



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL

TESE DE DOUTORADO

PETROLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS DA PROVÍNCIA
CHAPADA DIAMANTINA-PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL.

LÍLIAN MERCÊS PEREIRA VARJÃO

SALVADOR

2022

**PETROLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS DA PROVÍNCIA
CHAPADA DIAMANTINA-PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL.**

LÍLIAN MERCÊS PEREIRA VARJÃO

Orientadora: Profa. Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal

Co-orientadora: Profa. Dra. Natali da Silva Barbosa

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Geologia, Área de Concentração Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral.

SALVADOR

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

V313 Varjão, Lílian Mercês Pereira

Petrologia dos diques máficos da província Chapada
Diamantina-Paramirim, Bahia, Brasil. – Salvador, 2022.
92 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Ângela Beatriz de Menezes Leal.
Coorientadora: Prof.^a. Dr^a Natali da Silva Barbosa.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2022.

1. Diques Máficos 2. Geoquímica - Isótopos. 3. Magmatismo. 4.
Petrologia. I. Leal, Ângela Beatriz de Menezes, orient. II. Barbosa, Natali
da Silva, coorient. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDU: 552.1(813.8)

LÍLIAN MERCÊS PEREIRA VARJÃO

**“PETROLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS DA PROVÍNCIA
CHAPADA DIAMANTINA-PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL”**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia na área de concentração em Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral em 30/05/2022.

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:

Angela Beatriz de Menezes Leal

Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal (Orientadora -UFBA)

Elson Paiva de Oliveira

Dr. Elson Paiva de Oliveira (UNICAMP)

(Signature)

Dr. Paulo César Corrêa da Costa (UFMT)

Ana Carolina Pinheiro Amorim

Dra. Ana Carolina Pereira Amorim (IFBA)

Michele Cássia P. Santos

Dra. Michele Cássia Pinto Santos (CBPM)

Salvador – BA
2022

LÍLIAN MERCÊS PEREIRA VARJÃO

**PETROLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS DA PROVÍNCIA CHAPADA
DIAMANTINA-PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Geologia, Área de Concentração Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral em 30/05/2022.

TESE APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:

SALVADOR

2022

Dedico este trabalho à minha mãe Dalva, e ao meu pai Antônio.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES- Código de financiamento FAPESB nº 8145/2015. Agradeço à esta instituição por ter concedido apoio logístico e bolsa de auxílio para a pesquisa.

Á Deus, meu mestre, meu paizinho, que me deu equilíbrio diante de alguns momentos de muita dor que foram vividos ao longo deste trabalho, ele me fez levantar e continuar e os espíritos protetores que, sem nenhuma dúvida, me guiaram nessa jornada e me deram o equilíbrio nas horas em que eu mais necessitei, obrigada meu Deus por ter me colocado diante de mais uma tarefa tão linda e desafiadora e ter me dado forças e resiliência para realizá-la.

Á professora Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal, pelo carinho, dedicação, profissionalismo e principalmente por ter acreditado nesse trabalho e ter acreditado em mim e acima de tudo ter me mostrado que sou capaz de driblar as adversidades por maiores que elas sejam e, sobretudo ter feito com que, cada dia, eu me apaixonasse ainda mais pelo estudo das rochas máficas, obrigada sempre. Ao longo deste trabalho os obstáculos não foram poucos, e sempre pude contar com a compreensão da minha orientadora.

Á professora Dra. Natali da Silva Barbosa, pelo carinho, profissionalismo, amizade e por ter acreditado em mim e ter me dado apoio em momentos cruciais do trabalho com presteza e muito boa vontade. Ao longo deste trabalho os obstáculos não foram poucos, e sempre pude contar com a compreensão da minha co-orientadora.

Ao Instituto de Geociências da UFBA e a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) pelo apoio logístico.

Agradeço a minha família espiritual, meus pais que foram escolhidos por Deus para me colocarem neste mundo e sem isso eu jamais estaria nesse momento terminando este trabalho, amo e devo tudo isso à Antônio e Dalva.

Meus irmãos e minhas irmãs, Luciana e Silvana que mais do que irmãs são a figura do amor fraterno e sem a ajuda incondicional de Sil eu não teria conseguido.

As minhas filhas Iasmine e Natália simplesmente o que me faz respirar, as quais Deus me confiou por que sabia que mesmo em meio a tanta turbulência e tanto trabalho, por causa delas eu nunca desistiria e seria uma boa mãe, por elas eu aprendi a fazer as coisas com mais amor.

Em especial agradeço à Iasmine e Natália, aos meus pais Antônio e Dalva e Silvana e Luciana mais uma vez.

RESUMO

Enxames de diques e soleiras máficos ocorrem intrusivos em metassedimentos do Grupo Paraguaçu, na porção sul da Chapada Diamantina (CHD) e no embasamento arqueano na região de Brumado (BG). Este trabalho apresenta os resultados litogeoquímicos e isotópicos com intuito de analisar o comportamento dos elementos durante o processo de diferenciação e definir as características da fonte mantélica. O comportamento dos elementos maiores, traço e terras raras mostram uma evolução magmática semelhante para os dois enxames. O padrão de ETR para ambos os conjuntos demonstra uma distribuição espacial semelhante, típica de magmas toleíticos, podendo sugerir uma única fonte, apesar dos diques BG apresentarem um padrão mais enriquecido do que os da CHD, caracterizando uma fonte mantélica mais diferenciada. A maioria das amostras apresentaram valores de ϵNd elevado em relação ao CHUR. Analisando o fator de fracionamento ficou claro o caráter mantélico dessas rochas. Valores de ϵNd ($t=1,5$ Ga) mostram que os diques da CHD são mais primitivos que os do BG, confirmado também pelos valores de $\text{mg}\#$ (CHD = 0,56 a 0,66 e BG = 0,25 a 0,45) e foram afetados mais intensamente pelo processo de contaminação crustal. A análise integrada dos dados mostra um aumento dos valores de $\text{mg}\#$ em direção ao norte da área de estudo (CHD), possivelmente se aproximando da origem da fonte térmica (pluma) que deu origem ao magmatismo nesse setor com altas taxas de fusão de manto. Os dois conjuntos são típicos toleítos continentais diferenciados de um magma “primitivo”, apresentando um trend de diferenciação rico em ferro.

Palavras-chave: Diques máficos, geoquímica, isótopos.

ABSTRACT

Dyke swarms and mafic sills occur intrusive in metasediments of the Paraguaçu Group, in the southern portion of Chapada Diamantina (CHD) and in the Archean basement in the Brumado region (BG). This work presents the lithogeochemical and isotopic results in order to analyze the behavior of the elements during the differentiation process and define the characteristics of the mantle source. The behavior of the major, trace and rare earth elements (REE) show similar magmatic evolution for the two swarms. The REE pattern for both sets demonstrates a similar spatial distribution, typical of tholeiitic magmas, which may suggest a single source, although the BG dykes present a more enriched pattern than those of the CHD, characterizing a more differentiated mantle source. Most samples showed high ϵNd values in relation to CHUR. Analyzing the fractionation factor, the mantle character of these rocks became clear. ϵNd values ($t=1.5$ Ga) show that the CHD dykes are more primitive than those of the BG, also confirmed by the values of Mg# (CHD = 0.56 to 0.66 and BG = 0.25 to 0.45) and were more intensely affected by the process of crustal contamination. Integrated analysis of the data shows an increase in Mg# values towards the North of the Study Area (CHD), possibly approaching the origin of the thermal source (plume) that gave rise to magmatism in this sector with high rates of mantle melt. The two sets are typical continental tholeiites differentiated from a “primitive” magma, presenting an iron-rich differentiation trend.

Keywords: lithogeochemistry; petrography; mafic dykes; Gavião Block; isotopic geochemistry.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

**CAPÍTULO 2– ARTIGO 1: PETROLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS DA PROVÍNCIA
CHAPADA DIAMANTINA- PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL**

**CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2: EVOLUÇÃO MAGMÁTICA E FONTE MANTÉLICA DA
PROVÍNCIA DE DIQUES MÁFICOS CHAPADA DIAMANTINA PARAMIRIM, BAHIA,
BRASIL.**

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES

APÊNDICE A:

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA DO ARTIGO 1

ANEXO B – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA DO ARTIGO 2

ANEXO C – COMPROVANTE DE ACEITE DO ARTIGO 1

ANEXO D – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO 2

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Os estudos mais aprofundados a respeito dos diques máficos, no Estado da Bahia, foram iniciados em torno de 1985. A evolução desses estudos culminou no agrupamento desses corpos em províncias e ocorrências, com base em suas características químicas, mineralógicas, geocronológicas e posição geográfica (Figura 01). São elas: Província Uauá-Caracatá (PUC), Província Salvador (PS), Ocorrência Feira de Santana–Lamarão (OFSL) Ocorrência São José do Jacuípe-Aroeira (OSJJA), Ocorrência Juazeiro-Sobradinho (OJS), Província Chapada Diamantina-Paramirim (PCD) Província Litorânea (PL), Província Caraíba-Curaçá (PCC), Província Itabuna-Itajú do Colônia (PIIC) e Ocorrência Coronel João Sá (OCJS) Menezes Leal et al., 2012). As províncias mais estudadas estão situadas nas regiões de Uauá, Curaçá, Ilhéus-Oliveira e Salvador (Tanner de Oliveira, 1989; Menezes, 1992; Menezes Leal et al., 1995; Moraes Brito, 1992; Silva, 2018). Nestes casos, os trabalhos objetivaram a compreensão dos processos geodinâmicos e evolução do manto litosférico associados à evolução destas províncias e ocorrências magmáticas e a caracterização da cronologia de eventos crustais associados. O Cráton do São Francisco é uma unidade geotectônica constituída por porções mais interiores e estáveis da litosfera continental diferenciadas desde o arqueano e preserva uma grande resistência mecânica comportando-se de forma peculiar no curso dos processos da dinâmica terrestre (Figura 02). Nele encontra-se uma grande variedade de episódios máficos fissurais e sua ocorrência é bem semelhante a outras regiões cratônicas (e.g. Antártica, Canadá, Finlândia etc.). No geral, estão sempre relacionados a importantes episódios de rifteamento e fragmentação de supercontinentes. A composição destes diques possibilita investigar a natureza da fonte mantélica e os mecanismos tectônicos que lhes deram origem. Os diques são “marcadores” da deformação rúptil-dúctil e rúptil da crosta, se colocam em descontinuidades físicas geradas na crosta terrestre, tais como falhas e fraturas. Desta forma é possível obter elementos geológicos e evidências para que se possa compreender a posição dessas rochas em relação aos eventos tectônicos que ocorreram na área de estudo e fazer considerações a respeito da tectônica da região.

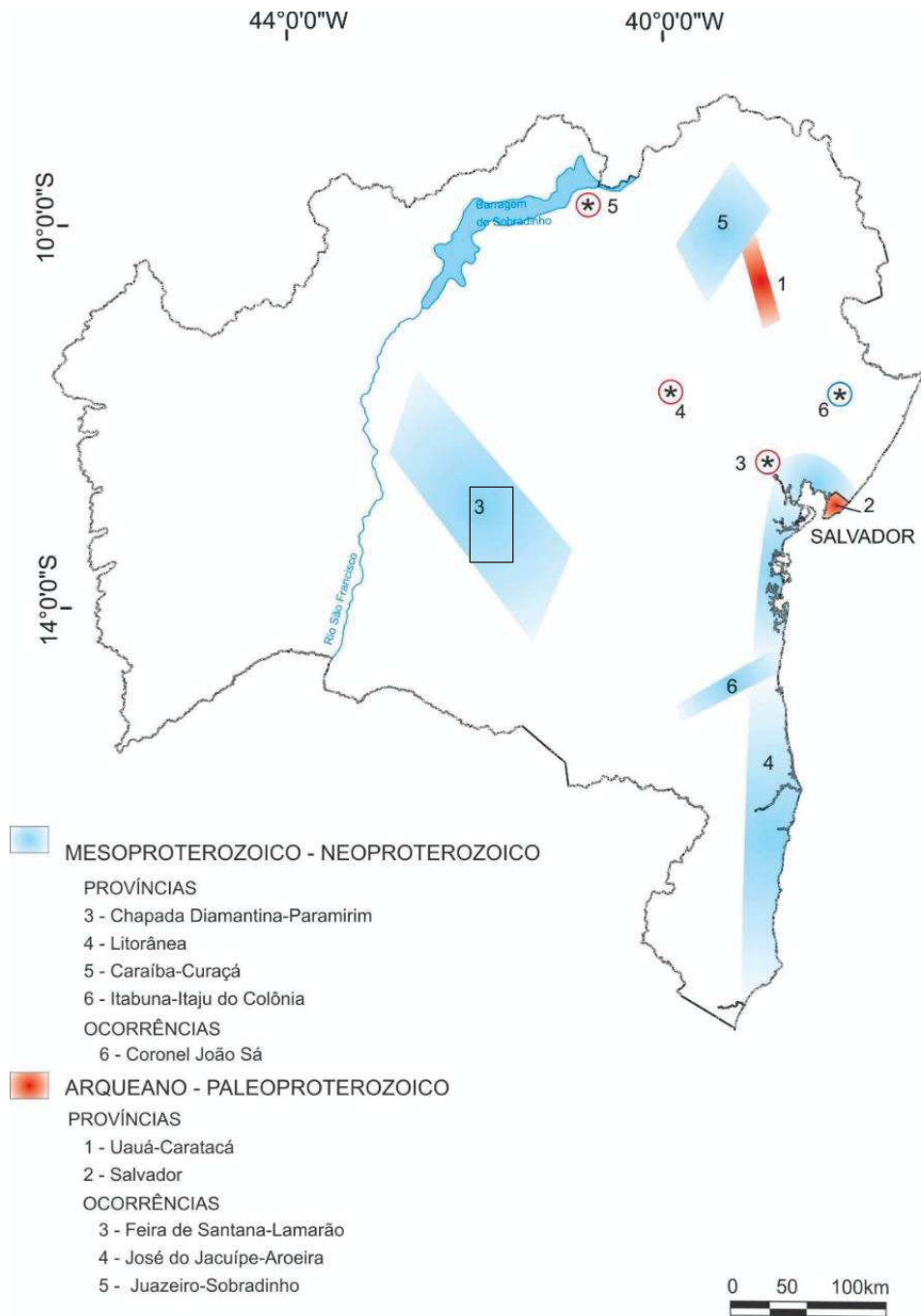


Figura 01. Mapa de Províncias de diques máficos do estado da Bahia, com a localização da área de estudo (polígono em preto). FONTE: Modificado de Menezes Leal et al., 2012.

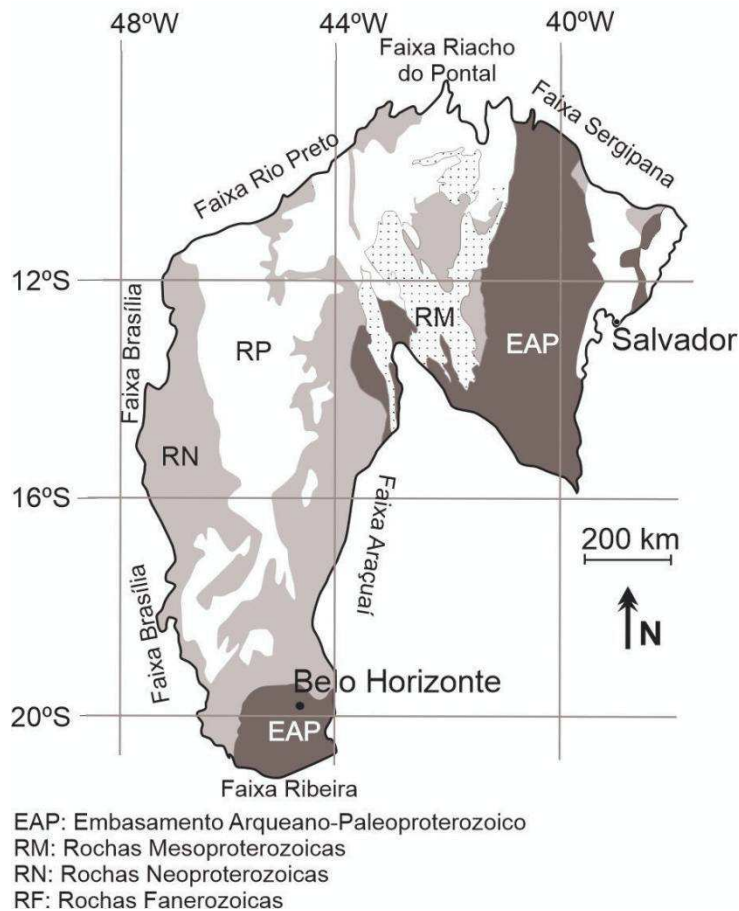


Figura 02. Cráton do São Francisco, adaptado de Alkmim (1996).

Isso se torna factível quando se busca dados que trazem o entendimento e a compreensão das relações entre as estruturas regionais (falhas e fraturas), os enxames de diques, suas deformações internas, bem como, a relação entre estes diques e as rochas plutônicas e vulcânicas da região e ainda se utilizando outras ferramentas como a geoquímica, geocronologia e geoquímica isotópica. As províncias filonianas supracitadas apresentam idades, estilos deformacionais e composições químicas distintas. A província Chapada Diamantina-Paramirim, situada no centro do estado, aloja um dos mais expressivos conjuntos de diques e sills máficos, abrangendo uma área superior a 4.000km². Nesta província estão situados os blocos Gavião constituído por ortognaisses TTG (Tonalito-trondhjemitogranodiorito) arqueanos, bloco do Paramirim constituído por rochas graníticas, paleoproterozoicas e os representantes do supergrupo Espinhaço pertencentes ao Grupo Paraguaçu que consiste em quartzitos arcoseanos, metassiltitos e xistos e ainda o Grupo Borda Leste que consiste em quartzitos mesoproterozoicos. Os trabalhos mais detalhados nos diques e sills intrusivos nos metassedimentos da Chapada Diamantina foram realizados por Menezes Leal et al. (2012), Brito (2005) e Brito (2008) dando ênfase aos aspectos petrográficos e geoquímicos. Brito em 2008 fez uma separação dos tipos

petrográficos de diques no setor Norte desta província e os dividiu em três conjuntos: Diques Básicos (DB), Diques Metabásicos 1 (DMB1) e Diques Metabásicos 2 (DMB2). Os DB correspondem ao conjunto mais preservado do processo metamórfico e apresentam mineralogia e texturas primárias. O conjunto DMB1 é considerado uma fase de transição entre os DB e os DMB2 e o DMB2 apresenta abundância em minerais de alteração e raras texturas ígneas reliquiares. Os diques máficos são de natureza toleítica. Todos os conjuntos apresentam enriquecimento de Rb, Ba, Nb e ETR leves, esse comportamento pode estar associado a características de fonte mantélica e/ou presença de fenômenos secundários (e.g. contaminação crustal). O número de mg# [$MgO/(MgO+FeO)$] varia de 0,56 a 0,66 para os diques da CHD. Tais valores são indicativos de líquidos basálticos evoluídos, pois magmas basálticos primários possuem valores de mg# entre 0,74 a 0,80 (JACQUES & GREEN, 1979; TAKAHASHI & KUSHIRO, 1983). Apesar dos estudos realizados ainda existe uma necessidade correlacionar e integrar os dados de Geocronologia/isótopos, geologia de campo, química mineral e geologia estrutural para contribuir com o conhecimento da história geológica do evento magmático de caráter básico que ocorreu naquela região e, conseqüentemente preencher uma lacuna na história da evolução geológica da Chapada Diamantina. O presente trabalho visa realizar um estudo integrado dos diques máficos intrusivos nos metassedimentos da porção sudoeste da Chapada Diamantina e os diques máficos intrusivos em rochas granulíticas do Bloco Gavião, a partir da integração dos resultados das interpretações dos dados geológicos de campo, petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos, com a finalidade de caracterizar a fonte mantélica que deu origem a essas rochas. Este trabalho vem responder a alguns questionamentos, entre outros, com o intuito de esclarecer e compreender a trajetória evolutiva dessas rochas e os processos que atuaram durante esta trajetória, tais questionamentos são: i) os diques máficos estudados apresentam deformação posterior a sua colocação? ii) do ponto de vista estratigráfico como estão os diques estudados na região? iii) qual a idade desses diques? iv) qual a natureza da fonte mantélica que gerou esses diques? v) qual o contexto tectônico de colocação dessas rochas na área de estudo? vi) Como se processou a evolução magmática dessas rochas? vii) quais as fases deformacionais que atingiram os diques máficos? viii) qual a razão da discrepância entre idades de diques em uma mesma província? ix) os diques máficos da Chapada Diamantina são correlacionáveis com os da região de Brumado? Estes são os principais questionamentos que motivam esse estudo. A área de pesquisa localiza-se na porção sudoeste da Chapada Diamantina que fica a aproximadamente 530 km da capital Salvador, tem como municípios limítrofes á norte Ibitiara, Boquira e Boninal e se estende até o limite sudeste do Bloco Gavião tendo como principais municípios limítrofes á sul Pindaí, Caculé e Aracatú. O acesso até essa região saindo

de Salvador pode ser feito inicialmente partindo através da BR-324, passando pela BR-116 de onde segue-se pela BR-242 em direção ao município de Palmeiras de onde pode-se acessar a área de pesquisa, (figura 04). O objetivo geral deste estudo é caracterizar os diques máficos que ocorrem na região da Chapada Diamantina e no vale do Paramirim através de estudos de campo, petrográficos, geoquímicos, isotópicos, estruturais e geocronológicos com a finalidade de entender e contextualizar essas rochas na evolução tectônica da região. Especificamente para atingir esse objetivo geral é necessário cumprir um plano estratégico com o estudo detalhado de campo através da caracterização geológica das encaixantes e dos diques máficos destacando as suas formas, relações de contato, espessura, dimensão, atitudes, entre outros, a fim de definir a possível existência de diferentes grupos de rochas, caracterizar os aspectos estruturais dos diques máficos com o intuito de entender suas relações com as estruturas regionais, caracterizar o comportamento geoquímico evolutivo dos elementos maiores, traços e terras raras e isótopos, a partir desses dados, definir a característica da fonte mantélica responsável pela formação dessas rochas e determinar a idade dessas rochas. Além disso é necessário entender e definir com o uso da geocronologia e dos isótopos a posição temporal dos diques máficos dentro dos eventos geológicos que ocorreram na região e suas relações com esses eventos. Este estudo contribui para o conhecimento dessas rochas e o entendimento destas no contexto tectônico da região, pois os diques Na qualidade de “marcadores” do ambiente tectônico, os diques máficos representam os melhores registros da história evolutiva do planeta e de uma determinada região. Assim, o reconhecimento de suas relações servirá de apoio para compreender a evolução geológica regional. A importância deste magmatismo fissural é reforçada ainda por diversos autores, a exemplo de Halls (1982), Tanner de Oliveira (1989), Corrêa Gomes (1992) e Menezes Leal et al. (2012), cuja principais ideias são: Fornecem indicações das condições reológicas do meio, são alimentadores e condutores de ascensão magmática do manto para a crosta pois possibilitam a compreensão dos processos tectônicos crustais. Contribuem para o entendimento do magmatismo fissural e são usados como marcadores temporais (dados geocronológicos). Ainda como importância deste estudo destaca-se o fato de que essas rochas são indicadores das fontes mantélicas no tempo geológico e de possíveis associações mineralógicas, permitindo o entendimento da composição do manto litosférico subcontinental, sua evolução e conseqüente variação composicional ao longo do tempo e fases magmáticas envolvidas. A partir deste estudo foi possível entender melhor a história geológica desse evento magmático de caráter básico no que se refere ao comportamento geoquímico dos elementos durante o processo de evolução magmática destas rochas e ainda determinar as características da fonte contribuindo com isso para preencher uma lacuna na história da evolução

geológica da Chapada Diamantina, nesse setor do Cráton do São Francisco. Este trabalho resultou em duas publicações, o artigo intitulado “Geoquímica dos diques máficos de Brumado, porção sudeste do Bloco Gavião, Bahia, Brasil”, publicado na revista USP Série Científica da USP. O segundo artigo intitulado “Evolução Magmática e fonte mantélica da Província de diques máficos Chapada Diamantina Paramirim, Bahia, Brasil”, o qual foi submetido para a revista Pesquisa em Geociências da UFRGS.

