-1098, 1999.

Willbold, Matthias and Stracke, Andreas. **Formation of enriched mantle components by recycling of upper and lower continental crust.** *Chemical Geology* 276, 188–197, 2010.

Yang, Zong-Feng & Zhou, Jun-Hong. **Can we identify source lithology of basalt?** *Scientific Reports*, 3 : 1856, 2013.

Zhu, Di-Cheng; Pan, Gui-Tang; Chung, Sun-Lin; Liao, Zhong-Li; Wang, Li-Quan e Li, Guang-Ming. **SHRIMP Zircon Age and Geochemical Constraints on the Origin of Lower Jurassic Volcanic Rocks from the Yeba Formation, Southern Gangdese, South Tibet.** *International Geology Review*, 50:5, 442-471, 2008.

10. APÊNDICE

10.1. Bacias continentais

Tipo	Bacia	Fonte	Amostras	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	FC3MS	Xpx. tot. (%)
Back-arc	Cuyo	Ramos & Kay (1991)	PA3	47.76	11.58	9.82	8.48	0.65	84.61
			PA2	47.57	11.88	9.46	8.71	0.71	
			PA1	40.81	7.24	16.40	7.96	-0.14	
			PA4	48.21	10.77	9.19	7.49	0.71	
			PA7	49.99	12.99	4.47	1.82	2.80	
		Martina et al. (2021)	MDZ017	46.51	11.03	9.17	7.99	0.69	
			M61	50.2	9.85	6.85	2.70	1.28	
		Orellano et al. (2019)	M67	47.38	10.81	9.16	7.73	0.69	
			M72	48.59	9.24	6.88	3.53	1.13	
			M87	47.07	9.99	6.90	4.07	1.19	
			M106	50.4	10.96	3.38	3.08	3.06	
			M141	51.21	8.72	5.86	2.21	1.36	
		Gn8	48.28	12.91	4.84	2.79	2.49		
		Back-arc	Norte da Patagônia	Søager & Holm (2013)	GA 40	48.41	10.09	7.98	
GA 18A	46.76				10.35	8.27	10.28	0.59	
GA 47	46.14				10.91	7.61	10.85	0.73	
GA 48L	44.97				10.96	7.34	10.91	0.77	
GA 48B	45.25				10.85	7.55	10.79	0.72	
GA 23	47.87				10.61	8.26	10.57	0.62	
GA 32	47.95				10.68	7.63	10.56	0.74	
GA 29	48.30				10.21	7.46	10.11	0.74	
GA 34	48.43				10.08	7.37	10.00	0.75	
GA 3E	47.13				10.32	6.84	10.30	0.85	
GA 29/R	48.34				10.24	7.49	10.13	0.74	
GA 36	46.17				11.31	8.09	11.19	0.67	
GA 55	47.95				10.00	7.90	9.80	0.65	
GA 53	46.66				10.60	8.27	10.50	0.61	
GA 58	47.19				9.89	8.46	9.79	0.55	
GA 57	47.16				9.76	8.13	9.82	0.58	
GA 49	47.36				10.14	8.56	10.04	0.55	
GA 56	47.01				9.87	8.09	9.91	0.59	
GA 51	46.17	10.42	7.61	10.34	0.70				
TC59	52.59	8.53	6.63	8.53	0.80				