Alkmim F.F., Chemale Jr. F., Endo I. 1996. A deformação das coberturas proterozóicas do Cráton do São Francisco e o seu significado tectônico. *Rev. Escola de Minas*, 49:22-38.

Brito, D.C. (2005). *Caracterização petrográfica das rochas basálticas da Chapada Diamantina – Bahia*. Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Monografia de Graduação, 80p.

Brito, D.C. (2008). *Geologia, petrografia e litogeoquímica dos diques máficos que ocorrem na porção sudoeste da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil*. Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Dissertação de Mestrado, 107p.

Corrêa-Gomes L. C. (1992). *Diques máficos: Uma reflexão teórica sobre o tema e o seu uso no entendimento prático da geodinâmica fissural*. Dissertação de Mestrado, IG/UFBa, 196p.

Jacques, A.L., Green, D.H. (1979). Determination of liquid compositions in high-pressure melting of peridotite. *American Mineralogist*, 64:1312-1321.

Halls, H.C. (1982). The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic process. *Geosciences Canada*, 9(3):145-154.

Menezes Leal, A. B., Bellieni, G., Girardi, V. A. V., Bastos Leal, L. R., Teixeira, W., Piccirillo, E. M. (1995). Contribuição ao estudo petrológico e geoquímico dos enxames de diques máficos de Uauá. Bahia. *Geochim. Brasilienses*, 9, 61-90.

Menezes, A.B. (1992). *Contribuição ao estudo petrológico e geoquímico dos enxames de diques máficos de Uauá, Bahia*. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 126p.

Menezes Leal, A. B.; Corrêa-Gomes, L.C.; Guimarães, J.T. (2012). Diques Máficos. In: Barbosa, J.S.F. (Coordenação Geral). *Geologia da Bahia. Pesquisa e Atualização*. Salvador. V.2, pag. 199-231.

Moraes Brito, C. 1992. Caracterização geológica, geoquímica e petrológica dos diques máficos proterozoicos da região de Salvador, Bahia. Dissertação de Mestrado, IAG/USP, 96p.

Silva, S.O. 2018. Caracterização petrológica dos diques máficos da orla de Salvador, Bahia. Salvador. 54p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

Takahashi, E., Kushiro, I. (1983). Melting of dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist*, 68:859-879.

Tanner de Oliveira, (1989) O enxame de diques máficos de Olivença: aspectos geoquímicos e petrogenéticos. São Paulo, 154p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1:GEOQUÍMICA DOS DIQUES MÁFICOS DE BRUMADO, PORÇÃO SUDESTE DO BLOCO GAVIÃO, BAHIA, BRASIL

ARTICLE 1:GEOCHEMISTRY OF MAFIC DYKES FROM BRUMADO SOUTHEAST PORTION OF THE GAVIÃO BLOCK, BAHIA, BRAZIL

Geoquímica dos diques máficos de Brumado, porção sudeste do Bloco Gavião, Bahia, Brasil

Geochemistry of mafic dykes from Brumado southeast portion of the Gavião Block, Bahia, Brazil

Título curto: Diques máficos de Brumado

Lílian Mercês Pereira Varjão

Programa de Pós-Graduação em Geologia - Núcleo de Geologia Básica- Instituto de Geociências -
Universidade Federal da Bahia- Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina,
Salvador - Bahia - Brasil, CEP: 40.170-020 - UFBA, Salvador (BA), Brasil.

lilian.merces@yahoo.com

71 32828589

Angela Beatriz de Menezes Leal

Departamento de Geologia - Programa de Pós-Graduação em Geologia - Instituto de Geociências -
Universidade Federal da Bahia- Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina,
Salvador - Bahia - Brasil, CEP: 40.170-020 - UFBA, Salvador (BA), Brasil.

angelab@ufba.br

71 32828589

Número de Palavras: 5880

Número de Figuras: 12

Total de Tabelas: 1

Geoquímica dos diques máficos de Brumado, porção sudeste do Bloco Gavião, Bahia, Brasil

Geochemistry of mafic dykes of Brumado, southeastern portion of Gavião Block, Bahia, Brazil

Lílian Mercês Pereira Varjão¹ , Angela Beatriz de Menezes Leal¹ 

¹Universidade Federal da Bahia - UFBA, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Núcleo de Geologia Básica, Rua Barão de Jeremoabo, s/n., CEP 40.170-020, Campus Universitário de Ondina, Salvador, BA, BR (lilian.merces@yahoo.com; angelab@ufba.br)

Recebido em 26 de março de 2018; aceito em 9 de agosto de 2019

Resumo

No sudoeste do estado da Bahia, entre as cidades de Brumado e Caetitê e mais a norte próximo às cidades de Tanque Novo, Paramirim, Botuporã, Macaúbas, Novo Horizonte e Ibitiara, ocorrem diques máficos formados em ambiente intraplaca. São toleitos continentais apresentando valores de índice de diferenciação em magnésio (mg#) entre 0,25 e 0,45, indicativos de líquidos magmáticos evoluídos. Plagioclásio e augita predominaram no processo magmático evolutivo, cujos diagramas não mostram alterações significativas por processos secundários. Os diques máficos originaram-se de fonte pouco heterogênea tipo *Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt* (E-MORB), provavelmente com leve contribuição de fluidos tipo *Ocean Island Basalt* (OIB). Os dados geoquímicos sugerem influência significativa da crosta continental inferior na origem da fonte mantélica, não havendo sinais de importante contribuição sedimentar.

Palavras-chave: Litogeoquímica; Petrografia; Diques máficos; Bloco Gavião; Manto.

Abstract

In the southwest of the state of Bahia, between the cities of Brumado and Caetitê and further north near the cities of Tanque Novo, Paramirim, Botuporã, Macaúbas, Novo Horizonte and Ibitiara, there are mafic dykes formed in an intraplate environment. These continental tholeiites with magnesium differentiation index values (mg#) between 0.25 to 0.45, indicative of evolved magmatic liquids. Plagioclase and augite are predominant phases in the magmatic evolutionary process, whose diagrams show no significant alterations by secondary processes. The mafic dikes originated from a somewhat heterogeneous *Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt* (E-MORB) source, probably with a slight contribution of *Ocean Island Basalt* (OIB) fluids. The geochemical data suggest a significant influence of the inferior continental crust on the origin of the mantle source, with no signs of significant sedimentary contribution.

Keywords: Lithogeochemistry; Petrography; Mafic dykes; Gavião Block; Mantle.

INTRODUÇÃO

O estudo das rochas máficas e ultramáficas, apresentadas sob a forma de diques e *sills*, é de grande importância para o entendimento dos processos geodinâmicos e, consequentemente, na reconstituição da história geológica de uma determinada região. Diversas pesquisas realizadas sobre diques máficos evidenciaram a importância e o porquê de se estudar esse magmatismo basáltico fissural (e.g., Halls, 1982; Oliveira e Montes, 1984; Windley, 1984; Halls e Fahrig, 1987). No Brasil, estudos têm se efetuado em áreas cratônicas (e.g., Menezes, 1992; Corrêa-Gomes et al., 1996; Menezes Leal, 1997; Corrêa da Costa, 2003; Corrêa da Costa et al., 2006, 2009; Menezes Leal et al., 2012; Girardi et al., 2011, 2013, 2017; Trindade Netto et al., 2016; Pinheiro Amorim, 2017; Teixeira et al., 2019; Giovanardi et al., 2019), pois essas manifestações de magmatismo preenchem fraturas que revelam condições distensivas na crosta, fornecem indicações das condições reológicas do meio, são alimentadoras e condutoras de ascensão magmática do manto para a crosta, permitem estabelecer as condições que operavam em ambientes intraplaca ou nas margens de placas continentais e contribuem para o entendimento do magmatismo basáltico fissural na história da Terra.

Na porção sudeste do Bloco Gavião (BG), região sudoeste do estado da Bahia, nas circunvizinhanças das cidades de Brumado, e mais a norte próximo às cidades de Tanque Novo, Paramirim, Botuporã, Macaúbas, Novo Horizonte e Ibitiara, afloram diques máficos intrusivos nas rochas do embasamento arqueano. O presente trabalho visou apresentar e discutir os resultados de dados petrográficos (macro e microscópicos) e geoquímicos, por meio dos elementos maiores, traço e terras raras, objetivando contribuir na caracterização da origem dessas rochas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Os diques máficos intrudem rochas ortoderivadas na porção sudoeste do BG, sul do Cráton do São Francisco (Figura 1). O BG expõe um dos mais preservados segmentos de crosta arqueana da Plataforma Sul-Americana, de idade 3,2–3,4 Ga (U-Pb SHRIMP) (Martin et al., 1991; Marinho, 1991; Nutman e Cordani, 1993; Bastos Leal et al., 1998). É constituído de terrenos graníticos-gnáissicos com variáveis graus de migmatização, formado por tonalitos-trondhjemitos, granodioritos (suítes TTG) e granitos metamorfizados na fácies anfibolito. Seu limite oeste é marcado por sistema de cavalcamento dos terrenos graníticos-gnáissicos-migmatíticos arqueanos sobre os sedimentos mesoproterozoicos do Supergrupo Espinhaço; o limite leste é definido por falhamentos de empurrão resultantes da tectônica que transportou os terrenos granulíticos do Bloco Jequié sobre as rochas do *greenstone*

belt Contendas Mirantes; o limite norte é parcialmente coberto por rochas sedimentares representadas pelos Grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina (Supergrupo Espinhaço) e Una (Supergrupo São Francisco); e o limite sul é representado pelo contato com a faixa móvel Araçuaí formados durante o Brasiliano (Bastos Leal, 1998; Bastos Leal et al., 2003). A Figura 2 mostra o mapa geológico simplificado da área de estudo, destacando as principais unidades geológicas da região (CPRM/CBPM, 2003).

A evolução do BG é marcada pela formação de núcleos granitoides a partir de vários episódios de plutonismo TTG com idades variando entre 3,15 e 3,42 Ga (métodos Rb/Sr, Pb-Pb rocha total e monozircão e U-Pb), representado pelos maciços de Sete Voltas, Boa Vista/Mata Verde, Bernarda, Aracatu e Lagoa da Macambira (Santos-Pinto, 1996; Bastos Leal, 1998; Bastos Leal et al., 1998; Barbosa e Sabaté, 2004; Barbosa et al., 2012). Entre 3,1 e 2,5 Ga houve a formação dos *greenstone belts* de Umburanas (Cunha e Fróes, 1994; Menezes Leal et al., 2016) e Contendas Mirante (Marinho, 1991; Arcanjo et al., 2000), e por intrusão de granitoides (Malhada de Pedras e Lagoa da Macambira) há cerca de 2,8 e 2,5 Ga (método Rb-Sr) (Barbosa et al., 2012). Durante o Paleoproterozoico (entre 2,0 e 1,8 Ga — método Rb-Sr), o BG foi deformado e metamorfizado regionalmente e intrudido por granitos de diferentes composições nas unidades arqueanas vulcanossedimentares e nos terrenos gnáissicos-migmatíticos (Menezes Leal et al., 2005; Barbosa et al., 2012). Bastos Leal et al. (1998) sugeriram, por meio de dados isotópicos de Sr e Nd, que esses granitos foram formados por meio da reciclagem de crosta continental primitiva durante a evolução da orogenia Paleoproterozoica. Por fim, durante o Meso e o Neoproterozoico, atividades tectono-metamórficas promoveram a intrusão de diques máficos e o rejuvenescimento isotópico das idades K-Ar e Rb-Sr (Bastos Leal, 1998; Bastos Leal et al., 1998).

Os diques máficos da região de Brumado não foram datados. No entanto, Guimarães et al. (2005) obtiveram idade em torno de 1.496 ± 3.2 Ma nos gabros intrusivos em rochas metassedimentares da Chapada Diamantina, pelo método U-Pb, *Laser Ablation*, em zircão. Silveira et al. (2013) obtiveram idade U-Pb (ID-TIMS) de 1.501 ± 9.1 Ma em badeleita em dique máfico intrusivo nos quartzitos na Formação Mangabeira. Possivelmente, os diques da presente pesquisa são cronocorrelatos aos da Chapada Diamantina, por fazerem parte de um mesmo contexto tectônico de formação.

GEOLOGIA LOCAL E CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Os diques máficos preenchem fraturas distensivas de direção WNW-ESE e encontram-se encaixados em rochas graníticas, gnáissicas e migmatíticas do embasamento arqueano do BG e

no Supergrupo Espinhaço (Brito, 2005, 2008; Pereira, 2007; Pereira Varjão, 2017; Pereira Varjão e Menezes Leal, 2017).

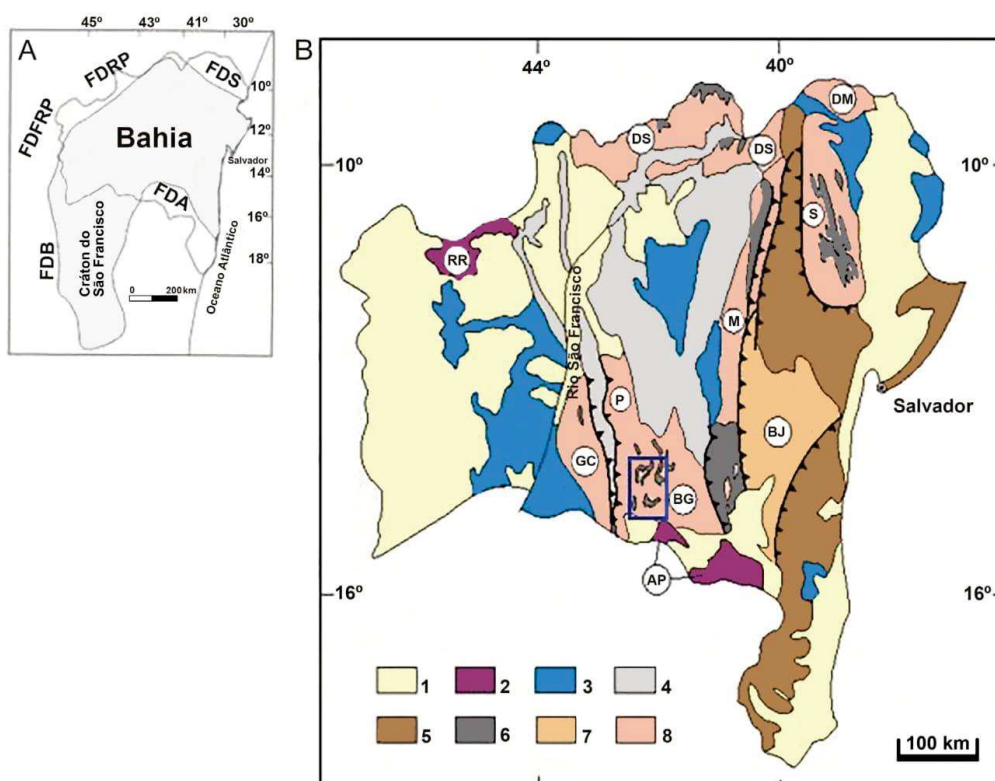
É comum a presença de blocos e matacões (Figura 3A). Por outro lado, o núcleo dessas rochas encontra-se preservado dessa deformação plástica, apresentando crescimento de cristais de plagioclásio, em forma de ripas, sem orientação evidente (Figura 3B).

Predomina a textura subofítica e, subordinadamente, a ofítica e intergranular (Figuras 4A e 4B). São constituídos de plagioclásio e augita compondo os minerais essenciais, seguidos de minerais opacos (magnetita e ilmenita), quartzo, zircão e apatita, como acessórios. Destacam-se em algumas amostras minerais de origem secundária como hornblenda, biotita, clorita, carbonato, mica branca, epidoto e esfeno,

provenientes da desestabilização dos cristais de plagioclásio, piroxênio e minerais opacos formando a paragênese de alteração hidrotermal/deutérica.

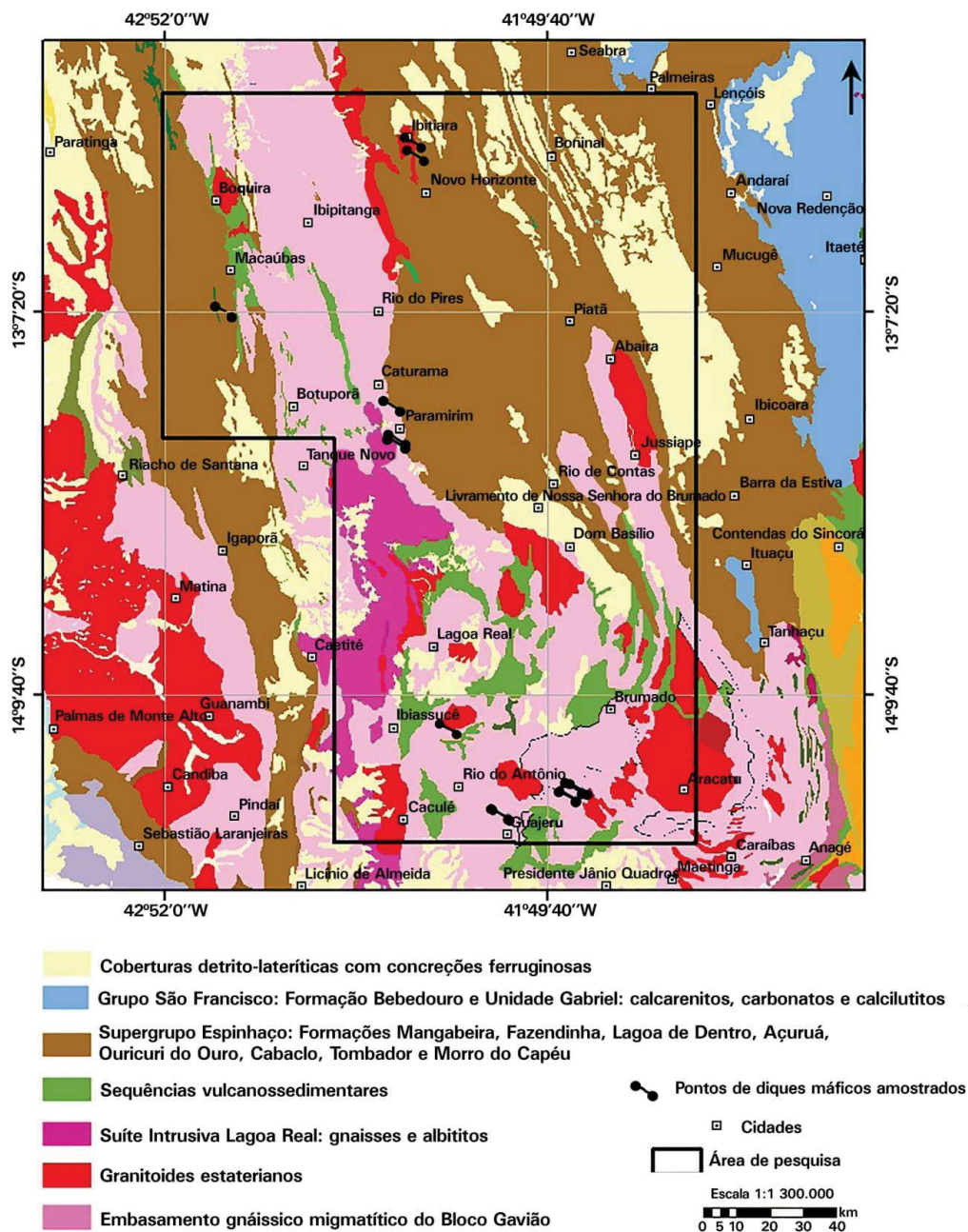
MÉTODOS ANALÍTICOS

Foram selecionadas 15 amostras para a obtenção das concentrações de elementos maiores e traço e dez amostras para determinação dos elementos terras raras. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Fluorescência de Raios X e de Química e Plasma ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer*), do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências



FDB: Faixa de Dobramento Brasília; FDA: Faixa de Dobramento Araçuaí; FDS: Faixa de Dobramento Sergipana; FDFRP: Faixa de Dobramento Formosa do Rio Preto; FDRP: Faixa de Dobramento Riacho do Pontal; 1: coberturas fanerozoicas; 2: faixas de dobramentos (AP: Araçuaí; DS: Sergipana; RR: Formosa do Rio Preto); 3: coberturas plataformais do Neoproterozoico (Supergrupo São Francisco); 4: coberturas plataformais do Mesoproterozoico (Supergrupo Espinhaço); 5: cinturões móveis do Paleoproterozoico; 6: Sequência Sedimentar e Metassedimentar do Arqueano; 7 e 8: Blocos Arqueanos (BJ: Bloco Jequié, BG: Bloco do Gavião; GC: Bloco Guanambi-Correntina; P: Bloco Paramirim; M: Bloco Mairi; S: Bloco Serrinha).

Figura 1. (A) Localização do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais (modificado e adaptado de Cruz Filho et al., 1999); (B) esboço geológico e compartimentação geotectônica do estado da Bahia (modificado e adaptado de Barbosa e Dominguez, 1996). Retângulo azul representa a área de pesquisa.



Fonte: modificado de CPRM/CBPM (2003).

Figura 2. Mapa geológico regional simplificado com a localização da área de estudo e a distribuição dos pontos de diques máficos amostrados neste trabalho.

da Universidade de São Paulo (GMG-IGc/USP). Os valores obtidos e com os quais se construiu todos os diagramas apresentados foram considerados satisfatórios, mostrando boa correlação entre os elementos maiores e traço. As análises químicas dos elementos maiores, traço e terras raras estão apresentadas na Tabela 1. O Fe_2O_3 foi determinado pela análise química como ferro total, e o FeO foi calculado assumindo a razão $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0,15$. Os erros analíticos para os elementos maiores, traço e terras raras foram, respectivamente, de menos de 3% para os dois primeiros e ± 3 ppm para o último.

GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Para avaliar a possibilidade de mobilização de elementos químicos, foi testado, nos diques máficos de Brumado, um

método originalmente proposto por Pearce (1968) e posteriormente adaptado por Beswick e Soucie (1978) e Beswick (1982) para interpretar *trends* de fracionamento de rochas que sofreram alteração hidrotermal ou metamórfica, denominado *Molecular Proportion Ratios* (MPR) ou Método de Razões em Proporções Moleculares. Observou-se nos diagramas que as razões entre elementos maiores das amostras estudadas não sofreram modificações por mobilidade dos elementos considerados (Figura 5). O diagrama da Figura 6 (Miyashiro, 1975) corrobora com a não mobilidade dos elementos Na_2O e K_2O durante os processos hidrotermais.

O diagrama AFM — A ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), F (FeOt), M (MgO) — (Irvine e Baragar, 1971; Figura 7A) mostra que os litotipos estudados acompanham o *trend* da suite toleítica do Hawaii (MacDonald e Katsura, 1964; Irvine e Baragar, 1971), apresentando caráter toleítico com leve enriquecimento de FeOt em relação ao MgO, e no diagrama da Figura 7B

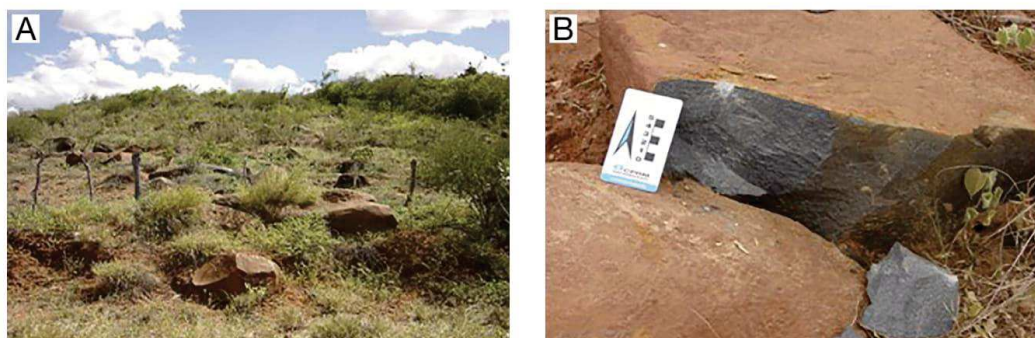
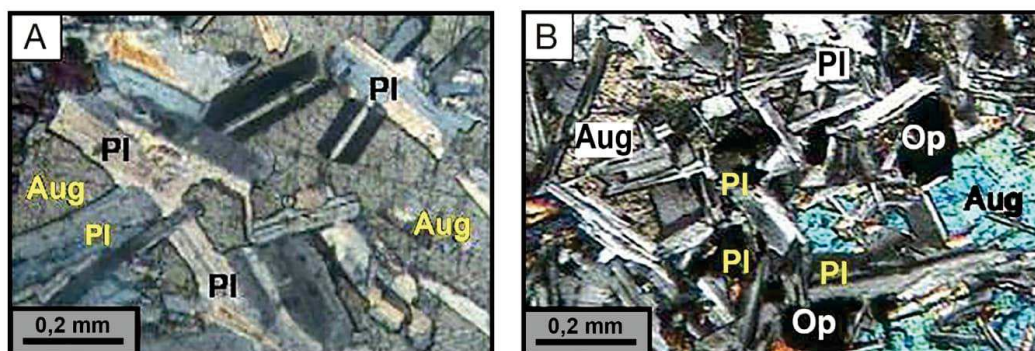


Figura 3. Fotografias de campo dos diques máficos. (A) Ocorrência dos diques máficos sob a forma de blocos e matacões alinhados segundo a direção preferencial WNW-ESE. Ponto BLV-03 (UTM 202464/8405152); (B) aspecto geral do dique máfico mostrando cor cinza e granulação fina. Ponto BLV-08 (UTM 179886/8396834).



Pl: plagioclásio; Aug: augita; Op: mineral opaco.

Figura 4. Fotomicrografias dos diques máficos. (A) Cristais de plagioclásio subédricos englobando cristais de augita. Amostra BLV-01. Polarizadores cruzados; (B) aspecto geral da textura sub-oftítica e intergranular mostrando a geometria das ripas de plagioclásio. Amostra BLV-04. Polarizadores cruzados. Abreviações segundo Whitney e Evans (2010).

(Le Bas et al., 1986), verifica-se que todas as amostras estudadas plotam no campo dos basaltos.

Os diques máficos constituem-se predominantemente por rochas básicas, com valores de SiO₂ entre 46,99 e 50,27% e com 5,16 a 8,26% de MgO. O teor de mg# [MgO/(MgO+FeO)] varia de 0,25 a 0,45. Tais valores são indicativos de líquidos basálticos evoluídos, pois magmas basálticos primitivos possuem valores mg# entre 0,74 e 0,80 (Jacques e Green, 1979; Takahashi e Kushiro, 1983).

De maneira geral, os diques máficos estudados apresentam, nos diagramas de variação (Figura 8), um aumento

nas concentrações de SiO₂, FeO, TiO₂, K₂O e P₂O₅ com o avanço da cristalização, ou seja, com a diminuição do MgO. Esse comportamento sugere a atuação do processo de cristalização fracionada. O Na₂O apresenta comportamento aproximadamente constante, apesar de indicar um discreto aumento com a diferenciação. Al₂O₃ e CaO apresentam comportamentos equivalentes diminuindo sua concentração com o avanço da cristalização. Esse comportamento reflete a importância do plagioclásio e do clinopiroxênio no processo evolutivo.

Em relação aos elementos traço (Figura 9), verificou-se uma diminuição do elemento compatível Ni com o decréscimo de

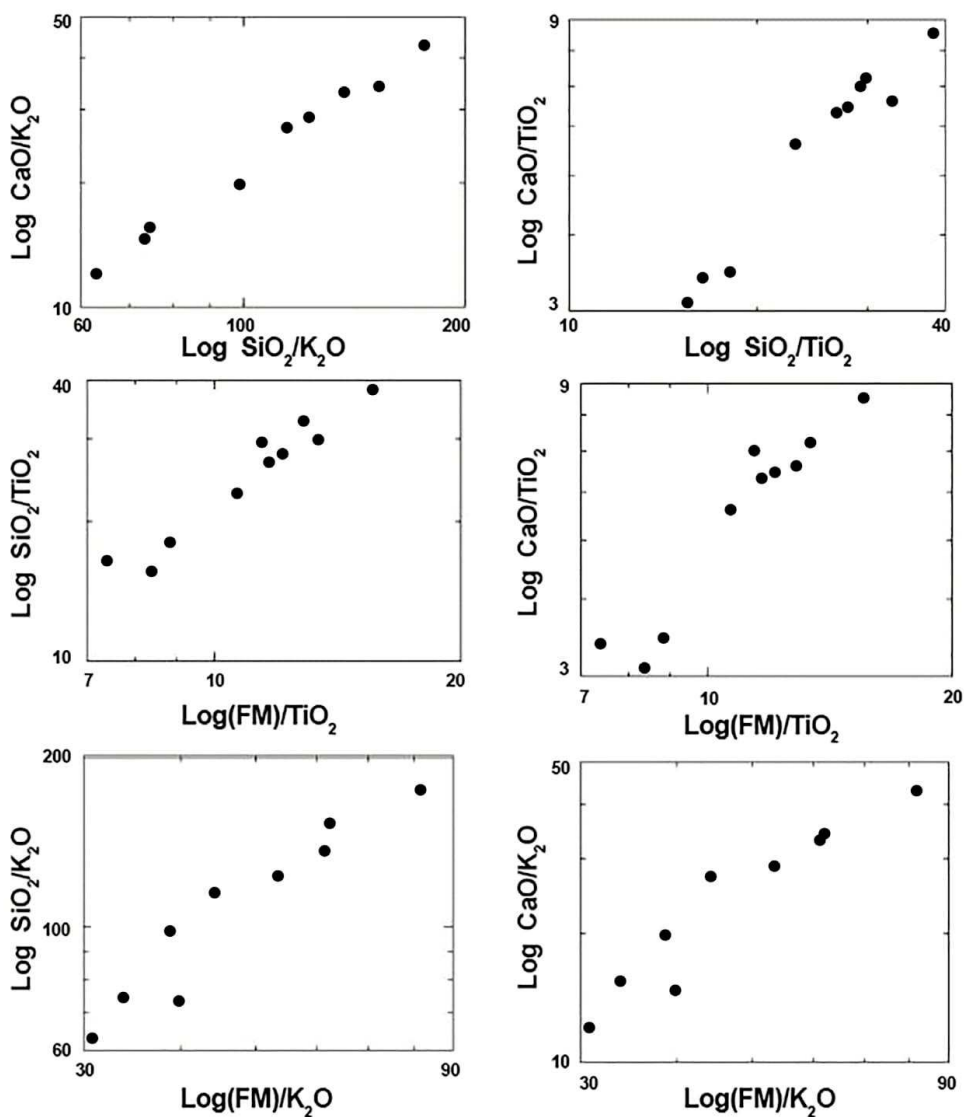
Tabela 1. Análises químicas de elementos maiores e traço dos diques máficos de Brumado. mg# = MgO/(MgO + FeO).

Amostra	BLV-1	BLV-2	BLV-3	BLV-4	BLV-5	BLV-6	BLV-7	BLV-8	BLV-9	BLV-12	BLV-13	BLV-14	BLV-15	BLV-16	BLV-17
Latitude / Longitude	199285 / 8402432	199595 / 8402866	202464 / 8405152	201079 / 8405388	201075 / 8405380	179287 / 8397198	179573 / 8397034	179886 / 8396834	811525 / 8422800	803068 / 8599004	797550 / 8509118	803942 / 8595098	795892 / 8519932	797558 / 8509882	746962 / 8549048
SiO ₂	46,99	48,51	50,27	47,66	47,30	47,74	47,96	47,91	47,91	47,27	47,96	48,87	47,91	47,77	47,68
Al ₂ O ₃	11,84	12,57	14,34	14,13	13,80	14,65	15,12	16,73	14,35	18,19	14,70	13,00	14,54	14,23	13,56
FeO	17,61	16,44	12,44	13,69	14,00	11,77	11,86	11,14	12,34	10,38	11,34	14,96	11,33	11,53	13,93
MgO	6,20	5,41	6,53	6,43	6,82	8,26	7,64	6,43	7,70	8,13	7,63	5,16	7,36	7,39	5,92
CaO	9,41	9,31	10,14	9,95	11,58	11,57	11,14	11,41	11,29	10,59	10,99	9,08	10,69	10,80	9,87
Na ₂ O	2,26	2,42	2,53	2,76	2,39	2,17	2,25	2,44	2,24	2,50	2,16	1,82	2,29	2,25	2,43
K ₂ O	0,64	0,77	0,51	0,64	0,27	0,35	0,39	0,42	0,39	0,31	0,49	0,94	0,44	0,42	0,28
TiO ₂	3,04	2,68	1,53	2,92	2,06	1,60	1,72	1,63	1,79	1,24	1,57	2,42	1,60	1,65	2,76
MnO	0,24	0,23	0,18	0,18	0,20	0,18	0,18	0,16	0,18	0,17	0,19	0,33	0,19	0,19	0,28
P ₂ O ₅	0,24	0,28	0,18	0,35	0,15	0,17	0,23	0,21	0,32	0,10	0,19	0,27	0,19	0,20	0,38
CO ₂	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LOI	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	< 001	1,18	1,89	1,89	1,31	0,71
mg#	0,27	0,25	0,35	0,33	0,33	0,43	0,41	0,37	0,39	0,45	0,41	0,27	0,40	0,40	0,31
Total	99,76	98,75	99,95	99,87	99,96	99,93	99,95	99,95	99,94	100,03	99,65	100,40	99,69	99,02	99,35
Cr	87,00	37,00	25,00	29,00	27,00	41,00	43,00	18,00	41,00	86,00	144,00	86,00	160,00	149,00	130,00
Ni	56,10	25,80	16,60	34,70	18,60	42,80	42,10	34,10	51,00	124,00	96,00	58,00	95,00	93,00	42,00
Ba	294,90	331,10	188,10	268,40	71,70	134,40	146,00	150,30	160,40	125,00	166,00	414,00	167,00	166,00	186,00
Nb	10,80	12,90	13,00	24,50	6,80	8,20	9,60	9,10	10,10	11,00	11,00	16,00	11,00	11,00	18,00
Rb	14,70	18,70	10,80	13,60	5,50	5,70	6,90	7,90	7,20	13,00	14,00	31,00	12,00	14,00	5,00
Sr	213,70	216,10	421,80	602,00	238,80	257,90	280,40	296,20	261,80	231,00	219,00	197,00	229,00	225,00	219,00
Zr	167,60	218,10	99,90	173,40	97,80	93,80	111,90	99,60	111,20	62,00	100,00	169,00	105,00	108,00	186,00
Y	41,70	50,50	20,50	24,10	25,20	21,10	25,20	22,90	24,60	15,40	2,79	12,30	2,92	2,96	5,13
Th	2,50	2,60	2,00	2,70	0,60	0,90	1,20	0,70	0,70	ND	ND	ND	ND	ND	ND
La	17,80	20,60	18,40	26,40	8,40	12,30	13,80	12,60	12,90	7,56	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	37,80	45,20	36,70	58,20	19,70	23,90	29,60	26,90	29,60	15,10	ND	ND	ND	ND	ND
Pr	5,29	6,26	5,03	7,71	3,03	3,32	4,01	3,55	3,96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nd	24,90	29,60	20,20	32,70	15,60	15,20	19,90	16,60	18,90	9,00	ND	ND	ND	ND	ND
Sm	6,50	7,20	4,60	7,30	4,30	3,30	5,00	4,30	3,90	2,23	ND	ND	ND	ND	ND
Eu	2,16	2,44	1,43	2,35	1,56	1,50	1,73	1,46	1,51	1,13	ND	ND	ND	ND	ND
Gd	8,24	9,71	4,62	6,37	4,65	4,25	4,67	4,58	4,73	2,95	ND	ND	ND	ND	ND
Tb	1,30	1,59	0,58	0,87	0,86	0,55	0,83	0,63	0,60	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dy	7,31	9,50	3,98	4,93	4,98	4,31	4,83	4,40	4,89	3,49	ND	ND	ND	ND	ND
Ho	1,61	2,01	0,74	0,94	0,91	0,82	0,99	0,93	0,88	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Er	4,50	5,12	1,97	2,15	2,48	2,43	2,77	2,22	2,58	1,94	ND	ND	ND	ND	ND
Tm	0,61	0,68	0,30	0,33	0,33	0,29	0,36	0,29	0,41	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	3,74	4,48	1,56	1,84	2,18	2,17	2,62	2,12	1,87	1,72	ND	ND	ND	ND	ND
Lu	0,69	0,75	0,35	0,29	0,40	0,31	0,38	0,31	0,40	0,24	ND	ND	ND	ND	ND
(La/Yb) _n	3,24	3,13	4,89	3,61	2,62	3,85	3,58	4,04	4,69	2,99	ND	ND	ND	ND	ND
(La/Sm) _n	1,71	1,79	2,05	1,75	1,22	2,33	1,72	1,83	2,07	2,12	ND	ND	ND	ND	ND
(Sm/Yb) _n	1,89	1,74	2,37	2,07	2,14	1,65	2,07	2,20	2,27	1,41	ND	ND	ND	ND	ND

MgO, Zr, Y, Rb, Ba e Nb comportam-se de forma semelhante, apresentando aumento de seus teores com a evolução magmática, enfatizando o caráter incompatível desses elementos no magma. Em relação ao Sr, a maioria das amostras apresenta

valores aproximadamente constantes (entre 200 e 300 ppm), a exceção de duas amostras (com valores de 401 e 608 ppm).

Na Figura 10A, é apresentado o diagrama multielementar de elementos incompatíveis, normalizados para o



FM: somatório das proporções moleculares de Fe_2O_3 , MgO e MnO.

Figura 5. Diagramas das razões de proporções moleculares dos diques máficos estudados.

manto primitivo (McDonough e Sun, 1995). Esse diagrama constitui uma importante ferramenta na indicação de fontes mantélicas, assim como comparações entre concentrações e razões de elementos incompatíveis, bem como de ambientes geotectônicos. Os padrões dos elementos incompatíveis dos diques máficos de Brumado apresentam, de maneira geral, anomalias negativas de Nb e positivas de Sr, Ba, Ce e La. Essa distribuição geoquímica é consistente com intrusões máficas em ambientes intracratônicos ou de arcos continentais (Hergt et al., 1991; Arndt e Christensen, 1992; Mazzucchelli et al., 1995; Rivalenti et al., 1995, 2007; Wang et al., 2016;

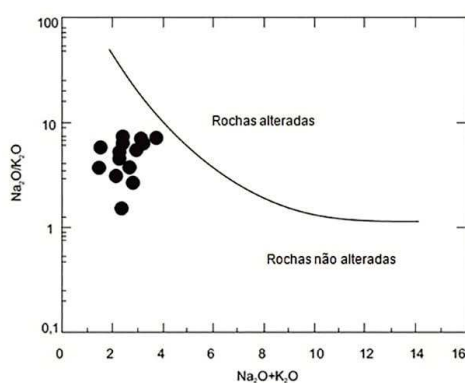


Figura 6. Diagrama de Miyashiro (1975) para discriminação de rochas que sofreram alterações por processos hidrotermais aplicado para os diques máficos estudados.

Zanetti et al., 2016). Um dos modelos utilizados para a origem de magmas com tais características é atribuído à subducção da crosta oceânica coberta de sedimentos, de espessura variável, sob o manto litosférico em arcos de ilhas e continentes. Fluidos ricos em elementos litófilos de alto raio iônico (LILE) (Ba, K, Rb) e em elementos terras raras leves (ETRL) (La, Ce) provenientes de sedimentos enriquecem o manto, enquanto retenção de Nb e Ta pela presença do rutilo e determinados anfibólios em eclogitos da placa oceânica o empobrecem nesses elementos (Ayers, 1998; Rivalenti et al., 1998; Leitch e Davies, 2001). Outra hipótese considerada na literatura considera a possibilidade de enriquecimento do manto por meio de contaminação de rochas provenientes da crosta continental. A Figura 10A compara os padrões dos diques de Brumado com os *Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt* (E-MORB) e *Normal Mid-Ocean Ridge Basalt* (N-MORB), *Ocean Island Basalt* (OIB) (Sun e McDonough, 1989) e *Global Subducting Sediment* (GLOSS) (Plank e Langmur, 1998). Embora exista alguma semelhança com o padrão de GLOSS, nota-se que as concentrações de elementos LILE (Rb, Ba e K) são bem mais elevadas neste, evidência confirmada no confronto das razões que envolvem esses elementos, assim como nos elementos LREE (La, Ce) (Tabela 2). De outro lado, a comparação das razões de incompatíveis entre os diques de Brumado e os valores médios da crosta inferior mostra grande semelhança no que diz respeito à maioria das razões de elementos incompatíveis (Rb/Sr, Zr/Y, Ce/Y, La/Y, La/Nb, Zr/Nb e La/Sm) (Tabela 2).

Os padrões geoquímicos dos elementos terras raras (ETR) normalizados para o condrito, segundo McDonough e Sun (1995),

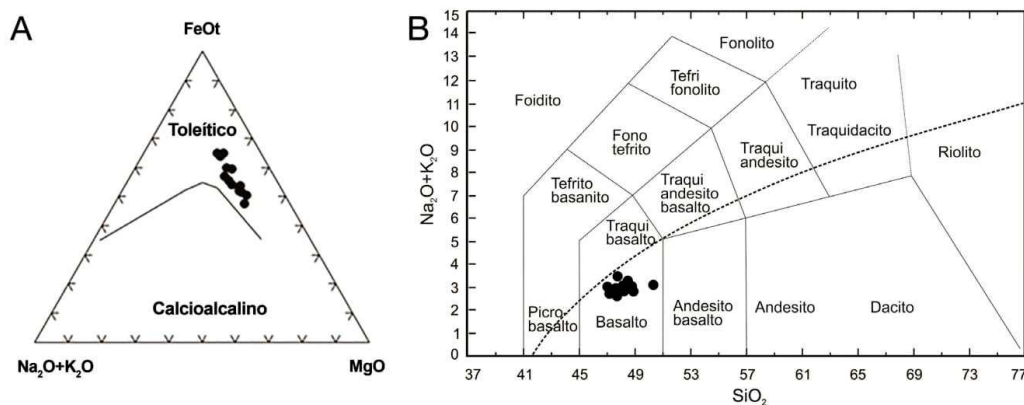


Figura 7. (A) Diagrama A ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), F(FeOt), M(MgO), segundo Irvine e Baragar (1971), para os diques máficos estudados. A linha cheia representa a suíte toleítica do Hawaii, segundo MacDonald e Katsura (1964); (B) diagrama total de álcalis versus sílica (TAS), segundo Le Bas et al. (1986), para os diques máficos de Brumado. A linha tracejada divide o campo dos basaltos, de acordo com Zanettin (1984).

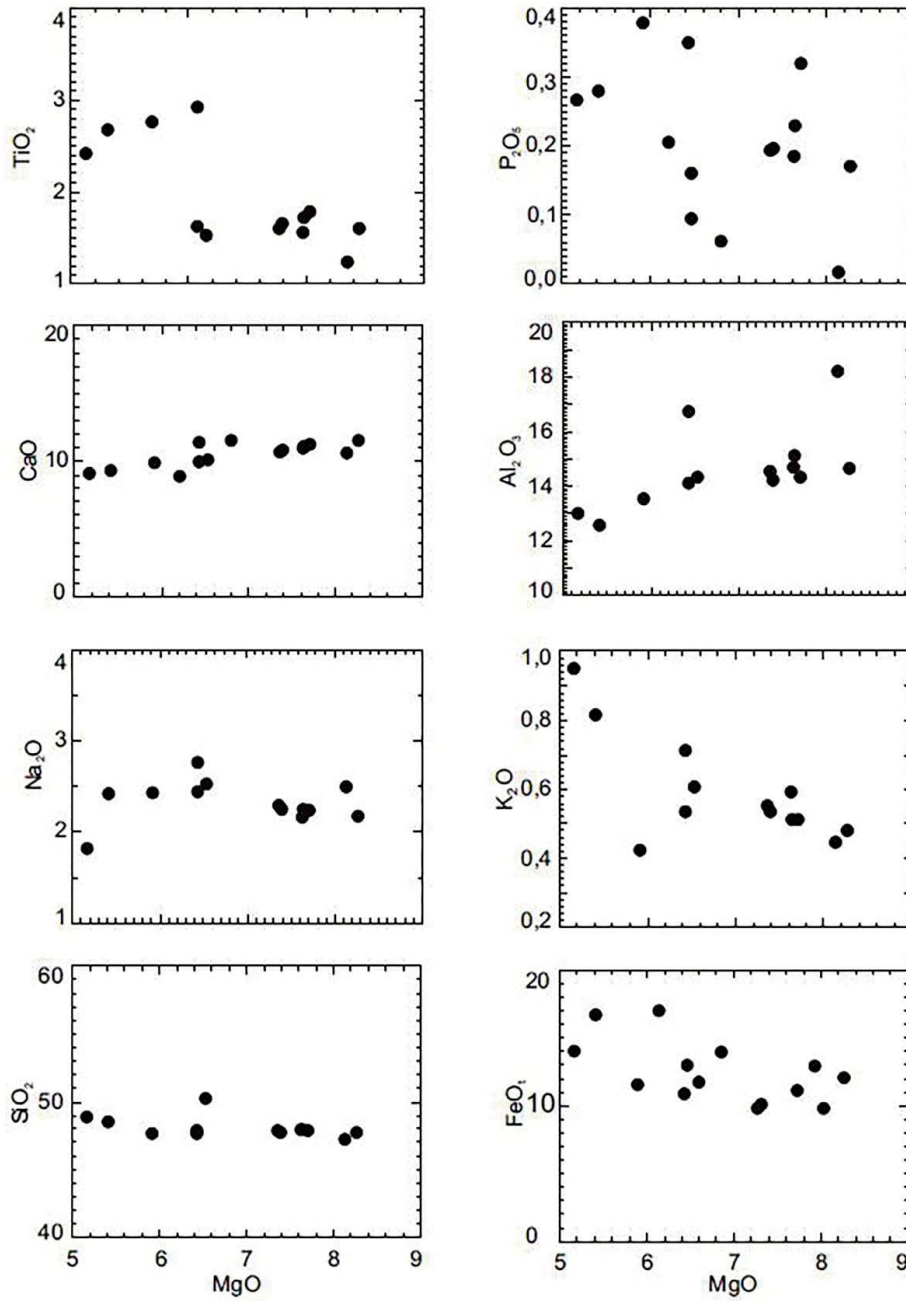


Figura 8. Diagramas de variação química do MgO (% em peso) versus elementos maiores (% em peso) para os diques máficos estudados.