Back-arc	Sul da Patagônia	Guivel et al. (2006)	PG143	48.50	9.27	8.45	6.42	0.70	61.54
			PG65	47.00	10.39	9.65	8.37	0.54	
			PG67	47.35	10.28	9.60	9.40	0.48	
			PG75	50.00	9.59	9.10	5.66	0.71	
			PG105	47.90	9.31	8.65	8.54	0.54	
			PG113	48.30	10.44	9.60	7.15	0.64	
			PG114	47.15	9.32	10.00	10.40	0.27	
			PG133	51.80	11.79	5.75	2.63	1.90	
			PG51	48.80	9.72	8.20	7.03	0.75	
			PG52	48.70	11.62	8.60	4.92	1.05	
			PG69	47.75	9.69	9.05	6.28	0.68	
			PG72	47.80	10.73	8.00	4.78	1.04	
			PG108	47.50	10.71	9.85	7.12	0.64	
			PG109	47.00	10.75	9.60	7.45	0.64	
			PG116	47.10	10.75	9.55	7.03	0.68	
			PG119	47.20	10.84	9.32	7.40	0.69	
			PG120	47.20	10.80	9.90	7.40	0.62	
			PG130	49.00	11.88	6.85	3.85	1.50	
			PG134	48.50	9.67	7.72	7.01	0.82	
			PG44	45.90	9.72	8.15	8.10	0.66	
			PG121	46.85	9.67	9.70	5.37	0.65	
			PG41	43.50	10.87	10.60	10.30	0.32	
			PG46	44.50	10.93	9.40	10.14	0.48	
PG50	46.00	10.35	9.42	8.80	0.52				
PG123	47.80	9.36	7.42	7.05	0.82				
PG126	47.60	10.58	9.55	4.54	0.82				
PG127	48.10	10.21	6.70	5.87	1.16				
Back-arc	Trans-Mexican Volcanic Belt	Ferrari et al. (2001)	SPC 74	46.39	7.43	10.80	6.63	0.26	58.82
			SPC 155	48.72	3.88	8.81	7.40	-0.02	
			SPC 15	53.50	3.13	7.09	3.48	0.25	
			SPC 10	51.01	1.44	8.20	5.61	-0.15	
			GC6-325	50.01	10.68	7.32	5.64	1.12	
		Gutiérrez et al. (2014)	MG-05-13	48.50	11.52	7.60	4.90	1.21	
			MG-05-14	49.50	11.16	6.50	3.80	1.49	
			MG-05-15	48.90	13.50	6.40	3.50	1.89	
			MG-05-16b	49.70	12.33	6.30	3.70	1.73	
		Gómez-Tuena et al. (2003)	PS-99-21	50.77	8.21	8.20	4.14	0.76	
			PS-99-30A	50.06	8.78	9.07	4.81	0.68	
			PS-99-31	48.24	7.27	9.58	2.90	0.58	
			PS-99-37	49.71	8.41	9.94	10.26	0.23	
			PS-99-14	46.38	10.56	10.49	7.97	0.49	
			PS-99-19	44.89	9.94	9.00	4.67	0.79	
			PS-99-25	45.65	11.69	9.00	7.27	0.82	
			PS-99-35	44.31	11.27	11.35	8.53	0.42	
PS-99-26	48.20	10.19	9.35	4.42	0.81				

Post-Collisional	Camaquã	Almeida et al. (1996, 2005)	RLP-7	44.33	12.54	9.22	9.92	0.69	75
			PH-3	50.14	10.47	7.40	4.35	1.15	
			RLP-17	46.84	10.93	8.26	3.68	1.09	
			PH-5	48.55	8.79	7.64	0.34	1.13	
			SSB-7	48.84	8.76	4.96	4.20	1.51	
		MH9	47.05	7.96	6.31	5.57	0.91		
		VM07A	49.13	11.62	10.67	4.33	0.82		
		RM15A	47.29	13.86	8.68	4.02	1.34		
		RM27A	47.73	11.18	8.50	4.52	1.03		
		RM57E	45.91	11.52	9.27	4.54	0.95		
		RM88B	46.16	10.84	9.38	2.99	0.96		
		RM317A	48.19	12.16	8.50	4.16	1.17		
		RFM 48	48.80	6.85	8.44	4.40	0.54		
		RFM 89	49.74	5.58	10.52	2.82	0.36		
Almeida et al. (2012)	CPQO-1-HL	46.75	4.87	6.62	4.68	0.44			
	CPQO-791-HL	48.21	10.93	6.68	4.65	1.35			
Lopes et al. (2014)	lampo5	46.39	7.10	8.53	6.94	0.38			
Post-Collisional	Alborz, Iran	Asiabanha & Foden (2012)	B9	48.30	9.04	10.55	8.09	0.35	71.43
			BA-9-1	49.80	8.41	10.35	5.44	0.49	
			BA-11-1	50.10	8.86	9.56	5.94	0.57	
			BA-13-2a	50.70	9.72	9.36	4.95	0.75	
			G.02	51.92	8.00	8.38	4.80	0.68	
			M14	49.21	7.92	8.43	3.38	0.73	
			S12	51.96	6.61	6.24	2.10	0.94	
			M11	45.42	14.63	10.47	10.10	0.73	
			S3	45.86	14.17	10.36	9.94	0.72	
			BA-13-1b	48.00	9.09	9.83	13.65	0.07	
			Doroozi et al. (2016)	CA21	48.08	10.89	10.61	5.11	
		CA18		42.91	15.66	10.67	7.26	0.96	
		RD14		47.75	10.91	9.32	10.31	0.52	
		RD114		42.45	15.44	9.82	7.33	1.05	
		CA23		46.53	11.38	10.42	7.92	0.58	
		RD109		45.92	11.60	10.42	7.07	0.65	
		RD150		45.27	11.60	8.92	11.68	0.53	
		RD57		51.18	8.64	8.56	4.45	0.75	
		RD101		44.54	14.71	9.79	7.18	1.02	
		RD111		46.42	12.05	10.98	4.60	0.80	
		RD113		46.42	12.05	10.98	4.60	0.80	
		RD104		46.90	12.13	8.99	5.10	1.02	
		Post-Collisional	Sul do Tibet	Zhu et al. (2008)	BD01	42.30	10.83	7.50	
BD21	40.90				8.65	13.17	7.84	0.08	
DZ13-1	50.36				7.92	7.75	7.84	0.55	
DZ07-2	47.40				7.07	8.38	7.45	0.37	
BD04-1	47.56				10.37	5.11	7.39	1.56	
BD13	48.66				8.86	10.54	6.41	0.45	
BD16	47.40				8.78	12.31	5.86	0.34	
YB5-2	50.50				9.02	3.37	6.68	2.28	
YB5-3	48.22				10.24	3.67	6.64	2.38	
DZ11-1	46.86				9.05	6.75	6.08	0.95	
BD05	46.38				11.51	10.85	3.13	0.86	
BD08	48.52				8.87	11.53	7.96	0.28	
BD19	49.56				8.73	5.62	6.55	1.16	
YB5-1	46.94				9.90	6.32	2.09	1.43	