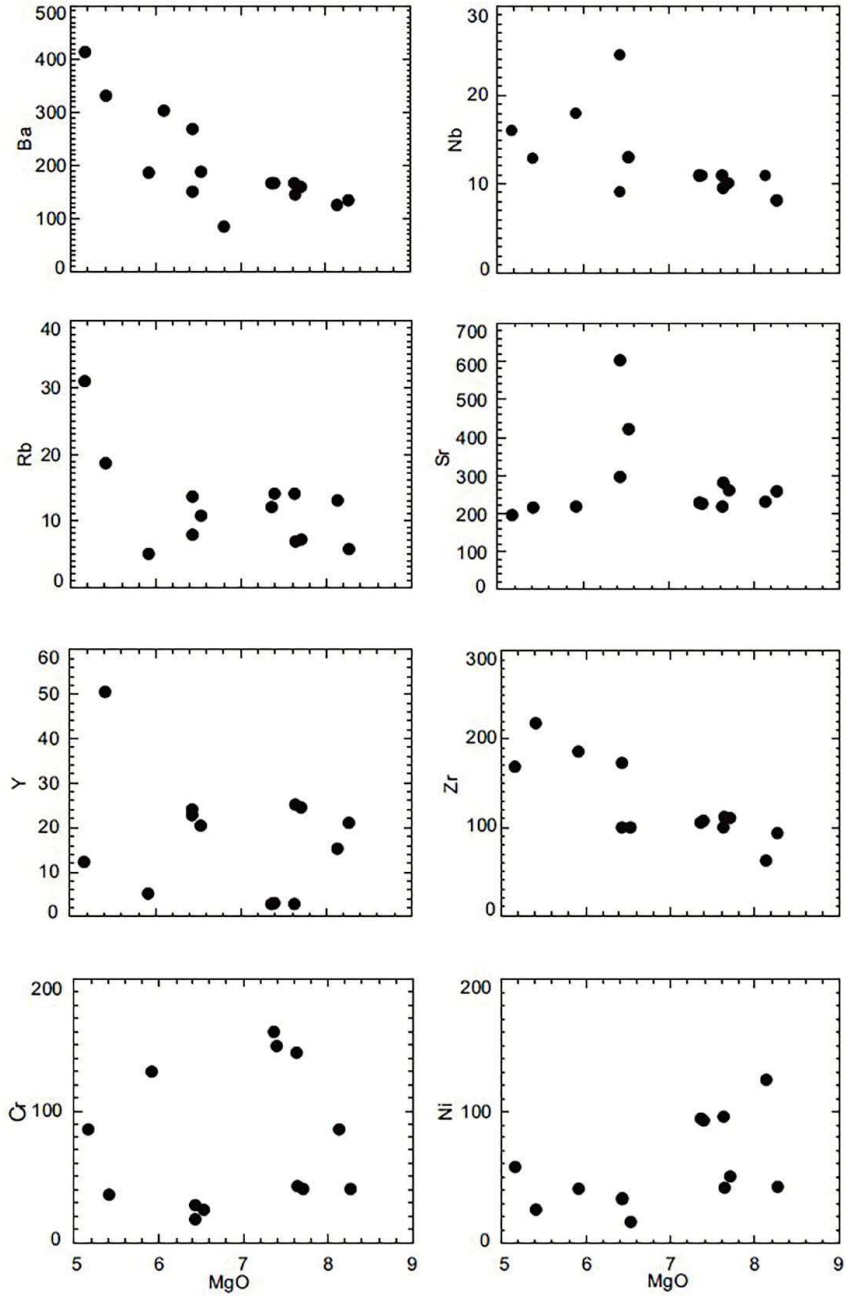


Figura 9. Diagrama de variação química do MgO (% em peso) versus elementos traço (em ppm) para os diques máficos estudados.

mostram que os diques máficos apresentam disposição espacial sub-horizontal a discretamente fracionado em elementos terras raras pesados (ETRP), com anomalias levemente negativas de Eu. Apresentam discreto fracionamento com valores de $(La/Sm)_N$ variando de 1,22 a 2,33 (média = $1,86 \pm 0,29$), $(La/Yb)_N$ variando de 2,62 a 4,89 (média = $3,66 \pm 0,69$) e $(Sm/Yb)_N$ entre 1,41 e 2,37 (média = $1,98 \pm 0,29$) (Figura 10B). O padrão apresentado é característico de suites toleíticas. Comparando o padrão dos ETR dos diques máficos estudados com o do *Mid-Ocean Ridge Basalt* (MORB) (Sun e McDonough, 1989) tipos E-MORB, N-MORB, do OIB e do GLOSS (Plank e Langmur, 1998), observa-se que os diques estudados possuem valores semelhantes aos padrões E-MORB, e valores levemente enriquecidos em

ETRL (diques estudados = $1,86 \pm 0,29$; MP = 1,60) e ETRP (diques estudados = $1,98 \pm 0,29$; MP = 0,98) em relação ao Manto Primitivo (MP) (Figura 10B). No diagrama Th/Yb versus Nb/Yb (Figura 11), as amostras estudadas situam-se dentro do alinhamento MORB-OIB, próximas do E-MORB, exceto uma amostra que se aproxima do OIB.

NATUREZA DA FONTE MAGMÁTICA E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para avaliar a origem da fonte dos litotipos, as razões Zr versus elementos incompatíveis (EI) são excelentes indicadores

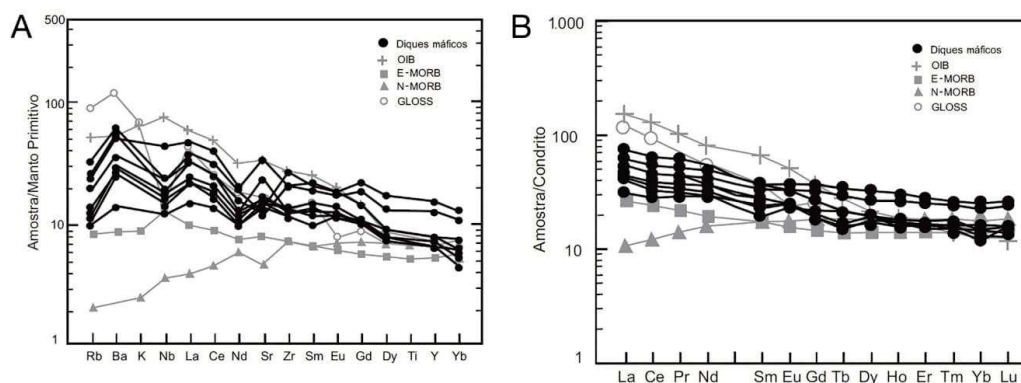
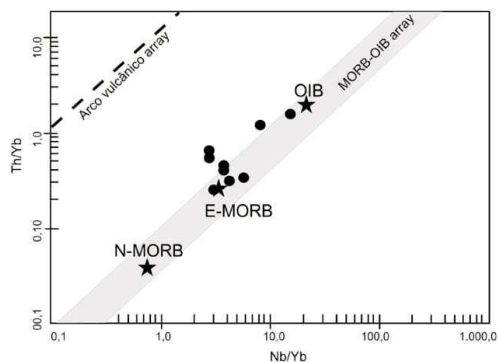


Figura 10. (A) Diagrama multielementar para os diques máficos estudados e (B) padrão de distribuição dos elementos terras raras para os diques máficos estudados. Padrões dos ambientes *Ocean Island Basalt*, *Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt* e *Normal Mid-Ocean Ridge Basalt*, de acordo com Sun e McDonough (1989), e *Global Subducting Sediment* (Plank e Langmur, 1998), para comparação.

Tabela 2. Valores médios de razões de elementos incompatíveis dos diques máficos estudados, do *Global Subducting Sediment* (Plank e Langmuir, 1998), do *Normal-Mid-Ocean Ridge Basalt*, do *Enriched-Mid-Ocean Ridge Basalt* (McDonough e Sun, 1995), do *Ocean Island Basalt* (Sun e McDonough, 1989) e Crosta Inferior (Hacker et al., 2015), Crosta Superior (Taylor e McLennan, 1985), Crosta continental (CC) média (Weaver, 1991).

	Diques de Brumado	GLOSS	N-MORB	E-MORB	OIB	Crosta Inferior	Crosta Superior	Crosta Continental (média)
Rb/Sr	0,04	0,17	0,01	0,03	0,05	0,03	0,32	0,24
Zr/Y	4,61	4,36	2,64	3,32	9,66	4,25	8,63	5,00
Ce/Y	1,24	1,92	0,26	0,68	2,75	1,25	2,90	1,81
Ba/Nb	16,43	86,80	2,70	7,12	7,29	51,80	22,00	54,00
La/Yb	6,75	10,40	0,82	2,66	17,12	5,30	13,63	8,82
Ti/Zr	101,04	28,60	103,00	82,00	61,00	72,30	0,82	26,66
La/Nb	1,30	3,20	1,07	0,76	0,77	1,60	1,20	2,20
Ti/Y	433,57	124,70	271,00	273,00	593,00	307,20	7,10	133,33
Ba/La	12,40	26,90	2,52	9,04	9,46	32,40	18,33	25,00
Zr/Nb	11,23	14,50	31,76	8,79	5,80	13,60	7,60	16,20
La/Sm	3,13	5,00	0,95	2,42	3,70	3,07	6,66	5,00

GLOSS: *Global Subducting Sediment*; N-MORB: *Normal Mid-Ocean Ridge Basalt*; E-MORB: *Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt*; OIB: *Ocean Island Basalt*.



N-MORB: Normal Mid-Ocean Ridge Basalt; E-MORB: Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt; OIB: Ocean Island Basalt.

Figura 11. Diagrama Th/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2008) para os diques máficos estudados.

petrogenéticos, destacando-se como uma boa ferramenta para o estudo das propriedades e dos processos de gênese das rochas e da investigação de heterogeneidade mantélica, em consequência do pouco fracionamento desses elementos durante o processo de cristalização fracionada ou fusão parcial. Na Figura 12, observa-se uma correlação positiva entre Zr e La, Y, Nd e Ce, mostrando pequenas variações em suas razões, sugerindo uma fonte mantélica pouco heterogênea para os diques máficos.

Análise global dos dados geoquímicos indicou que processos secundários não interferiram na evolução ígnea da suíte toleítica, e sugerem fonte original do tipo E-MORB. A Figura 11 mostra que as amostras dos diques estudados se situam dentro do campo definido pelo alinhamento N-MORB — OIB, sendo a maioria delas situada junto ao polo E-MORB, e apenas uma junto ao polo OIB, o que sugere restrita e talvez local influência desse componente

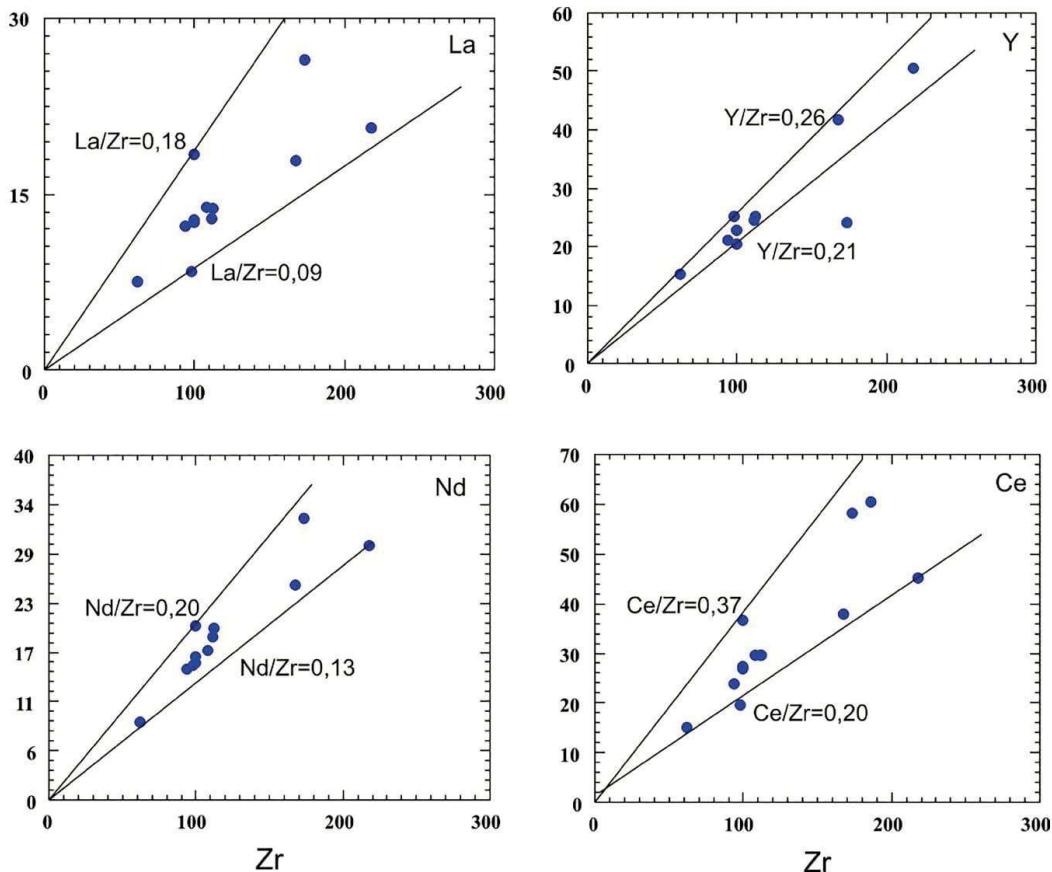


Figura 12. Diagramas de correlação entre Zr (ppm) e elementos traço (ppm) para os diques máficos estudados.

na origem do manto parental. As três amostras restantes situam-se paralelamente junto ao contorno externo do alinhamento, não mostrando tendência no aumento das razões Th/Yb, e consequente deslocamento vertical, feição típica da influência de sedimentos subductados (Pearce, 2008). Diagramas multielementares e razões de elementos incompatíveis são coerentes com esse quadro, sendo que as razões sugerem que o enriquecimento do MP se deveu à contaminação da crosta continental inferior (Tabela 2). Estudos mencionados anteriormente sugerem a possibilidade de serem os enxames de Brumado e os da Chapada Diamantina relacionados cronologicamente. Se tal ocorre, os dados geoquímicos disponíveis indicam que as fontes mantélicas podem ser diferentes, em razão das diferenças entre as razões de elementos incompatíveis e a possibilidade de o manto parental do enxame da Chapada Diamantina ser mais heterogêneo que o de Brumado, dada a avaliação na variação dos componentes MORB e OIB nos diques da Chapada Diamantina (Girardi et al., 2017). A elaboração de dados isotópicos em Brumado será muito importante para a elucidação dessa discussão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o apoio por meio da concessão de bolsa da primeira autora; e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o apoio financeiro (Processo CNPq 47690187/2013-8). Os autores também agradecem aos revisores da *Revista Geologia USP. Série Científica* as valiosas contribuições ao trabalho.

REFERÊNCIAS

- Arcanjo, J. B. A., Martins, A. A. M., Loureiro, H. S. C., Varela, P. H. L. (2000). *Projeto vale do Paramirim, escala 1:100.000*. Salvador: CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 105p.
- Arndt, N. T., Christensen, U. (1992). The role of lithospheric mantle in continental flood volcanism: thermal and geochemical constraints. *Journal of Geophysical Research*, 97(B7), 10967-10981. <https://doi.org/10.1029/92JB00564>
- Ayers, J. (1998). Trace element modeling of aqueous fluid-peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zones. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 132(4), 390-404. <https://doi.org/10.1007/s004100050431>
- Barbosa, J. S. F., Dominguez, J. M. L. (1996). *Texto Explicativo para o Mapa Geológico da Bahia ao Milionésimo*. Salvador, SICM/SGM. 400p.
- Barbosa, J. S. F., Sabaté, P. (2004). Archean and paleoproterozoic crust of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research*, 133(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.03.001>
- Barbosa, J. S. F., Santos-Pinto, M. A., Cruz, S. S. P., Souza, J. S. (2012). Granitoides. In: J. S. F. Barbosa (Ed.). *Geologia da Bahia*. Pesquisa e Atualização (1, 327-296). Salvador.
- Bastos Leal, L. R. (1998). *Geocronologia U/Pb (Shrimp), 207Pb/206Pb, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos terrenos granito-greenstone do Bloco Gavião: Implicações para a evolução arqueana e paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 176p. <https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-08012016-145912>
- Bastos Leal, L. R., Cunha, J. C., Cordani, U. G., Teixeira, W., Nutman, A. P., Menezes Leal, A. B., Macambira, M. J. B. (2003). SHRIMP U-Pb, 207Pb/206Pb zircon dating and Nd isotopic signature of the Umburanas greenstone belt, Northern São Francisco Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(7), 775-785. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00129-3)
- Bastos Leal, L. R., Cunha, J. C., Teixeira, W., Macambira, M. J. B. (1998). Archean tonalitic-trondhjemitic and granitic plutonism in the Gavião Block, São Francisco Craton, Bahia, Brazil: geochemical and geochronological characteristics. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2), 209-220.
- Beswick, A. E. (1982). Some geochemical aspects of alteration and genetic relations, in Komatiitic suites. In: N. T. Arndt, E. G. Nesbit (Eds.). *Komatiites*. Londres: George, Allen and Unwin, p. 283-308.
- Beswick, A. E., Soucie, G. (1978). A correction procedure for metassomatism in an Archean greenstone belt. *Precambrian Research*, 6(2), 235-248. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(78\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0301-9268(78)90015-3)
- Brito, D. C. (2005). *Caracterização petrográfica das rochas basálticas da Chapada Diamantina – Bahia*. Monografia (Graduação). Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 80p.
- Brito, D. C. (2008). *Geologia, petrografia e litogeoquímica dos diques máficos que ocorrem na porção sudoeste da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil*. Dissertação (Mestrado). Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 107p.

- Corrêa da Costa, P. C. (2003). *Petrologia, Geoquímica e Geocronologia dos Diques Máficos da Região de Crixás-Goiás, Porção Centro-Oeste do Estado de Goiás*. Tese (Doutorado). São Paulo: Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, 151p.
- Corrêa da Costa, P. C., Carneiro, M. A., Teixeira, W., Girardi, V. A. V., Nalini Júnior, H. A., Oliveira, A. H., Fernandes, R. A. (2006). Estudo geoquímico e petrológico dos diques máficos da Região de Candeias-Campo Belo-Santo Antônio do Amparo (MG), porção meridional do Craton São Francisco. *Geologia USP. Série Científica*, 5(2), 65-84. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000100005>
- Corrêa da Costa, P. C., Girardi, V. A. V., Matos, J. B., Ruiz, A. S. (2009). Geocronologia Rb-Sr e Características Geoquímicas dos Diques Máficos da Região de Nova Lacerda e Conquista D Oeste (MT), Porção Sudoeste do Craton Amazônico. *Geologia USP. Série Científica*, 9(1), 115-132. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2009000100008>
- Corrêa-Gomes, L. C., Tanner de Oliveira, M. A. F., Mota, A. C., Cruz, M. J. M. (1996). *Província de Diques Máficos do Estado da Bahia*. Mapa, estágio atual do conhecimento e evolução temporal. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais – SGM/SICM. 144p.
- CPRM/CBPM. (2003). *Geologia e recursos minerais do estado da Bahia – Sistema de Informações Geográficas – SIG*, escala 1:1.000.000. Brasil, CPRM/CBPM.
- Cruz Filho, B. E., Rios, D. C., Scheller, T., Conceição, H., Macambira, M. J. B., Oliveira, A. E. L., Burgos, C. M. G. (1999). Petrography and Pb-Pb age of the Nordestina batholith, northeastern of the State of Bahia. In: *II South American Symposium on Isotopic Geology*. Córdoba.
- Cunha, J. C., Frôes, R. J. B. (1994). *Komatititos com textura spinifex do Greenstone Belt de Umburanas, Bahia*. Salvador, CBPM, 29p.
- Giovanardi, T., Girardi, V. A. V., Teixeira, W., Mazzucchelli, M. (2019). Mafic dyke swarms at 1882, 535 and 200 Ma in the Carajás region, Amazonian Craton: Sr-Nd isotopy, trace element geochemistry and inferences on their origin and geological settings. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.02.017>
- Girardi, V. A. V., Corrêa da Costa, P. C., Teixeira, W. (2011). Petrology and Sr–Nd characteristics of the Nova Lacerda dike swarm, SW Amazonian Craton: new insights regarding its subcontinental mantle source and Mesoproterozoic geodynamics. *International Geology Review*, 54(2), 165-182. <https://doi.org/10.1080/00206814.2010.510238>
- Girardi, V. A. V., Teixeira, W., Mazzucchelli, M., Corrêa da Costa, P. C. (2013). Sr–Nd constraints and trace-elements geochemistry of selected Paleo and Mesoproterozoic mafic dikes and related intrusions from the South American Platform: Insights into their mantle sources and geodynamic implications. *Journal of South American Earth Science*, 41, 65-82. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.09.006>
- Girardi, V. A. V., Teixeira, W., Mazzucchelli, M., Oliveira, E. P., Corrêa da Costa, P. C. (2017). Mafic dykes: petrogenesis and tectonic inferences. In: M. Helibron, U. G. Cordani, F. Alkmim. (Eds.). *Regional Geology Reviews*, v. 1, p. 145-169. Suíça: Springer.
- Guimarães, J. T., Martins, A. A. M., Andrade Filho, E. L., Loureiro, H. S. C., Arcaño J. B. A., Neves, J. P., Abram, M. B., Silva, M. G., Melo, R. C., Teixeira, L., Bento, R. V. (2005). *Projeto Ibitiara – Rio de Contas: Estado da Bahia*. Escala 1:200.000. Programa Recursos Minerais do Brasil. Salvador, CPRM, 157 p.
- Hacker, B. R., Kelemen, P. B., Behn, M. D. (2015). Continental lower crust. *Annual Review of Earth Planet Science*, 43, 167-205. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124117>
- Halls, H. C. (1982). The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic process. *Geosciences Canada*, 9(3), 145-154.
- Halls, H. C., Fahrig, W. F. (1987). Mafic Dyke Swarms. *Geological Association of Canada, Special Paper*, v. 34, 503p.
- Hergt, J. M., Peate, D. W., Hawkesworth, C. J. (1991). The petrogenesis of Mesozoic Gondwana low-Ti flood basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 105(1-3), 134-148. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90126-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90126-3)
- Irvine, T. N., Baragar, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of common rocks. *Canadian Journal Earth Science*, 8(5), 523-548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Jacques, A. L., Green, D. H. (1979). Determination of liquid compositions in high-pressure melting of peridotite. *American Mineralogist*, 64(11-12), 1312-1321.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on total álcali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- Leitch, A. M., Davies, G. F. (2001). Mantle plumes and flood basalts: enhanced melting from plume ascent and an eclogite component. *Journal of Geophysical Research*, 106(B2), 2047-2059. <https://doi.org/10.1029/2000JB900307>

- MacDonald, G. A., Katsura, T. (1964). Chemical composition of Hawaiian Lavas. *Journal of Petrology*, 5(1), 82-133. <https://doi.org/10.1093/petrology/5.1.82>
- Marinho, M. M. (1991). *La séquence volcano-sédimentaire de Contendas-Mirante et la bordure occidentale du Bloc Jequiê (Cráton du São Francisco-Brésil): un exemple de transition Archéean-Protérozoïque*. Tese (Doutorado). Clermont Ferrand, França: Blaise Pascal Université, 388p.
- Martin, H., Sabaté, P., Peucat, J. J., Cunha, J. C. (1991). Un segment de croûte continentale d'âge Archéean ancien (3.4 milliards d'années): le Massif de Sete Voltas (Bahia-Brésil). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 313(2), 531-538.
- Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Piccirillo, E. M., Girardi, V. A. V., Civeta, L., Petrini, R. (1995). Petrology of the Proterozoic mafic dyke swarms of Uruguay and constraints on their mantle source composition. *Precambrian Research*, 74(3), 177-194. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00014-V](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00014-V)
- McDonough, W. F., Sun, S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3-4), 223-253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Menezes Leal, A. B. (1992). *Enxame de diques máficos de Uauá-Bahia: caracterização petrológica e geoquímica*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 126p. <https://doi.org/10.11606/D.44.1992.tde-28102015-101141>
- Menezes Leal, A. B. (1997). *Contribuição a Petrologia e Geoquímica do Magmatismo Basáltico Mesozóico do Estado de Roraima*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 137p. <https://doi.org/10.11606/T.44.1997.tde-29102015-110231>
- Menezes Leal, A. B., Barbosa, N. S., Leal, L. R. B., Cunha, J. C. (2016). Geocronologia U-Pb em zircão do greenstone belt Uburanas, bloco Gavião, cráton do São Francisco. In: *XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Porto Alegre: SBG.
- Menezes Leal, A. B., Bastos Leal, L. R., Cunha, J. C., Teixeira, W. (2005). Características geoquímicas dos granitóides transamazônicos no Bloco do Gavião, Cráton do São Francisco, Bahia, Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 19(1), 8-21. <https://doi.org/10.21715/gb.v19i1.219>
- Menezes Leal, A. B., Corrêa-Gomes, L. C., Guimarães, J. T. (2012). Diques Máficos. In: J. S. F. Barbosa (Eds.). *Geologia da Bahia. Pesquisa e Atualização*. Salvador: CBPM, p. 199-231.
- Miyashiro, A. (1975). Classification, characteristics, and origin of ophiolites. *Journal of Geology*, 83(2), 249-281. <https://www.jstor.org/stable/30060218>
- Nutman, A. P., Cordani, U. G. (1993). SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Archean granitoids from the Contendas-Mirante area of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*, 63(3-4), 179-188. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(93\)90032-W](https://doi.org/10.1016/0301-9268(93)90032-W)
- Oliveira, E. P., Montes, M. L. (1984). Os enxames de diques máficos do Brasil. In: *XXXIII Congresso Brasileiro Geologia*, p. 4137-4154. Rio de Janeiro: SBG.
- Pearce, T. H. (1968). A contribution to the theory of variation diagrams. *Contribution of Mineralogy and Petrology*, 19(2), 142-157. <https://doi.org/10.1007/BF00635485>
- Pearce, J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100(1-4), 14-48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>
- Pereira, L. M. (2007). *Geologia Petrografia e Geoquímica dos diques máficos da porção sudoeste do bloco Gavião, Bahia, Brasil*. Monografia (Graduação). Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 80p.
- Pereira Varjão, L. M. (2017). Petrologia da província de diques máficos Chapada Diamantina Paramirim. Correlação Geológica-Geofísica preliminar. In: III Oficina de avaliação e acompanhamento do Programa de Pós-Graduação em Geologia UFBA. *Caderno de Resumos*, p 30. Bahia.
- Pereira Varjão, L. M., Menezes Leal, A. B. (2017). Correlação Geoquímica e Investigação da fonte mantélica dos diques máficos da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião (Brumado) Bahia, Brasil. *XVI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, p. 215-218. Salvador.
- Pinheiro Amorim, A. C. (2017). *Petrologia dos Enxames de Diques Máficos Ectasiano de Itajú do Colônia e Criogeniano de Itapé, Sudeste do Estado da Bahia*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 227p.
- Plank, T., Langmuir C. H. (1998). The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325-394.

- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Girardi, V. A. V., Cavazzini, G., Finatti, C., Barbieri, M. A., Teixeira, W. (1998). Petrogenesis of the Paleoproterozoic basalt-andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region - Amazonian Craton. *Lithos*, 43(4), 235-265. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00015-2)
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Molesini, M., Petrini, R., Girardi, V. A. V., Bossi, J., Campal, N. (1995). Petrology of late proterozoic mafic dikes in the Nico Perez region, Central Uruguay. *Mineralogy and Petrology*, 55(4), 239-263. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01165120>
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Zanetti, A., Vannucci, R., Bollinger, C., Hémond, C., Bertotto, G. W. (2007). Xenoliths from Cerro de los Chenques (Patagonia): an example of slab-related metasomatism in the backarc lithospheric mantle. *Lithos*, 99(1-2), 45-67. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.05.012>
- Santos-Pinto, M. A. S. (1996). Le recyclage de la croûte continentale archéenne: exemple du bloc du Gavião (Bahia - Brésil). *Mémoires de Géosciences Rennes*, 75, 193 p.
- Silveira, E. M., Söderlund, U., Oliveira, E. P., Ernst, R. E., Menezes, Leal, A. B. (2013). First precise U-Pb baddeleyite ages of 1500 Ma mafic dykes from the São Francisco Craton, Brazil, and tectonic implications. *Lithos*, 174, 144-156. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.06.004>
- Sun, S.-S., McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D. Saunders e M. J. Norry (Eds.). *Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society*, 42(1), 313-345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Taylor, S. R., McLennan, S. M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell Scientific.
- Teixeira, W., Hamilton, M. A., Girardi, V. A. V., Faleiros, F., Ernst, R. E. (2019). U-Pb baddeleyite ages of key dyke swarms in the Amazonian Craton (Carajás/Rio Maria and Rio Apa areas). Tectonic implications for events at 1880, 1110 Ma, 535 Ma and 200 Ma. *Precambrian Research*, 329, 138-155. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.02.008>
- Trindade Netto, G. B., Corrêa da Costa, P. C., Girardi, V. A. V. (2016). Contribuição à geologia, petrografia e geoquímica dos diques máficos da porção centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. *Geologia USP. Série Científica*, 16(1), 3-21. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i1p3-21>
- Wang, X. C., Wilde, S. M., Xu, B., Pang, J. P. (2016). Origin of arc-like continental basalts: implications for deep-Earth fluids cycling and tectonic discrimination. *Lithos*, 261, 5-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2015.12.014>
- Weaver, B. L. (1991). The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth Planetary Science. Letter*, 104(2-4), 381-397. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90217-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90217-6)
- Whitney, D. L., Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1), 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Windley, B. F. (1984). *The evolving continents*. 2. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, 399p.
- Zanetti, A., Giovanardi, T., Langone, A., Tiepolo, M., Wu, F.-Y., Dallai, L., Mazzucchelli, M. (2016). Origin and age of zircon-bearing chromitite layers from the Finero phlogopite peridotite (Ivrea-Verbanò Zone, Western Alps) and geodynamic consequences. *Lithos*, 262, 58-74. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.06.015>
- Zanettin, B. (1984). Proposed new classification of volcanic rocks. *Episodes*, 7, 19-20.

CAPÍTULO 3

ARTIGO 2: EVOLUÇÃO MAGMÁTICA E FONTE MANTÉLICA DA PROVÍNCIA DE DIQUES MÁFICOS CHAPADA DIAMANTINA PARAMIRIM, BAHIA, BRASIL

ARTICLE 2: MAGMATIC EVOLUTION AND MANTELIC SOURCE OF THE PROVINCE OF DYKES MAFICS CHAPADA DIAMANTINA PARAMIRIM, BAHIA, BRAZIL

Evolução Magmática e Fonte Mantélica da Província de Diques Máficos Chapada Diamantina-Paramirim, Bahia, Brasil.

Magmatic Evolution and Mantelic Source of the dyke mafics Province in the Chapada Diamantina Paramirim, Bahia, Brazil.

Lílian Mercês Pereira VARJÃO¹, Angela Beatriz de MENEZES LEAL¹ & Natali da Silva BARBOSA¹

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia, Núcleo de Geologia Básica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, Salvador, BA, Brasil (lilian.merces@yahoo.com, angelab@ufba.br, ndbarbosa@ufba.br)

RESUMO

O estudo de rochas máficas e ultramáficas, apresentadas sob a forma de diques e soleiras, é de fundamental importância para a compreensão de ambientes geodinâmicos. As rochas estudadas compõem dois enxames de diques máficos, são eles Chapada Diamantina e Bloco Gavião. Este trabalho apresenta os resultados litogeoquímicos e isotópico com intuito de analisar o comportamento dos elementos durante o processo de diferenciação, entender a evolução da diferenciação magmática e definir as características da fonte mantélica. Esses enxames ocorrem intrusivos em metassedimentos do Grupo Paraguaçu, na porção sul da Chapada Diamantina e no embasamento arqueano na região de Brumado, respectivamente. Geoquimicamente no que confere ao comportamento dos elementos maiores, traço e terras raras os dois enxames mostram uma evolução magmática semelhante, porém os diques do BG apresentaram teores de SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ba, Y e Zr mais elevados em relação aos diques da CHD, valores de FeO_t são semelhantes e de CaO e Al₂O₃ mais baixos. O padrão de ETR para os diques máficos da CHD e do BG demonstram uma distribuição espacial semelhante, típica de magmas toleíticos. O leve enriquecimento de ETR leves em relação aos ETR pesados sugere um enriquecimento na fonte mantélica, assim os diques máficos do BG apresentam um padrão mais enriquecido do que os diques da CHD, caracterizando uma fonte mantélica mais diferenciada. A maioria das amostras apresentaram valores de $\epsilon_{Nd(1.5 Ga)}$ mais elevado em relação ao CHUR. Analisando o fator de fracionamento ficou claro o caráter mantélico das rochas das duas regiões. Os valores de $\epsilon_{Nd(1.5 Ga)}$ mostram que os diques da CHD são mais primitivos do que os do BG e foram afetadas mais intensamente pelo processo de contaminação crustal. Os dois conjuntos de rochas são caracterizados como típicos toleitos continentais diferenciados de um magma “primitivo”,

apresentando um *trend* de diferenciação rico em ferro. Os valores de mg# para os diques da CHD são (-0,56 a 0,66-) e do BG (-0,25 a 0,45-) esses valores indicam suas origens a partir de líquidos basálticos evoluídos. No entanto, os diques da CHD são mais primitivos que os do BG por apresentarem valores mais altos.

Palavras-chave: litogeoquímica; petrografia; diques máficos; bloco gavião; geoquímica isotópica.

ABSTRACT

The study of mafic and ultramafic rocks, presented in the form of dykes and sills, is of fundamental importance for the understanding of geodynamic environments assessment. This work aims to present and discuss the results of lithogeochemical data of mafic dyke bodies intrusive in metasediments of the Paraguaçu Group, in the southern portion of Chapada Diamantina and in the Archean basement in the Brumado, analyzing the behavior of the elements during the differentiation process with the intuition of understanding the evolution of magmatic differentiation and defining the characteristics of the mantle source. Geochemically in terms of the behavior of the major, trace and rare earth elements the two swarms show a similar magmatic evolution, but the BG dykes showed levels of SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ba, Y and Zr contents higher than the CHD dykes, values of FeO_t similar and CaO e Al₂O₃ lower. The REE pattern for the CHD and BG mafic dykes demonstrates a similar spatial distribution typical of tholeiitic magmas. The slight enrichment of LREE in relation to HREE suggests a similar mantle source, and the BG mafic dykes present a more enriched than the CHD dykes, featuring a more differentiated mantle source. The two sets of rocks are characterized as typical continental tholeiitic differentiated from a “primitive” magma, presenting a differentiation trend of iron enrichment. The samples display higher $\epsilon_{Nd(1.5 Ga)}$ values than CHUR. Still the fractionation in the studied samples, the mantelic features were retained in the rocks. The $\epsilon_{Nd(1.5 Ga)}$ in the CHD dykes are less evolved than BG dykes, where BG was affected most intensively by crustal contamination. The mg # values for the CHD (0.56 a 0.66) it's from BG (0.25 a 0.45) indicate their origin from basaltic liquids evolved. However, the CHD dykes are more primitive than the BG dykes because they have higher values.

Keywords: lithogeochemistry; petrography; mafic dykes; Gavião Block; isotopic geochemistry.

1 Introdução

Rochas máficas e ultramáficas colocadas na crosta sob a forma de diques ou sills servem como marcadores geodinâmico e geocronológico de eventos tectônicos que afetam a crosta. Segundo Halls (1982), Halls & Fahrig (1987) e Corrêa da Costa (2003), os enxames de diques máficos apresentam características ideais para desenvolvimento de modelamentos geológico, geoquímico e geofísico. São importantes para o entendimento da história evolutiva de blocos continentais precambrianos, e compreensão de processos mantélicos e tectônicos. O Cráton do São Francisco (CSF) é uma unidade geotectônica constituída por porções mais interiores e estáveis da litosfera continental, diferenciadas desde o arqueano e preserva uma grande resistência mecânica comportando-se de forma peculiar no curso dos processos da dinâmica terrestre (Almeida, 1977). Nele encontra-se uma grande variedade

de episódios máficos fissurais e sua ocorrência é bem semelhante a outras regiões cratônicas (e.g. Antártica, Canadá, Finlândia etc). No geral, estão sempre relacionados a importantes episódios de rifteamento e fragmentação de supercontinentes Ernst et al. (1995). A composição destes diques possibilita investigar a natureza da fonte mantélica e os mecanismos tectônicos que lhes deram origem (Carneiro et al.,1998).

No estado da Bahia a evolução dos estudos acerca dos diques máficos possibilitou a separação desses corpos em dez províncias filonianas que apresentam idades, estilos deformacionais e composições químicas distintas. Foram agrupadas com base em suas características químicas, mineralógicas, geocronológicas e posição geográfica. São elas: Província Uauá-Caracatá (PUC), Província Feira de Santana-Lamarão (PFSL), Província São José do Jacuípe-Aroeira (PJA), Província Juazeiro-Sobradinho (PJS) Província Metamáfica de Salvador (PMS), Província Chapada Diamantina-Paramirim (PCD), Província Litorânea (PLT), Província Caraíba-Curaçá (PCC), Província Itabuna-Itajú do Colônia (PIIC), Província Coronel João Sá (PCJS). A partir do estudo dessas províncias ficou constatado que existe uma predominância do magmatismo toleítico associado às manifestações filoneanas mais antigas no estado. Por outro lado, para as províncias mais novas do mesoproterozoico e neoproterozoico o magmatismo possui tendências toleíticas a alcalinas (Corrêa Gomes et al., 1996; Menezes Leal et al., 2012).

A província Chapada Diamantina-Paramirim, situada no centro do estado da Bahia, aloja um dos mais expressivos conjuntos de diques e sills máficos, abrangendo uma área superior a 4.000km². Nesta província ocorrem corpos filonianos intrusivos no Supergrupo Espinhaço, nos metassedimentos da Chapada Diamantina, e no embasamento gnáissico-migmatítico arqueano do bloco Gavião. Pretende-se nesse trabalho apresentar e discutir dados petrográficos, litoquímicos de rocha total e isotópicos desses corpos máficos visando caracterizar a natureza química da fonte mantélica que deu origem aos dois enxames de diques estudados, além de identificar os tipos de processos geológicos ocorridos nesse setor do Cráton do São Francisco.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Localização geográfica

Os enxames de diques máficos estudados neste trabalho situam-se ao longo da borda sul da Chapada Diamantina, nas imediações das cidades de Ibitipanga, Ibitiara, Caturama, Novo Horizonte, Macaúbas, Piatã, e Abaíra e, a sudoeste do município de Brumado, nas proximidades do povoado de Malhada de Pedras, na porção centro-sul do Estado da Bahia (Fig. 1).

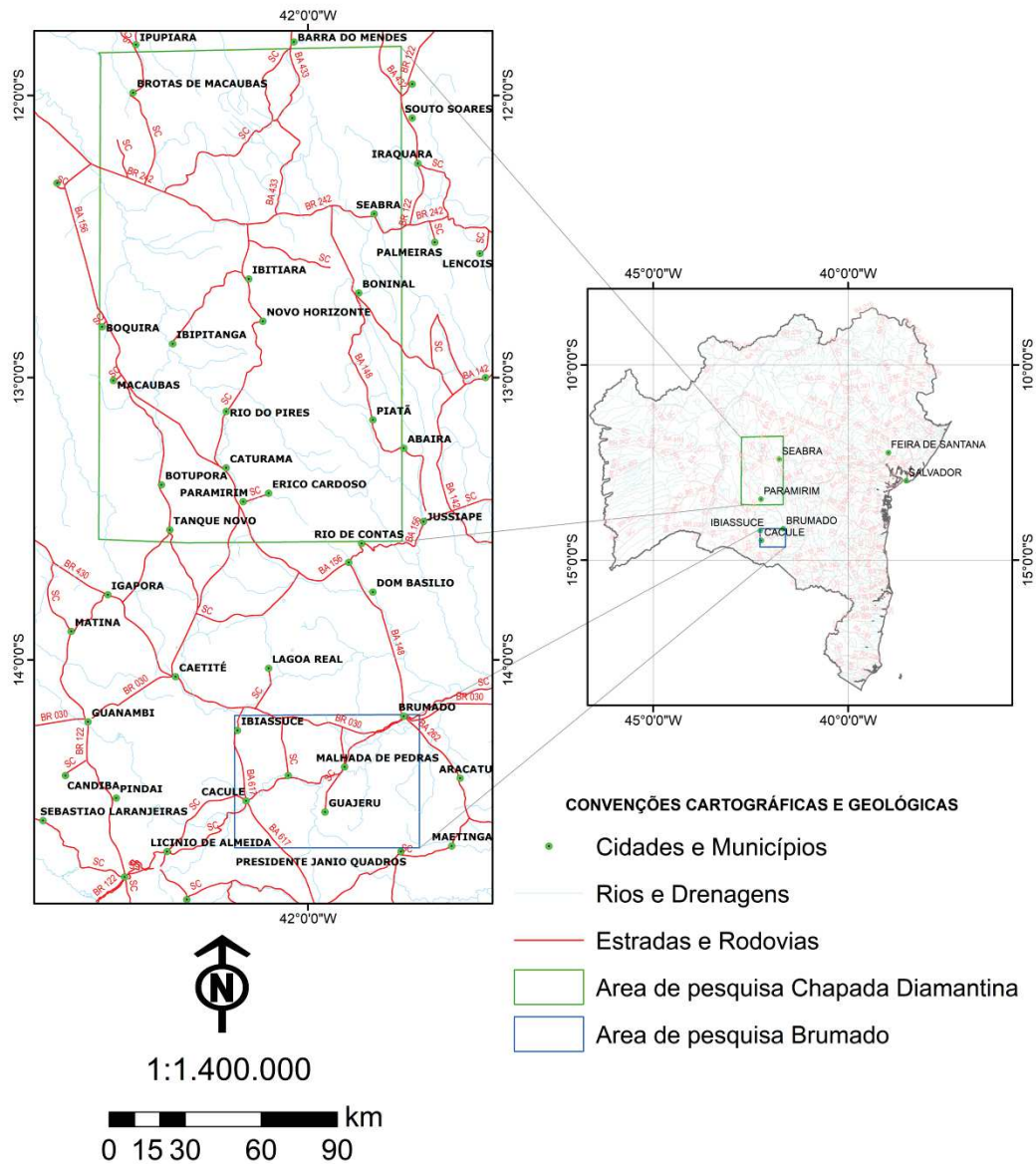


Figura 1. Mapa de localização das áreas em estudo (CBPM, CPRM 2003). Figure 1. Simplified regional geological map, showing the location of the areas under study and the regional distribution of the mafic dykes in the same.(CBPM, CPRM 2003).

2.2 Métodos analíticos

Quinze amostras dos diques máficos do Bloco Gavião (BG) e dez da Chapada Diamantina (CHD) foram selecionadas para esse trabalho em função da preservação de suas feições petrográficas da atuação de processos secundários. A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências/UFBA, segundo as seguintes etapas: britagem, quarteamento e moagem no “shater box”. Após este procedimento, as amostras foram enviadas para análise nos Laboratórios de Fluorescência de Raios X e de Química e Plasma ICP-AES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer), do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo/DMP-IG/USP para obtenção das concentrações de elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5), traço (Cr, Ni, Rb, Ba, Nb, Sr, Y e Zr) e terras raras. Fe_2O_3 foi determinado pela análise química como ferro total, e o FeO foi calculado assumindo a razão $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0,15$. Os erros analíticos para os elementos maiores, traço e terras raras foram, respectivamente, de menos de 3% para os dois primeiros e $\pm 3\%$ para o último. Os valores obtidos e com os quais se construiu todos os diagramas apresentados foram considerados satisfatórios, mostrando uma boa correlação entre os elementos maiores e traço. As análises químicas dos elementos maiores, traço e terras raras são apresentadas nas tabelas 1 e 2. Os dados obtidos das análises químicas de rocha total foram processados e estudados com auxílio do programa para tratamento de dados mineralógicos e petrológicos Minpet for Windows (versões 2.0 e 2.2, Minpet Geological Software; Richard, 1995) e Microsoft Excel.

Para os estudos isotópicos foram selecionadas quatro amostras dos diques BG e seis dos diques CHD. As análises isotópicas em rocha total Sm-Nd foram realizadas por procedimentos de ataque químico natural, em amostras com as concentrações Sm e Nd conhecidas. As razões foram medidas pelo TIMS em um espectrômetro de massa Thermo Scientific TRITON, no CPGeo Centro de Pesquisas Geocronológicas, de acordo com procedimentos relatados por Sato et al. (1995). O ataque químico ocorreu com 1 ml HNO_3 , 3 ml HF e HCL. A extração do elemento foi feita através da coluna LN Spec. Os valores de $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ adquiridos foram normalizados para $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ (De Paolo, 1981). O padrão isotópico JNDi-1 Nd apresentou média de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de $0,512100 \pm 0,000009$ (1) durante o período das análises.

3 Resultados

3.1 Caracterização geológica e petrográfica dos diques da CHD e do BG

A figura 2 ilustra a distribuição dos diques máficos da Chapada Diamantina na área de estudo. Os diques CHD ocorrem na borda sul da Chapada Diamantina, nas imediações das cidades de Ibityara, Novo Horizonte, Piatã, Caturama e Rio de Contas. São associados, principalmente às unidades metassedimentares pertencentes ao Grupo Paraguaçu (em sua maioria), Chapada Diamantina e Borda Leste. Afloram de forma alinhada, sob a forma de blocos, lajedos ou cortes de estradas (Fig. 4A). Esses corpos preenchem fraturas distensivas na direção preferencial NW-SE e de forma secundária NE-SW. Suas dimensões são da ordem de 2 a 5 m. Vale ressaltar que muitos corpos são de difícil observação em função da espessa cobertura de solo que ocorre nesta região. Em alguns locais, é comum a presença de blocos e matacões com capas concêntricas em torno do núcleo mais duro da rocha, lembrando escamas de uma cebola, denominado esfoliação esferoidal (Fig. 4B).

Os corpos máficos BG ocorrem na parte sul da região (Fig. 3) a sudoeste da cidade de Brumado, próximos dos povoados de Malhada de Pedras e Rio do Antonio. São intrusivos no embasamento arqueano e ocorrem de forma bastante expressiva aflorando como lajedos, blocos e matacões, nos leitos dos rios e riachos e, mais raramente, em cortes de estradas, exibindo-se de forma isotrópica, com uma coloração preta a acinzentada e granulação fina a média (Fig. 4E). Esses corpos são maciços, possuem espessuras que variam de poucos centímetros a dezenas de metros e preenchem fraturas distensivas predominantemente na direção NW-SE e, secundariamente, na direção NE-SW.

Petrograficamente as rochas da CHD são holocristalinas, faneríticas fina a média e moderadamente porfiríticas. Apresentam textura predominante do tipo intergranular a subofítica e, subordinadamente textura ofítica, com cristais variando de subédricos a anédricos. São constituídas essencialmente por microfenocristais a fenocristais de clinopiroxênio (augita) e plagioclásio do tipo andesina/labradorita, com quantidades subordinadas de minerais opacos, quartzo, biotita, titanita, apatita e zircão. Por vezes, apresentam feições de saussuritização e uralitização (Figura 5A). As rochas do BG apresentam cristais de plagioclásio do tipo labradorita/andesina e piroxênio do tipo augita compondo os minerais essenciais, seguidos de minerais opacos (magnetita e ilmenita), quartzo, zircão e apatita, como acessórios (Figs. 5B e C) Destacam-se minerais de origem secundária como hornblenda, biotita, clorita, carbonato, mica branca, epídoto e titanita provenientes da desestabilização dos plagioclásios e piroxênios, formando a paragênese de alteração hidrotermal/deutérica (Pereira, 2007, Pereira Varjão 2011) (Fig. 5B). Os cristais de plagioclásio

apresentam-se como ripas euédricas a subédricas e hábitos curtos a alongados e contato reto com os cristais de augita e por vezes intercrescimento granofírico em suas bordas (Fig. 5E).

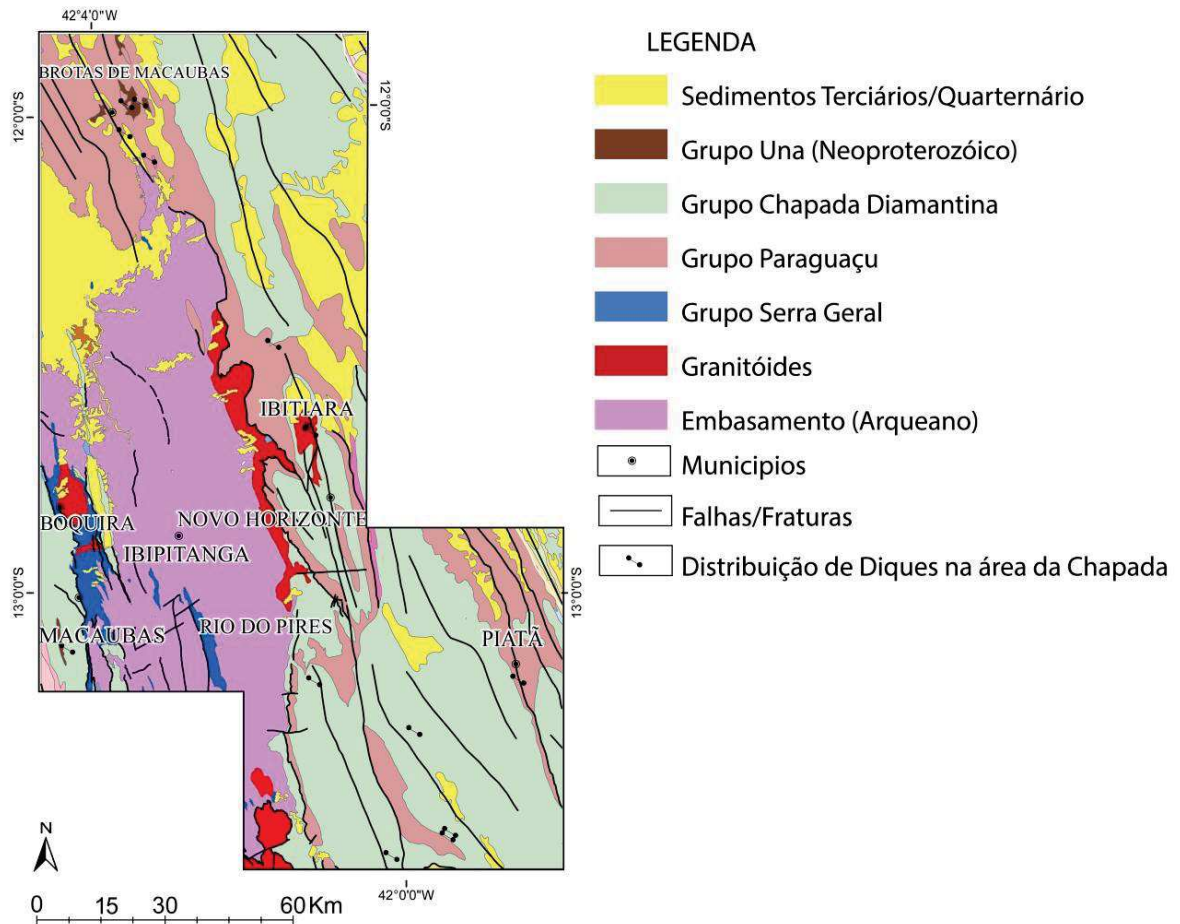


Figura 2. Mapa geológico simplificado (com os diques máficos amostrados) da região da Chapada Diamantina (CHD). (CBPM, CPRM 2003). Figure 2. Simplified geological map with the mafic dykes sampled in the Chapada Diamantina region. (CBPM, CPRM 2003).

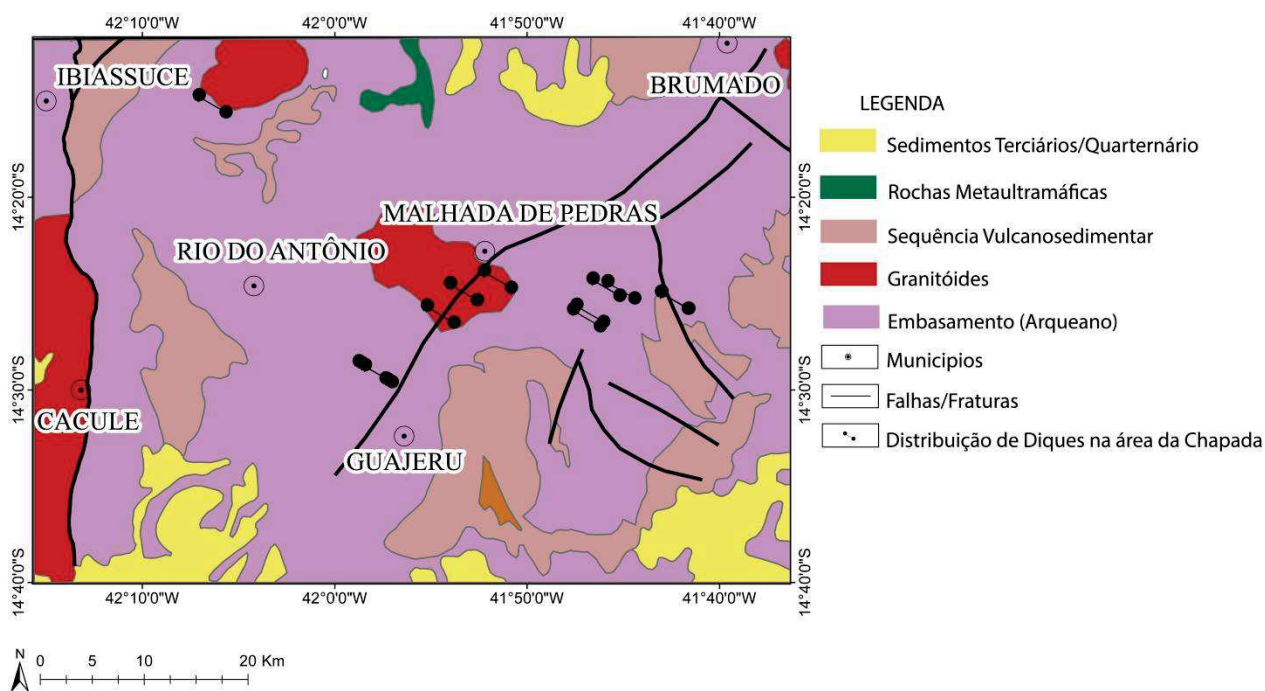


Figura 3. Mapa geológico simplificado da região de Brumado com os diques máficos assinalados (CBPM, CPRM 2003).
 Figure 3. Simplified geological map with the mafic dykes sampled in the Brumado region (CBPM, CPRM 2003).

3.1 Litogeoquímica dos elementos maiores e traço

As tabelas 1 e 2 mostram os dados químicos para os diques máficos CHD e BG, respectivamente. As amostras utilizadas para esse estudo não apresentam mobilidade dos elementos nas duas populações de diques, conforme demonstrado pelo diagrama da figura 6 (Miyashiro, 1975).

Os diques máficos estudados constituem-se predominantemente por rochas básicas, com valores de SiO₂ entre 45,39 a 47,81% para os CHD e 46,99 a 50,27% para os BG e de MgO entre 7,7 a 10,77% para os CHD e 5,16 a 8,26% para os BG. Os valores de mg# [$MgO/(MgO + FeOt)$] variam de 0,56 a 0,66 para os diques CHD, enquanto para os diques BG variam de 0,25 a 0,45, indicando que os diques CHD são relativamente mais primitivos do que os diques BG, pois magmas basálticos primitivos possuem mg# entre 0,74 a 0,80 (Jaques & Green, 1979; Takahari & Kushiro, 1983). Os diques CHD e BG mostram composição basáltica, subalcalina, toleítica, com enriquecimento de FeOt em relação ao MgO e baixo teor em álcalis (Figs 7A e B).

Para caracterizar o comportamento dos elementos maiores e traço dos diques máficos CHD e BG (Fig 8), percebe-se que a evolução magmática é muito semelhante entre as duas regiões, mostrando um aumento nas concentrações de SiO₂, FeOt, TiO₂, K₂O e P₂O₅, com o avanço da cristalização, ou seja, com a diminuição do MgO. O Na₂O apresenta comportamento

aproximadamente constante, apesar de indicar um discreto aumento com a diferenciação. Al_2O_3 e CaO apresentam comportamentos equivalentes diminuindo sua concentração com o avanço da cristalização. No entanto, observa-se que os diques máficos BG apresenta teores de SiO_2 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Y, Nb e Zr mais elevados em relação aos diques CHD, teores de CaO e Al_2O_3 mais baixos e os de FeO , Sr e Rb semelhantes. Em relação aos elementos traço (Fig 9), verificou-se um comportamento semelhante para os dois enxames de diques apresentando uma diminuição do elemento compatível Ni com o decréscimo de MgO e um aumento de Zr, Y, Rb, Ba e Nb com a evolução magmática, enfatizando o caráter incompatível desses elementos no magma.

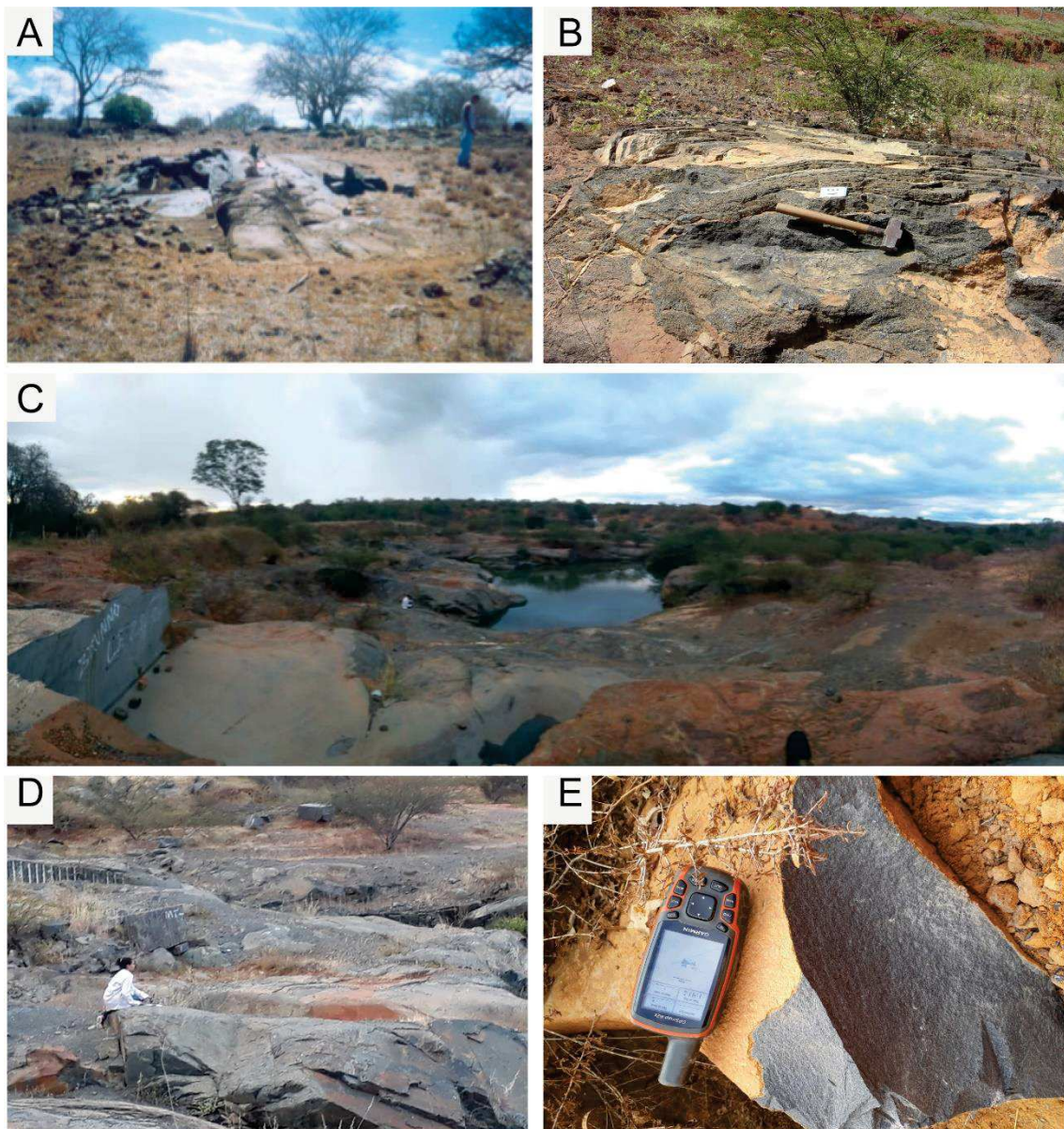


Figura 4. Afloramentos dos diques máficos estudados. Diques CHD: A) Afloramento de dique máfico sob a forma de lajedo, apresentando bloco maciço. Sul de Paramirim das Crioulas. Ponto CHD-102. UTM 797550/8509118. B) Afloramento de dique máfico mostrando exfoliação esferoidal. Ponto BLV 01 UTM (199285/8402432). C) Visão panorâmica do afloramento de dique máfico na região de Ibitira. (UTM 811824/8422719). DiquesBG: D) Aspecto geral dos diques máficos sob a forma de blocos e matacões, Ponto BLV 03. (UTM 202464/8405152). E) Afloramento de dique máfico mostrando aspecto isotrópico. Ponto BLV 01. UTM (199285/8402432). Figure 4. Outcrops of the studied mafic dykes. CHD dykes: A) Outcrop of mafic dyke in the form of flagstone, with massive block. South of Paramirim das Crioulas. PointCHD-102. UTM 797550/8509118. Brito (2008). B) Mafic dike outcrop showing spheroidal exfoliation. Point BLV 01 UTM (199285/8402432). C) Panoramic view of the outcrop of mafic dyke in the Ibitira region. (UTM 811824/8422719). Dykes BG: D) General aspect of the mafic dykes in the form of blocks and boulders, Point BLV 03. (UTM 202464/8405152). E) Outcrop of mafic dyke showing isotropic aspect. Point BLV 01. UTM (199285/8402432).

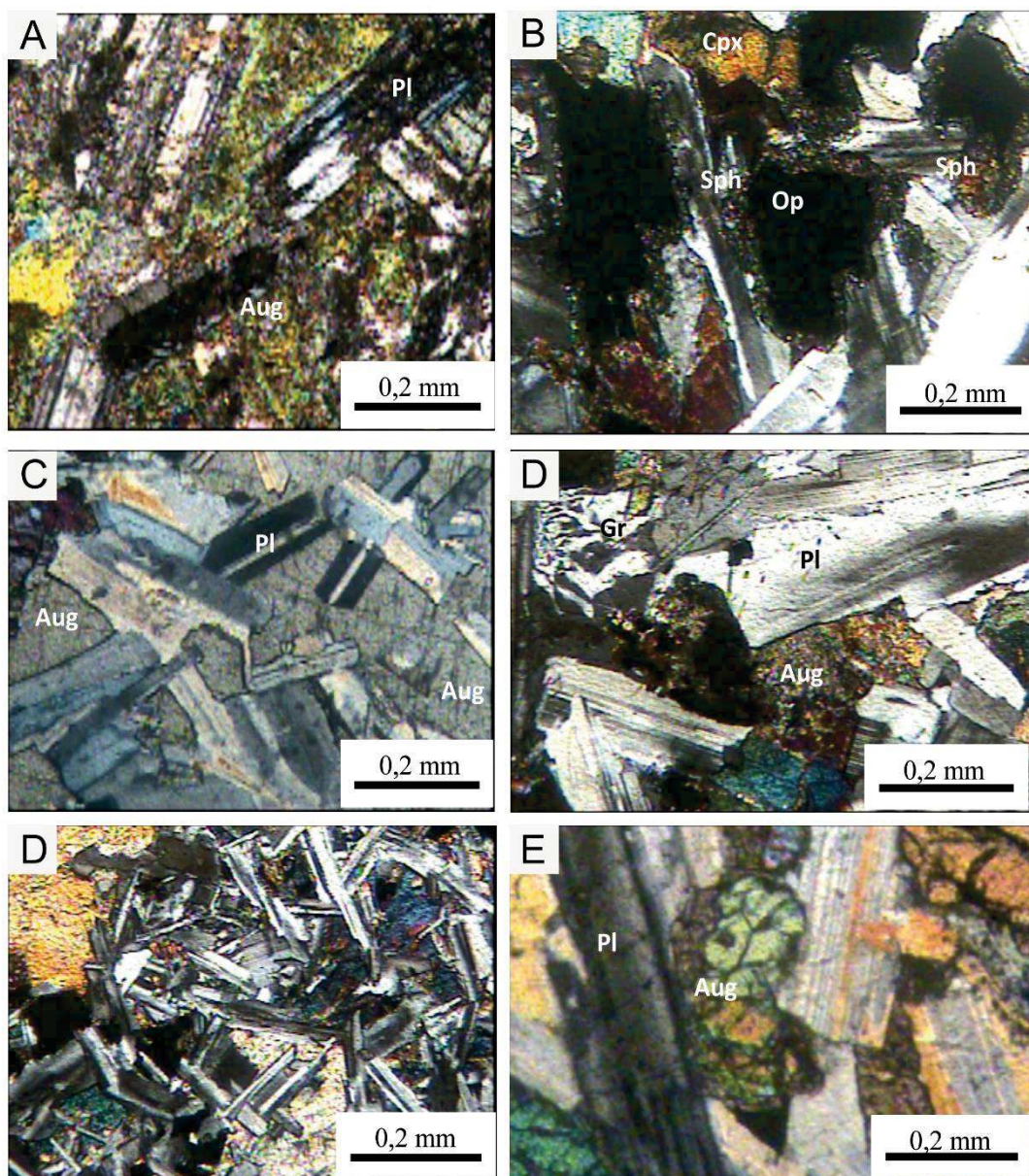


Figura 5. Fotomicrografias dos diques máficos das áreas de estudo. Chapada Diamantina A) Aspecto geral da textura subofítica apresentando ripas de plagioclásio saussuritizado englobado parcialmente por cristais de piroxênio. Nicóis Cruzados. Aumento de 50X. CHD02. UTM 795729/8619830. B) Detalhe do mineral opaco bordejado por esfeno. Amostra BLV 02. A. Luz plana. B. Polarizadores cruzados. Pl- plagioclásio; Cpx- clinopiroxênio; Op- mineral opaco; Sph-esfeno. Aumento 25X. C) Cristais de plagioclásio subédricos englobando cristais de piroxênio Nicóis Cruzados. Aumento de 25X. CHD-08a. UTM 803516/8600108. Bloco Gavião D) Amostra BLV 02. A. Luz plana. B. Polarizadores cruzados. Pl- plagioclásio; Aug- augita; Gr- intercrescimento granofírico. Aumento 25X. E) Aspecto geral da textura sub-ofítica e intergranular. Disposição dos cristais de plagioclásio com hábitos curtos a alongados. Amostra BLV 04. F) Aspecto geral da textura intergranular, com plagioclásio apresentando geminação do tipo Albita Carlsbad. Nicóis Cruzados. Aumento de 25X

CHD-08a. UTM 803516/8600108. D) Sample BLV 02. A. Flat light. B. Cross polarizers. Plagioclase; Aug-augite; Gr- granophyric intergrowth. 25X magnification. E) General aspect of the sub-ophthalmic and intergranular texture. Arrangement of plagioclase crystals with short to elongated habits. Sample BLV 04. F) General aspect of the intergranular texture, with plagioclase showing Albite Carlsbad twinning. Crusaded Nicolas. 25X increase. CHD-07. UTM 767465/8663693.

Tabela 1. Análises químicas, em rocha total, dos diques máficos da Chapada Diamantina (elementos maiores e traço). mg# [MgO/(MgO + FeOt)]. LOI= Perda ao Fogo, ND=Não determinado.
Table 1. Chemical analysis, in total rock, of the mafic dykes of Chapada Diamantina (larger elements and trace). mg # [MgO / (MgO + FeOt)]. LOI = Loss to Fire, ND = Not determined.

Amostras	CHD-02	CHD-04	CHD-05	CHD-06	CHD-07	CHD-08A	CHD-08B	CHD-103	CHD-108	CHD-110
Latitude/ Longitude	8619520/ 794785	8668872/ 761155	8675653/ 761604	8675982/ 764792	8662926/ 766752	8599004/ 803668	8599004/ 803068	8500015/ 820469	8533906/ 802727	8549048/ 746962
SiO₂	45,6	45,88	45,39	46,21	46	47,27	46,72	47,06	47,31	46,95
TiO₂	1,213	1,207	1,25	0,93	0,997	1,237	1,139	1,287	1,396	1,112
Al₂O₃	18,22	18,34	17,51	18,43	18,98	18,19	17,2	15,23	15,03	15,11
FeOt	11,36	12	12	11,63	10,82	11,54	11,46	10,51	10,88	10,64
MnO	0,149	0,158	0,168	0,158	0,144	0,167	0,168	0,163	0,17	0,168
MgO	8,63	7,7	8,8	10,77	10,74	8,13	8,27	8,41	8,3	9,55
CaO	10,09	8,87	9,72	9,88	10,06	10,59	10,98	11,97	12,19	12,35
Na₂O	2,12	2,45	2,15	2,24	2,2	2,5	2,01	1,84	1,98	1,72
K₂O	0,27	0,84	0,49	0,29	0,29	0,31	0,48	0,44	0,44	0,3
P₂O₅	0,13	0,115	0,113	0,081	0,084	0,1	0,092	0,163	0,152	0,111
P.F.	2,72	3,03	2,96	< 0,01	0,05	< 0,01	2,32	2,1	1,63	1,37
#mg	0,6	0,56	0,59	0,65	0,66	0,58	0,59	0,61	0,6	0,64
Total	100,5	100,6	100,55	100,62	100,37	100,03	100,84	9,173	99,478	99,381
Cr	69	78	75	86	69	86	164	389	373	354
Ni	164	116	166	223	248	124	119	160	124	169
Sc	26,5	15,9	16,3	15,7	16,4	17,6	30,8	16,7	18,1	14,6
Rb	12	22	16	12	11	13	15	12	11	4
Ba	111	276	166	147	149	125	153	134	129	148
Sr	267	305	248	270	280	231	203	243	229	228
Nb	13	11	12	10	9	11	10	11	12	7

Hf	1,55	1,72	1,47	0,89	1,24	1,7	1,39	37	38,5	37,4
Zr	67	61	64	47	51	62	56	92	92	70
Y	16	13,5	12,3	9,2	11,6	15,4	15,4	2,37	2,44	1,89
Th	2	2	1	3	2	< 1	2	< 3	< 3	< 3
U	3	5	4	3	4	2	3	< 3	< 3	< 3
V	144	123	155	101	107	188	213	236	250	225
Zn	77	73	74	70	61	68	66	73	75	78
Co	67	60	65	76	67	64	54	63	54	68
Cu	46	26	45	42	36	60	46	97	89	89
La	6,06	7,12	4,15	4,57	5,06	7,56	4,59	11,4	10,7	8,22
Ce	12,4	14,1	7,54	9,13	10,2	15,1	9,64	24,2	24,1	18,7
Pr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nd	7,77	8,49	3,78	5,4	6,26	9	6,74	14,6	13,9	11,3
Sm	2,26	2,11	0,92	1,42	1,59	2,23	1,82	3,15	3,31	2,54
Eu	1,07	1,1	0,48	0,79	0,89	1,13	0,89	1,11	1,28	1,02
Gd	3,03	2,67	1,48	1,9	2,14	2,95	2,74	3,58	3,78	3,05
Dy	3,57	2,91	2,09	2,07	2,64	3,49	3,24	3,24	4,02	2,92
Ho	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Er	1,88	1,57	1,5	1,19	1,41	1,94	2,03	1,76	2,05	1,56
Tm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	1,68	1,37	1,33	0,92	1,38	1,72	1,58	1,33	1,57	1,44
Lu	0,24	0,2	0,19	0,13	0,2	0,24	0,23	0,18	0,22	0,21

Tabela 2. Análises químicas, em rocha total, dos diques máficos do Bloco Gavião (elementos maiores e traço). mg# [MgO/(MgO + FeOt)]. LOI= Perda ao Fogo, ND=Não determinado.