Post-Collisional	Songliao	Liu et al. (2023)	SN185-2111	45.45	4.13	7.25	6.07	0.17	77.78
			SN180-2709	47.11	7.14	6.27	4.16	0.87	
			S1-2410	47.77	5.18	7.47	3.93	0.45	
			SN110-2243	50.44	4.06	4.59	4.16	0.64	
			SN110-2244	51.96	3.25	4.13	2.68	0.63	
			X1-4411-2	49.22	11.07	4.01	6.07	2.39	
			X1-4411-1	49.21	11.06	4.00	6.05	2.40	
			CQ19	46.25	16.28	4.33	5.53	3.40	
			CC5	47.14	10.25	8.78	6.12	0.78	
			FK11-145	51.53	11.03	7.04	2.59	1.42	
			D1-4581-2	46.74	10.98	6.29	8.86	1.18	
		D1-4581-1	46.72	10.99	6.29	8.87	1.18		
		Liu et al. (2022)	B218-3612	49.77	10.07	7.51	1.94	1.22	
			B218-3601	50.86	10.15	4.62	1.27	2.12	
			SN187-2435.29	46.36	14.13	6.66	3.11	1.92	
			SN116-2710.4	46.24	13.08	8.87	4.28	1.20	
			SH1-4a	48.07	13.54	4.50	4.06	2.76	
			SN180-1a	51.42	9.31	4.32	1.73	2.05	
			SN102-3a	50.99	10.29	4.11	4.00	2.27	

10.2. Bacias oceânicas

Tipo	Bacia	Fonte	Amostras	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	FC3MS	Xpx. tot. (%)
Back-arc	Mariana	Pearce et al. (2005)	31 291 5R-2 31-33	48.50	10.55	12.47	5.93	0.48	50
			31 291 5R-2 129-132	48.52	10.09	12.67	6.65	0.39	
			31 292 42R-2 69-71	49.60	12.30	8.99	5.11	1.06	
			31 292 45R-2 80-82	48.36	13.37	10.04	3.56	1.11	
			31 292 46R-1 88-90	49.31	11.34	9.39	5.01	0.90	
			31 294 7R-1 101-103	48.37	7.04	10.32	4.65	0.39	
			59 447A 17R-3 129-132	50.22	10.12	12.08	7.51	0.39	
			59 447A 18R-1 83-85	50.65	9.62	11.84	7.54	0.37	
			59 447A 22R-3 18-20	50.69	9.37	11.87	9.35	0.24	
			59 447A 25R-1 58-60	46.93	8.23	11.15	10.28	0.08	
			SMT 10-11	51.88	9.43	10.42	5.85	0.57	
			SMT 10-12	50.90	9.23	11.04	6.58	0.45	
			SMT 12-3	50.96	7.89	11.50	6.86	0.28	
			SMT 13	51.25	7.51	11.06	7.20	0.26	
			SMT 4-10	51.45	7.84	11.17	7.25	0.28	
			SSP	51.57	7.87	11.07	6.11	0.36	
			NNSP	51.38	8.61	9.43	4.46	0.65	

Back-arc	Bransfield Strait, Antarctic	Keller et al. (2002)	D2G	49.04	8.77	11.61	7.61	0.29	6.67
			D3C	51.14	9.31	10.87	6.03	0.50	
			D4D	51.91	10.54	9.23	4.80	0.86	
			D6D	50.11	8.09	10.60	11.21	0.09	
			D7A	51.51	0.69	11.95	7.33	-0.37	
			D8F	50.81	8.58	10.19	8.84	0.32	
			D10A	48.29	8.56	8.58	17.57	-0.09	
			D144.4	50.06	8.69	10.71	6.40	0.43	
			D145.3	51.50	8.50	10.61	5.85	0.46	
			D146.1	50.97	8.37	10.42	5.94	0.45	
			D156.4	50.02	8.21	11.12	6.34	0.36	
			P615.1	47.97	7.66	12.70	6.82	0.18	
			P842.9	50.30	2.31	10.48	8.90	-0.31	
			P864.4	49.86	9.66	11.65	6.47	0.44	
			P845.9	46.57	10.82	11.47	5.09	0.62	
P862.4	49.97	9.04	12.46	3.55	0.51				