Amostras	BLV-1	BLV-2	BLV-3	BLV-4	BLV-5	BLV-6	BLV-7	BLV-8	BLV-9	BLV-12	BLV-13	BLV-14	BLV-15	BLV-16	BLV-17
Latitude/ Longitude	199285/ 8402432	199595/ 8402866	202464/ 8405152	201079/ 8405388	201075/ 8405380	179287/ 8397198	179573/ 8397034	179886/ 8396834	811525/ 8422800	803068/ 8599004	797550/ 8509118	803942/ 8595098	795892/ 8519932	797558/ 8509882	746962/ 8549048
SiO₂	46,99	48,51	50,27	47,66	47,30	47,74	47,96	47,91	47,91	47,27	47,96	48,87	47,91	47,77	47,68
TiO₂	3,04	2,68	1,53	2,92	2,06	1,60	1,72	1,63	1,79	1,237	1,562	2,415	1,601	1,654	2,759
Al₂O₃	11,84	12,57	14,34	14,13	13,80	14,65	15,12	16,73	14,35	18,19	14,7	13	14,54	14,23	13,56
FeOt	17,61	16,44	12,44	13,69	14,00	11,77	11,86	11,14	12,34	10,38	11,34	14,96	11,33	11,53	13,93
MnO	0,24	0,23	0,18	0,18	0,20	0,18	0,18	0,16	0,18	0,17	0,19	0,33	0,19	0,19	0,28
MgO	6,20	5,41	6,53	6,43	6,82	8,26	7,64	6,43	7,7	8,13	7,63	5,16	7,36	7,39	5,92
CaO	9,41	9,31	10,14	9,95	11,58	11,57	11,14	11,41	11,29	10,59	10,99	9,08	10,69	10,80	9,87
Na₂O	2,26	2,42	2,53	2,76	2,39	2,17	2,25	2,44	2,24	2,50	2,16	1,82	2,29	2,25	2,43
K₂O	0,64	0,77	0,51	0,64	0,27	0,35	0,39	0,42	0,39	0,31	0,49	0,94	0,44	0,42	0,28
P₂O₅	0,24	0,28	0,18	0,35	0,15	0,17	0,23	0,21	0,32	0,10	0,18	0,27	0,19	0,20	0,38
P.F.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
#mg	0,27	0,25	0,35	0,33	0,33	0,43	0,41	0,37	0,39	0,45	0,41	0,27	0,40	0,40	0,31
Total	99,76	95,13	99,95	99,87	99,96	99,93	99,95	99,95	99,94	100,03	99,65	100,40	99,69	99,02	99,35
Cr	87,00	37,00	25,00	29,00	27,00	41,00	43,00	18,00	41,00	86,00	144,00	86,00	160,00	149,00	130,00
Ni	56,10	25,80	16,60	34,70	18,60	42,80	42,10	34,10	51,00	124,00	96,00	58,00	95,00	93,00	42,00
Sc	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rb	14,70	18,70	10,80	13,60	5,50	5,70	6,90	7,90	7,20	13,00	14,00	31,00	12,00	14,00	5,00
Ba	294,90	331,10	188,10	268,40	71,70	134,40	146,00	150,30	160,40	125,00	166,00	414,00	167,00	166,00	186,00
Sr	213,70	216,10	421,80	602,00	238,80	257,90	280,40	296,20	261,80	231,00	219,00	197,00	229,00	225,00	219,00
Nb	10,80	12,90	13,00	24,50	6,80	8,20	9,60	9,10	10,10	11,00	11,00	16,00	11,00	11,00	18,00
Hf	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zr	167,60	218,10	99,90	173,40	97,80	93,80	111,90	99,60	111,20	62,00	100,00	169,00	105,00	108,00	186,00

Y	41,70	50,50	20,50	24,10	25,20	21,10	25,20	22,90	24,60	15,40	2,79	12,30	2,92	2,96	5,13
Th	2,50	2,60	2,00	2,70	0,60	0,90	1,20	0,70	0,70	ND	ND	ND	ND	ND	ND
U	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
La	17,8	20,60	18,40	26,40	8,40	12,30	13,80	12,60	12,9	7,56	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	37,80	45,20	36,70	58,20	19,70	23,90	29,6	26,90	29,6	15,10	ND	ND	ND	ND	ND
Pr	5,29	6,26	5,03	7,71	3,03	3,32	4,01	3,55	3,96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nd	24,90	29,60	20,20	32,70	15,6	15,20	19,90	16,60	18,9	9,00	ND	ND	ND	ND	ND
Sm	6,50	7,20	4,60	7,30	4,30	3,30	5,00	4,30	3,90	2,23	ND	ND	ND	ND	ND
Eu	2,16	2,44	1,43	2,35	1,56	1,50	1,73	1,46	1,51	1,13	ND	ND	ND	ND	ND
Gd	8,24	9,71	4,62	6,37	4,65	4,25	4,67	4,58	4,73	2,95	ND	ND	ND	ND	ND
Dy	7,31	9,50	3,98	4,93	4,98	4,31	4,83	4,40	4,89	3,49	ND	ND	ND	ND	ND
Ho	1,61	2,01	0,74	0,94	0,91	0,82	0,99	0,93	0,88	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Er	4,50	5,12	1,97	2,15	2,48	2,43	2,77	2,22	2,58	1,94	ND	ND	ND	ND	ND
Tm	0,61	0,68	0,30	0,33	0,33	0,29	0,36	0,29	0,41	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	3,74	4,48	1,56	1,84	2,18	2,17	2,62	2,12	1,87	1,72	ND	ND	ND	ND	ND
Lu	0,69	0,75	0,35	0,29	0,40	0,31	0,38	0,31	0,40	0,24	ND	ND	ND	ND	ND
Eu/Eu*	0,30	0,29	0,31	0,34	0,35	0,40	0,36	0,33	0,35	0,44	ND	ND	ND	ND	ND

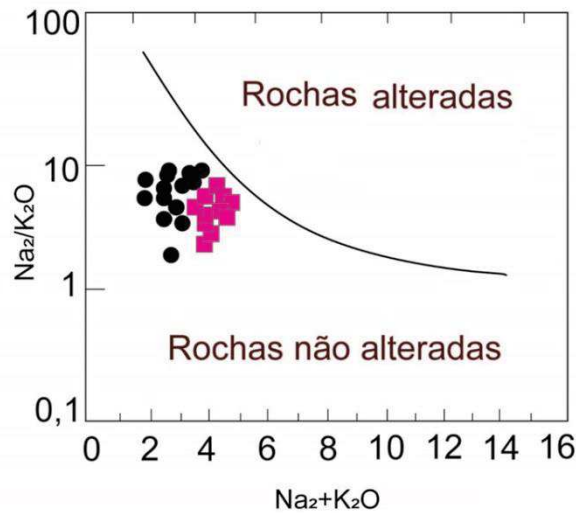


Figura 6. Diagrama de Miyashiro (1975) para a discriminação de rochas que sofreram alterações por processos hidrotermais aplicado para os diques máficos estudados. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 6. Diagram by Miyashiro (1975) for the discrimination of rocks that have undergone alterations by hydrothermal processes applied to the studied mafic dykes. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

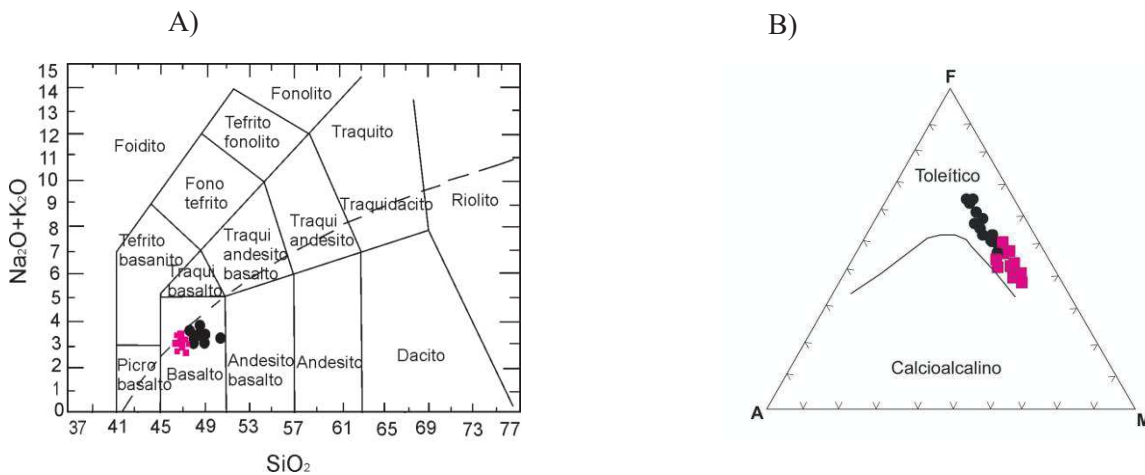


Figura 7.A) Diagramas de Discriminação total de álcalis versus sílica (TAS), segundo Le Bas *et al* (1986), para os diques máficos do BG e CHD. A linha tracejada divide o campo dos basaltos, de acordo com Zanettin (1984). Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD 6. B) Diagrama A (Na_2O+K_2O), F(FeOt), M(MgO), segundo Irvine & Baragar (1971) para os diques máficos do BG e da CHD. A linha cheia representa a suíte toleítica do Hawaii, segundo MacDonald & Katsura (1964). B). Figure 7. Discrimination diagrams A) total alkali versus silica diagram (TAS), according to Le Bas *et al* (1986), for the BG and CHD mafic dykes. The dashed line divides the basalts field, according to Zanettin (1984). Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes. B) Diagram A ($Na_2O + K_2O$), F (FeOt), M (MgO), according to Irvine and Baragar (1971) for the mafic dykes of Bloco Gavião and Chapada Diamantina. The full line represents Hawaii's tholeiitic suite, according to MacDonald and Katsura (1964).

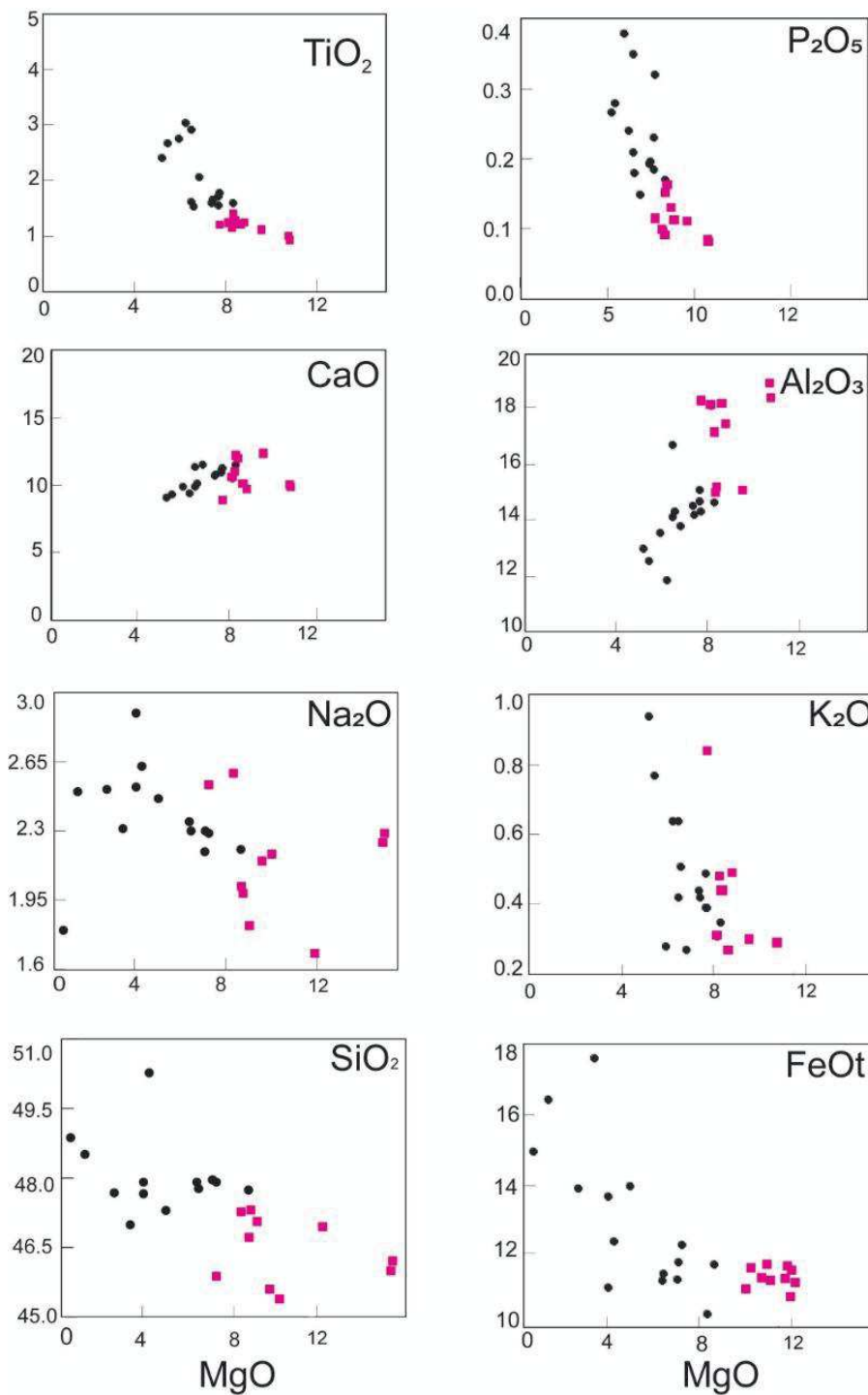


Figura 8. Diagramas de variação química do MgO (% em peso) *versus* elementos maiores (% em peso) para os diques máficos do BG e da CHD. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 8. Diagrams of chemical variation of MgO (% by weight) *versus* larger elements (% by weight) for the mafic dykes BG and Chapada Diamantina. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

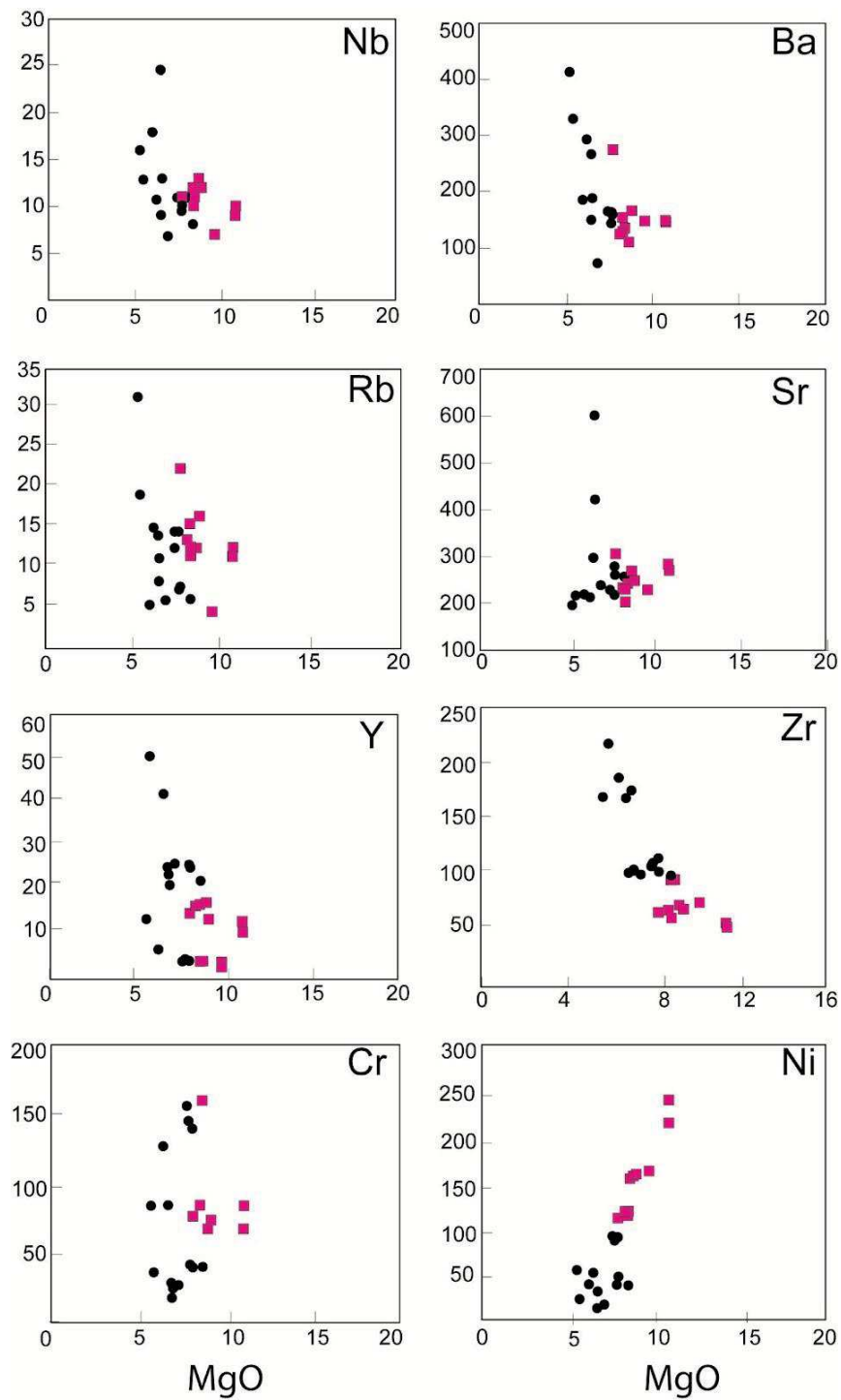


Figura 9. Diagrama de variação química do MgO (% em peso) versus elementos traços (em ppm) para os diques máficos do BG e da CHD. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 9. Diagram of chemical variation of MgO (% by weight) versus trace elements (in ppm) for the mafic dykes of BG and CHD. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

Os padrões geoquímicos dos elementos terras raras (ETR) normalizados para o condrito segundo McDonough & Sun (1995) mostram que os diques BG apresentam disposição espacial sub-horizontal a discretamente fracionado em ETRP (pesados), com anomalias levemente negativa de Eu. Apresentam discreto fracionamento com valores de (La/Sm)_N variando de 1,22 a 2,33 (média = 1,86 ± 0,29), (La/Yb)_N variando de 2,62 a 4,89 (média = 3,66 ± 0,69) e (Sm/Yb)_N entre 1,41 a 2,37 (média = 1,98 ± 0,29). Comparando o padrão dos ETR dos diques máficos de Brumado com o do MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt; (Sun & McDonough, 1989) tipos E-(enriched) MORB, N-(normal) MORB, OIB (Ocean Island Basalt) e GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank & Langmur, 1998) observa-se que possuem valores entre os padrões E-MORB e OIB (Pereira Varjão & Menezes Leal, 2019) (Figura 10A). Para os diques da Chapada Diamantina os padrões geoquímicos dos ETR normalizados para o condrito de McDonough & Sun (1995) mostram que essas rochas apresentam ETRL (leves) médio a fortemente enriquecidos em relação aos ETRI (intermediários), não ocorrendo variações no enriquecimento de ETRI em relação aos ETRP. Os padrões são moderadamente fracionados com valores de (La/Yb)_N entre 1,98 a 5,83, (La/Sm)_N entre 1,58 a 2,82 e (Sm/Yb)_N entre 0,57 a 2,57. Comparando o padrão dos ETR dos diques máficos da CHD com o do MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt; Sun & McDonough, 1989) tipos E-(enriched) MORB, N-(normal) MORB e OIB (Ocean Island Basalt), observa-se que, possuem valores semelhantes aos padrões E-MORB (Figura 10A1).

Na figura 10B é apresentado o diagrama multielementar de elementos incompatíveis, normalizados para o manto primitivo dos diques máficos do Bloco Gavião (McDonough & Sun, 1995). Os padrões apresentam, de maneira geral, anomalias negativas de Nb, P e Y, positivas de Sr, Ba, Ce e La. Quando comparados com os padrões E (Enriched)-MORB, N (Normal)-MORB, OIB (Ocean Island Basalt) (Sun & McDonough, 1995) e GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank & Langmur, 1998) observa-se que os diques BG possuem valores semelhantes aos padrões E-MORB. Embora exista alguma semelhança com o padrão de GLOSS, nota-se que as concentrações de elementos LILE (Rb, Ba e K) são bem mais elevadas neste, evidência confirmada no confronto das razões que envolvem esses elementos, assim como nos elementos ETRL (La, Ce) (Pereira Varjão & Menezes Leal, 2019) (Tabela 3). Na figura 10B1 é apresentado o diagrama multielementar de elementos incompatíveis, normalizados para o manto primitivo dos diques máficos CHD (McDonough & Sun, 1995). Os padrões apresentam, de maneira geral, anomalias negativas de Nb, Y, P e Ce e positivas de Sr, Ba e La. Quando comparados com os com os padrões E (Enriched)-MORB, N (Normal)-MORB, OIB (Ocean Island Basalt) (Sun & McDonough, 1995) e GLOSS

(Global Subducting Sediment; Plank & Langmur, 1998) observa-se que os diques da CHD possuem valores semelhantes aos padrões entre E-MORB e OIB. No diagrama Th/Yb versus Nb/Yb (Figura 11) os diques estudados situam-se dentro do alinhamento MORB-OIB, próximas do E-MORB, exceto uma amostra do Bloco Gavião que se aproxima do OIB o que sugere restrita e talvez local influência desse componente na origem do manto parental. As três amostras restantes situam-se paralelamente junto ao contorno externo do alinhamento, não mostrando tendência no aumento das razões Th/Yb, e conseqüente deslocamento vertical, feição típica da influência de sedimentos subductados (Pearce, 2008).

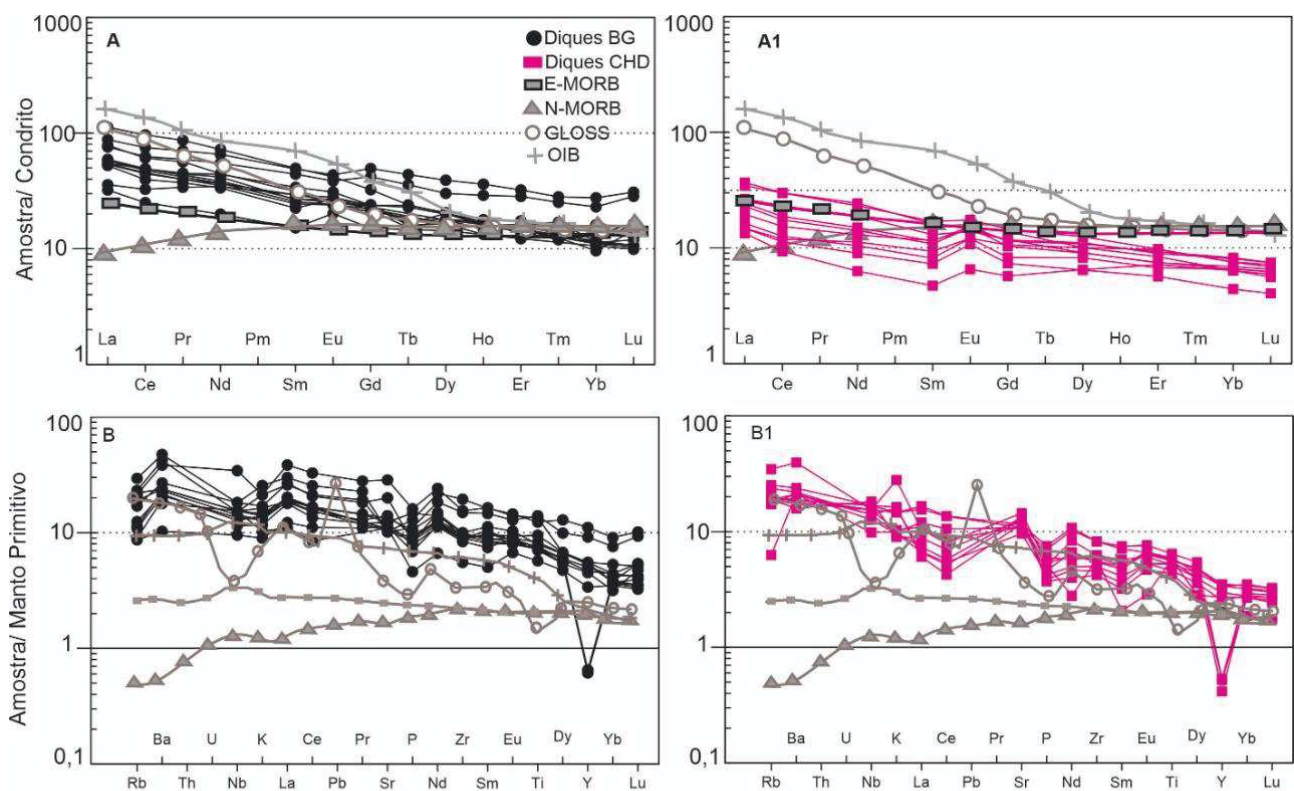


Figura 10. Diagramas de ETR e incompatíveis para os diques máficos estudados. (A) Padrão de distribuição dos ETR para os diques máficos do BG. Padrões dos ambientes OIB (*Ocean Island Basalt*), E-MORB (*Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt*) e N-MORB (*Normal Mid-Ocean Ridge Basalt*), de acordo com Sun e McDonough (1989) e GLOSS (*Global Subducting Sediment*; Plank & Langmur, 1998), para comparação. (A1) Padrão de distribuição dos ETR para os diques máficos da CHD. Padrões dos ambientes OIB (*Ocean Island Basalt*), E-MORB (*Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt*) e N-MORB (*Normal Mid-Ocean Ridge Basalt*), de acordo com Sun e McDonough (1989) e GLOSS (*Global Subducting Sediment*; Plank e Langmur, 1998), para comparação. (B) Diagrama multielementar para os diques máficos do BG Padrões dos ambientes OIB (*Ocean Island Basalt*), E-MORB (*Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt*) e N-MORB (*Normal Mid-Ocean Ridge Basalt*), de acordo com Sun e McDonough (1989) e GLOSS (*Global Subducting Sediment*; Plank e Langmur, 1998), para comparação. (B1) Diagrama multielementar para os diques máficos da CHD. Padrões dos ambientes OIB (*Ocean Island Basalt*), E-MORB (*Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt*) e N-MORB (*Normal Mid-*

Ocean Ridge Basalt), de acordo com Sun e McDonough (1989) e GLOSS (*Global Subducting Sediment*; Plank e Langmur, 1998), para comparação. Símbolos como na figura 06. Figure 10.(A) REE distribution pattern for BG mafic dykes. Standards for the OIB (Ocean Island Basalt), E-MORB (Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt) and N-MORB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) environments, according to Sun and McDonough (1989) and GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank and Langmur, 1998), for comparison. (A1) REE distribution pattern for CHD mafic dykes. Standards for the OIB (Ocean Island Basalt), E-MORB (Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt) and N-MORB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) environments, according to Sun and McDonough (1989) and GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank and Langmur, 1998), for comparison. (B) Multi-element diagram for the BG mafic dykes Standards of the OIB (Ocean Island Basalt), E-MORB (Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt) and N-MORB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) environments, according to Sun and McDonough (1989) and GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank and Langmur, 1998), for comparison. (B1) Multi-element diagram for the CHD mafic dykes. Standards for the OIB (Ocean Island Basalt), E-MORB (Enriched Mid-Ocean Ridge Basalt) and N-MORB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) environments, according to Sun and McDonough (1989) and GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank and Langmur, 1998), for comparison. Symbols as in figure 06.