Back-arc	Lau -Tonga Island	Falloon et al. (1992)	M-2212.2	50.77	8.62	12.51	7.46	0.25	4.17
			M-2212-6	50.52	9.51	11.45	5.38	0.51	
			M-2212-8	49.82	8.28	13.37	7.53	0.17	
			M-2212-11	51.02	9.53	11.26	4.99	0.55	
			M-2218-1	51.38	9.56	11.14	6.88	0.46	
			M-2218-2	51.12	9.49	11.32	7.03	0.43	
			M-2218-3	50.56	9.51	11.51	6.79	0.42	
			M-2218-4	49.57	9.13	11.88	8.40	0.26	
			M-2218-5	51.07	9.59	11.25	6.87	0.45	
			M-2218-7	51.34	9.76	11.39	6.53	0.48	
			M-2218-8	50.90	10.35	10.62	5.99	0.62	
			M-2218-9	50.60	11.56	11.45	6.89	0.60	
			M-2218-10	50.11	8.52	12.46	8.10	0.20	
			M-2218-11	50.14	8.50	12.31	8.12	0.20	
			M-2218-12	51.89	10.82	9.45	5.04	0.85	
			M-2231-1	49.85	10.46	12.02	7.87	0.40	
			M-2231-2	49.64	9.10	11.87	8.24	0.27	
			M-2231-3	50.61	10.51	12.24	7.50	0.41	
			M-2231-5	50.55	11.49	11.35	6.84	0.61	
			M-2231-6	51.04	11.64	11.63	6.95	0.59	
M-2231-7	50.88	11.63	11.24	6.80	0.63				
M-2231-8	50.04	10.69	12.11	7.48	0.43				
M-2231-13	50.60	11.67	11.40	6.85	0.62				
M-2239-1	51.17	10.19	12.08	7.48	0.40				
M-2239-2	51.60	10.27	12.06	7.50	0.42				
Back-arc	Kurile, Russia	Martinov et al. (2010)	P-127/3	50.94	8.56	9.65	7.24	0.46	44.44
			P-127/6	51.26	9.05	8.88	6.22	0.66	
			P-33/2	44.56	12.41	9.00	6.48	0.94	
			P-135/10	50.14	10.35	11.06	3.93	0.70	
			P-71/3	51.87	9.08	7.32	5.12	0.94	
			P-121/2	49.53	8.19	13.74	5.29	0.28	
			P-68/3	50.15	8.27	12.51	5.27	0.35	
			P-151/6	49.36	8.96	12.71	6.28	0.32	
			P-112/14	48.95	10.03	10.07	12.68	0.22	
P-41/2000	49.84	9.58	11.81	5.83	0.46				

10.3. Bacias de rift

Tipo	Bacia	Fonte	Amostras	SiO2	FeO	CaO	MgO	FC3MS	Xpx. tot. (%)
Rift Basin	Kenya	Roex et al. (2001)	KR003	46.86	10.88	12.64	6.42	0.45	30
			KR004	47.79	11.14	12.02	6.79	0.50	
			KR007	46.05	12.36	10.85	6.25	0.73	
			KR020	47.38	10.63	12.71	6.40	0.43	
			KR022	46.36	10.31	13.81	6.80	0.31	
			KR024	47.81	11.37	12.06	6.61	0.53	
			KR028	46.16	10.62	12.29	7.96	0.35	
			KR030	47.62	14.27	8.53	4.39	1.40	
			KR033	47.18	11.06	11.93	7.61	0.44	
			KR034	46.59	10.62	12.14	8.11	0.35	
			KR035	47.76	11.11	12.46	6.65	0.47	
			KR038	47.42	12.38	10.53	6.59	0.76	

Rift Basin	Kenya	Roex et al. (2001)	KR003	46.86	10.88	12.64	6.42	0.45	30
			KR004	47.79	11.14	12.02	6.79	0.50	
			KR007	46.05	12.36	10.85	6.25	0.73	
			KR020	47.38	10.63	12.71	6.40	0.43	
			KR022	46.36	10.31	13.81	6.80	0.31	
			KR024	47.81	11.37	12.06	6.61	0.53	
			KR028	46.16	10.62	12.29	7.96	0.35	
			KR030	47.62	14.27	8.53	4.39	1.40	
			KR033	47.18	11.06	11.93	7.61	0.44	
			KR034	46.59	10.62	12.14	8.11	0.35	
			KR035	47.76	11.11	12.46	6.65	0.47	
			KR038	47.42	12.38	10.53	6.59	0.76	