Tabela 3. Valores médios de razões de elementos incompatíveis dos diques máficos estudados, do GLOSS (Plank & Langmuir, 1998), N-MORB, E-MORB (McDonough & Sun, 1995), OIB (Sun & McDonough, 1989) e Crosta Inferior (Hacker et al., 2015), Crosta Superior (Taylor & McLennan, 1985), Crosta continental CC média (Weaver, 1991). Table 3. Average values of ratios of incompatible elements of the studied mafic dykes, GLOSS (Plank and Langmuir, 1998), N-MORB, E-MORB (McDonough and Sun, 1995), OIB (Sun and McDonough, 1989) and Lower Crust (Hacker *et al.*, 2015), Superior Crust (Taylor and McLennan, 1985), Continental CC medium crust (Weaver, 1991).

Razão de Incompatíveis	Diques máficos BG	Diques máficos CHD	GLOSS	N-MORB	E-MORB	OIB	Crosta Inferior	Crosta Superior	Crosta Continental (média)
Rb/Sr	0,04	0,05	0,17	0,01	0,03	0,05	0,03	0,32	0,24
Zr/Y	4,61	4,53	4,36	2,64	3,32	9,66	4,25	8,63	5,00
Ce/Y	1,24	3,6	1,92	0,26	0,68	2,75	1,25	2,90	1,81
Ba/Nb	16,43	15	86,80	2,70	7,12	7,29	51,80	22,00	54,00
La/Yb	6,75	3,33	10,40	0,82	2,66	17,12	5,30	13,63	8,82
Ti/Zr	101,04	109,2	28,60	103,00	82,00	61,00	72,30	0,82	26,66
La/Nb	1,30	0,67	3,20	1,07	0,76	0,77	1,60	1,20	2,20
Ti/Y	433,57	489,3	124,70	271,00	273,00	593,00	307,20	7,10	133,33
Ba/La	12,40	24	26,90	2,52	9,04	9,46	32,40	18,33	25,00
Zr/Nb	11,23	6,37	14,50	31,76	8,79	5,80	13,60	7,60	16,20
La/Sm	3,13	2,06	5,00	0,95	2,42	3,70	3,07	6,66	5,00

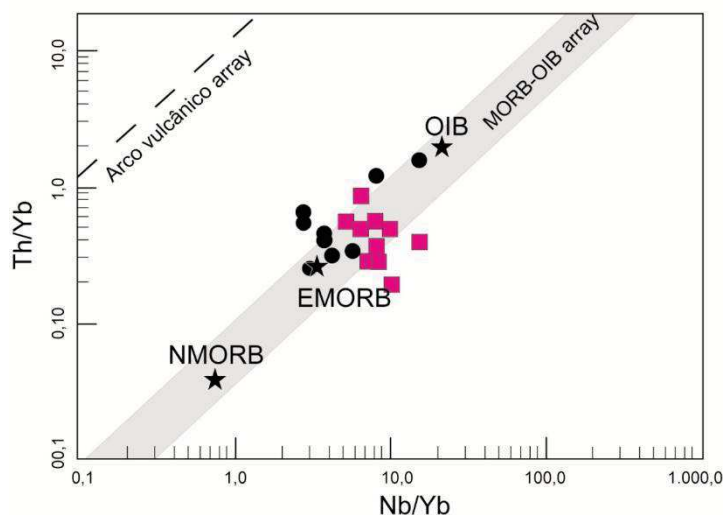


Figura 11. Diagrama Th/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2008) para os diques máficos estudados. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 11. Th / Yb versus Nb / Yb diagram (Pearce, 2008) for the studied mafic dykes. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

3.3 Elementos incompatíveis e Natureza da fonte

Os elementos incompatíveis são excelentes indicadores petrogenéticos, destacando-se como uma boa ferramenta para o estudo das propriedades e dos processos de gênese das rochas e da investigação de heterogeneidade mantélica, em consequência do pouco fracionamento desses elementos durante o processo de cristalização fracionada ou fusão parcial, permitindo então que essas razões reflitam as mesmas condições que prevaleciam na fonte original, quando ocorreu o processo de fusão parcial que deu origem a esses magmas. O diagrama da figura 12 mostra a disposição das amostras, alinhadas e seguindo um trend definido bem próximo a linha central pontilhada que passa pela origem que representa a razão condrítica que é igual a 100 (Hofman, 1988; Sun & McDonough, 1989; Wilson 1989; Kroner & Tegtmeier, 1994). Os diques BG e CHD se alinham muito próximo à razão condrítica. Há um pequeno desalinhamento nos valores de Zr de quatro amostras do BG, isto está associado provavelmente à contaminação crustal, fato comum nessas rochas.

A comparação das razões de incompatíveis entre os diques de Brumado e da Chapada Diamantina com os valores médios da crosta inferior mostra grande semelhança no que diz respeito à maioria das razões de elementos incompatíveis (Rb/Sr, Zr/Y, Ce/Y, La/Y, La/Nb, Zr/Nb e La/Sm) (Tabela 3). O diagrama da figura 13 mostra que Zr e Nd, Y, Ce, e La têm uma correlação positiva sugerindo uma fonte mantélica relativamente homogênea para os dois conjuntos de diques máficos.

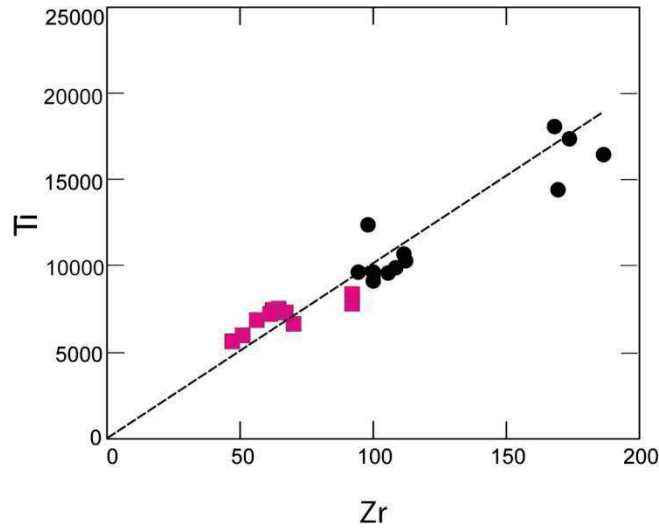


Figura 12. Diagrama Zr-Ti. Para as amostras dos diques máficos da região da Chapada e do Bloco Gavião definem um *trend* único com razão próxima às razões condriticas. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 12. Zr-Ti diagram. The samples from the Chapada and Bloco Gavião regions define a single trend with a ratio close to chondritic reasons. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

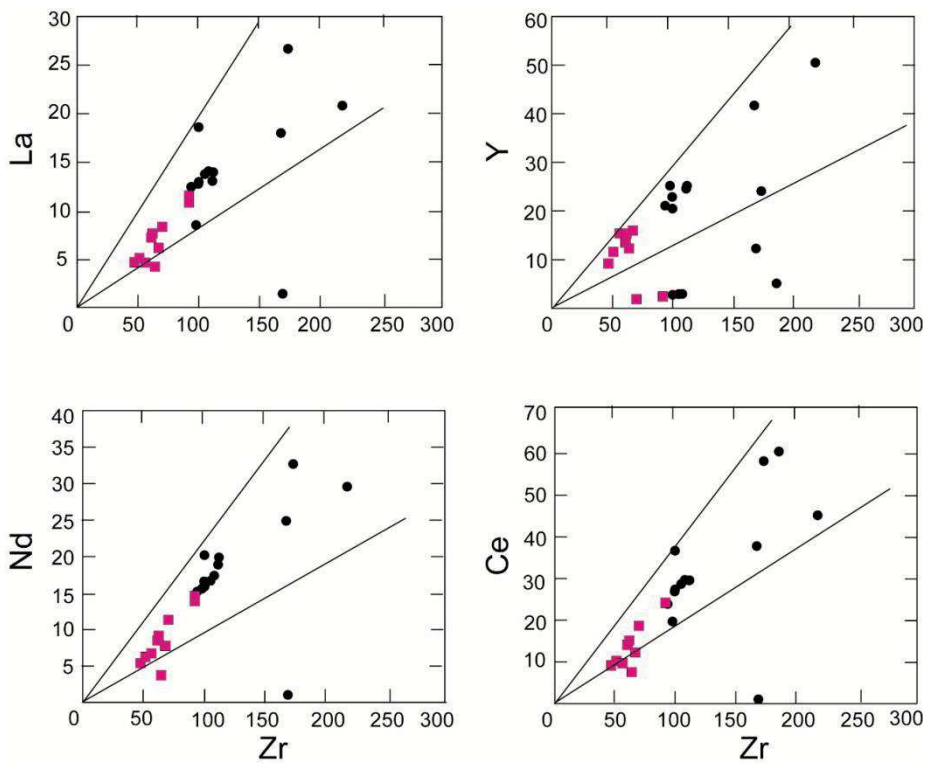


Figura 13. Diagramas de correlação entre Zr (ppm), e elementos traços (ppm) para os diques máficos do BG e da CHD. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 13. Correlation diagrams between Zr (ppm) and trace elements (ppm) for the BG and CHD mafic dykes. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

3.4 Geoquímica Isotópica

As análises isotópicas para Nd e os dados obtidos para as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, assim como os demais parâmetros calculados, constam na tabela 4. Os resultados apresentaram valores muito próximos entre as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e Sm/Nd nas rochas, tanto nas amostras da região da Chapada Diamantina quanto nas de Brumado, e não houve um espalhamento dos pontos nas razões para se obter uma isócrona, motivo pelo qual não foi possível definir uma idade isocrônica. Desta forma, os dados foram interpretados neste trabalho apenas para fins petrogenéticos.

Por fazerem parte de um mesmo contexto tectônico de formação, os diques máficos de Brumado podem ser cronocorrelacionados aos diques da Chapada Diamantina. Guimarães et al. (2005) obtiveram idade em torno de $1496 \pm 3,2$ Ma nos gabros intrusivos em rochas metassedimentares da Chapada Diamantina, pelo método U-Pb, Laser Ablation, em zircão e Silveira et al. (2013) obtiveram idade U-Pb (ID-TIMS) de $1501 \pm 9,1$ Ma em badeleíta no dique máfico intrusivo nos quartzitos na Formação Mangabeira. Dessa forma, consideraremos neste trabalho para o tratamento isotópico a idade de 1,5Ga.

As concentrações de Sm variam entre 2,2 e 7,3 ppm (BG) e 1,6 e 3,6 ppm (CHD) e de Nd entre 9 e 32,7 ppm (CHD) e 6,3 e 15,9 ppm (BG). Destes valores resultam razões Sm/Nd muito semelhantes para as duas populações de diques máficos entre 0,1759 a 0,1305, razões iniciais $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ estão entre 0,51142 e 0,51207, o $\epsilon\text{Nd}(1,5 \text{ Ga})$ varia de -8,58 a -4,4 (CHD) e -23,5 a 7,0 (BG), as idades TDM variam entre 3,5 e 1,8 (CHD) e 4,0 e 1,6 (BG) e o fator de fracionamento variam de -0,11 a -0,34 (CHD) e -0,24 e -0,31 (BG). O diagrama da figura 14 mostra que algumas rochas estudadas plotam no campo mantélico, sendo que parte das amostras dos diques CHD e BG plotam no campo crustal, com variações nos valores de $\epsilon\text{Nd}(1,5 \text{ Ga})$, de uma amostra que possui valor de $\epsilon\text{Nd}(1,5 \text{ Ga})$ de -14.

Tabela 4. Dados analíticos de Sm/ Nd.
Table 4. Sm / Nd analytical data

AMOSTRA	DIQUES	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon(0)$	fSm/Nd	TDM (Ga)	$\epsilon(\text{TDM})$	T1 (Ma)	$\epsilon(\text{Nd})(t)$
BLV-012	RT/Basalto	2.23	9.0	0.1498	0.511429	-23.58	-0.24	4.0	0.47	1500.0	-14.61
BLV-07	RT/Basalto	5	19.9	0.1519	0.512181	-8.91	-0.23	2.1	3.24	1500.0	-0.35
BLV-05	RT/Basalto	4.3	15.6	0.1667	0.512280	-6.98	-0.15	2.4	2.57	1500.0	-1.23
BLV-04	RT/Basalto	7.3	32.7	0.1350	0.512183	-8.88	-0.31	1.6	4.20	1500.0	2.93
CHD-103	RT/Diabásio	3.15	14.6	0.1305	0.512337	-5.88	-0.34	1.2	5.04	1500.0	6.79

CHD-07	RT/Diabásio	1.59	6.26	0.1536	0.512198	-8.58	-0.22	2.1	3.21	1500.0	-0.33
CHD-02	RT/Diabásio	2.26	7.77	0.1759	0.512219	-8.18	-0.11	3.5	1.08	1500.0	-4.19
CHD-102	RT/Diabásio	3.6	15.9	0.1369	0.512270	-7.18	-0.30	1.5	4.49	1500.0	4.26
CHD-108	RT/Diabásio	3.3	13.9	0.1440	0.512375	-5.13	-0.27	1.4	4.66	1500.0	4.96
CHD-8B	RT/Diabásio	1.820	6.740	0.1633	0.512414	-4.37	-0.17	1.8	3.71	1500.0	2.03

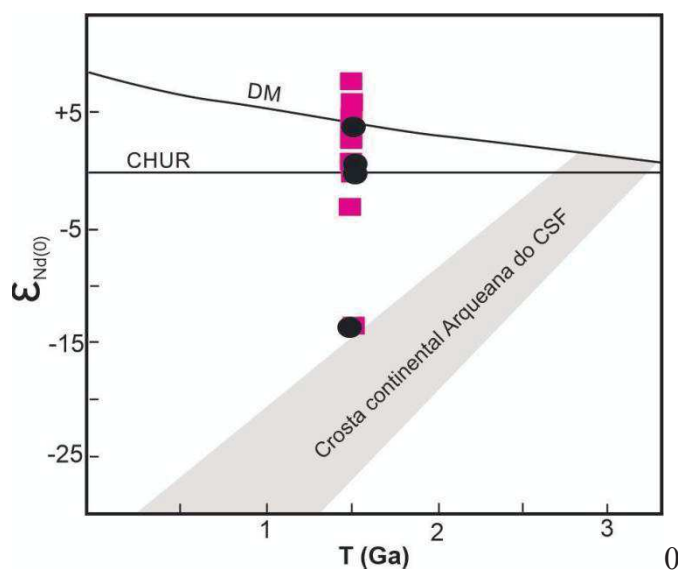


Figura 14. Diagrama de evolução isotópica para os diques da CHD e do GB. Símbolos: círculos pretos cheios-diques máficos do BG; quadrados rosa cheios-diques máficos da CHD. Figure 14. Diagram of isotopic evolution for the CHD and GB dykes. Symbols: black circles filled with BG mafic dykes; pink squares filled with CHD mafic dykes.

4 Discussão dos resultados

4.1) Geoquímica

A análise do comportamento dos elementos maiores nos diagramas binários mostra evidências de que as diferenciações nos conjuntos de rochas se deram de forma semelhante entre os dois conjuntos de diques, apesar dos diques BG apresentarem teores mais elevados de SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ba, Y, Nb e Zr em relação aos diques CHD. Os diagramas mostram que determinadas inflexões das linhas de diferenciação refletem o fracionamento mineral no processo (Fig. 8). Pode-se observar que os dois conjuntos de diques caracterizam um alinhamento das amostras nos diagramas e isso traduz uma homogeneidade no processo de evolução magmática, que governou a evolução dessas rochas. No entanto, os diques máficos BG foi provavelmente submetido à processos de contaminação crustal menos intensos em relação aos diques CHD. O comportamento do CaO e do

Al_2O_3 para os dois conjuntos de diques máficos, de maneira geral, é equivalente perante o processo de diferenciação, mostrando que esses elementos diminuem sua concentração com o avanço da cristalização caracterizando o fracionamento de plagioclásio e augita nas rochas, mas com percentual ligeiramente maior de plagioclásio nos diques BG. O TiO_2 se comporta incompativelmente durante o processo de cristalização, aumentando seus teores enquanto avança a cristalização, para os dois conjuntos de rochas, evidenciando que o fracionamento de óxidos de Ti não foram importantes no fracionamento sugerindo que essas condições possam estar associadas à baixa fugacidade de oxigênio. O Na_2O apresenta comportamento aproximadamente constante, apesar de indicar um discreto aumento com a diferenciação.

Com relação ao comportamento dos elementos traço foi possível observar que para a maioria dos elementos foi semelhante, com diferenças pouco significativas para os dois conjuntos de rochas. Este comportamento sugere a atuação do processo de cristalização fracionada. Uma diferença notada é com relação à concentração do Cr e Ni, que são elementos compatíveis em magmas básicos e assim mostram características importantes desse magmatismo em estudo. Nas amostras dos diques CHD as concentrações do Cr são maiores do que nas amostras dos diques BG, o que leva a esses elementos terem comportamento distinto nos dois líquidos. Em relação ao Cr às amostras dos dois conjuntos não mostram um alinhamento coerente. O Ni apesar de exibir uma diferença de concentração mais acentuada entre as duas populações demonstra um alinhamento, mostrando que os minerais que continham Ni evoluíram da mesma maneira neste processo. As concentrações de Cr refletem diferentes velocidades de ascensão dos dois magmas, BG pode ter permanecido longo tempo em uma câmara magmática mais profunda, na qual, se iniciou o fracionamento com a separação de minerais com Cr, posteriormente o líquido já bastante diferenciado saiu da câmara para ir se alojar nos diques e sills em níveis crustais mais elevados. Temperaturas mais elevadas, segundo Huppert & Sparks (1985), favorecem a assimilação de material crustal. Assim, como CHD é mais primitivo, é mais quente e mais susceptível a assimilação do material da encaixante. De maneira geral, todo o comportamento dos elementos traço nos confirma que a cristalização fracionada de plagioclásio+clinopiroxênio foi o que governou o processo de diferenciação magmática.

Os elementos incompatíveis dão informações importantes da presença de cristalização fracionada e /ou fusão parcial de maneira consistente. Eles têm K_d semelhantes e isto faz com que entrem nos minerais em proporções semelhantes, mantendo no líquido a razão entre eles. Os HFSE mostram uma evolução definida apresentando comportamento semelhante para o Zr, Y, Rb, Ba e Nb nos dois conjuntos de rochas aumentam seus teores com a evolução magmática, enfatizando o caráter

incompatível desses elementos no magma. Os dois conjuntos não mostram alinhamento do Sr, há uma dispersão, fato que provavelmente pode estar associado à mobilidade desse elemento em ambientes que sofreram processos de hidrotermalismo, assim essa dispersão reflete a atuação desse processo ou mesmo de assimilação de material da crosta. Os padrões de elementos incompatíveis, analisados nos diagramas multielementares normalizados para o manto primitivo, demonstram que a distribuição dos elementos nas duas populações de diques é, de uma forma geral, bastante semelhante na disposição de seus espectros. Apresentam anomalias consistentes e positivas de Ba, La, Sr e Eu e negativas de Nb, Nd, Sm e Y. Essa distribuição geoquímica é consistente com intrusões máficas em ambientes intracratônicos ou de arcos continentais (Hergt et al., 1991; Mazzucchelli et al., 1995; Rivalenti et al., 1995, 2007; Wang et al., 2016; Zanetti et al., 2016). Um dos modelos utilizados para a origem de magmas com tais características é atribuído à subducção da crosta oceânica coberta de sedimentos, de espessura variável, sob o manto litosférico em arcos de ilhas e continentes.

Este processo explica variações no enriquecimento/fertilização do manto, o que pode gerar esse tipo de assinatura. Fluidos ricos em elementos tipo LILE (Ba, K, Rb) e ETRL (La, Ce) provenientes da fusão de sedimentos enriquecem o manto, enquanto retenção de Nb e Ta pela presença do rutilo e determinados minerais máficos em eclogitos da placa oceânica o empobrecem nesses elementos (Ayes, 1998; Rivalenti et al., 1998; Leitch & Davis, 2001). Verifica-se uma anomalia positiva de K no padrão dos diques da Chapada Diamantina, não verificada no padrão dos diques do BG, pode estar relacionada aos processos de contaminação crustal ocorridos nessas rochas. As anomalias positivas de Sr e Eu atestam que a evolução dessas rochas se deu a partir do fracionamento e acumulação de plagioclásio. Com relação ao comportamento do Y, este elemento pode ter ficado retido em ETR pesadas se em algum momento do processo de diferenciação houve uma fusão mais profunda. Quando comparados com os padrões e concentrações de MORB (Mid-Ocean-Ridge-Basalt) dos tipos E (Enriched) - MORB e N (Normal) - MORB e OIB (Ocean-Island-Basalt) (McDonoug & Sun 1989) e Global Subducting Sediment (GLOSS) (Plank e Langmur, 1998), embora exista alguma semelhança com o padrão de GLOSS, nota-se que as concentrações de elementos LILE (Rb, Ba e K) são bem mais elevadas neste, evidência confirmada no confronto das razões que envolvem esses elementos, assim como nos elementos ETRL (La,Ce) (Tabela 2).

Os ETR se comportam de forma semelhante nos dois conjuntos de rochas, BG e CHD com leve enriquecimento de ETR leves [BG (La/Sm) $N=1,86 \pm 0,29$; CHD (La/Sm) $N=2,06 \pm 0,33$] em relação aos ETR pesados [BG (Sm/Yb) $N= 1,98 \pm 0,29$; CHD (Sm/Yb) $N=1,62 \pm 0,53$]. Este comportamento sugere uma única fonte mantélica, sendo que os diques máficos do BG apresentam

padrões um pouco mais enriquecidos de ETR [(La/Yb)_N = 3,66±0,69] em relação aos diques da CHD [(La/Yb)_N = 3,33±1,2]. O padrão apresentado é característico de suítes toleíticas. Comparando o padrão dos ETR dos diques máficos estudados com o do MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt; Sun e McDonough, 1989) tipos E-(enriched) MORB, N-(normal) MORB, OIB (Ocean Island Basalt) e GLOSS (Global Subducting Sediment; Plank e Langmur, 1998) observa-se que os diques estudados possuem valores semelhantes aos padrões E-MORB. Esse padrão apresentado para os diques máficos da CHD e do BG é corroborado pelos teores de mg#, ou seja, como os diques da CHD possuem valores mg# mais elevados (0,56 - 0,66), possuem padrões de ETR menos diferenciados em relação aos do BG. Há uma única diferença no comportamento do Eu entre as duas populações, nas rochas da CHD há uma anomalia positiva de Eu e nas rochas do BG esse elemento apresenta anomalia levemente negativa. Tal situação reforça a idéia de que o fracionamento se iniciou com o plagioclásio, pois as rochas da CHD, têm sua origem ligada à um magma mais primitivo como mostram os valores de #mg mais elevados, sendo menos evoluídas com maiores anomalias de Eu.

Para os dados isotópicos de Nd, analisados para as rochas do BG e CHD os valores de fSm/Nd variam de -0,11 a -0,34, são valores aproximadamente coerentes para rochas mantélicas (De Paolo et al., 1991). As idades TDM apresentaram-se bastante variadas, três amostras apresentam valores de idade TDM distantes da idade de cristalização proposta nesta pesquisa (1,5 Ga). A amostra (CHD-02) dos diques CHD apresentou idade TDM de 3,5 Ga (fSm/Nd -0,11) e duas amostras dos diques BG (BLV-012, BLV-05) apresentaram idades TDM de 4,0 e 2,5 Ga (fSm/Nd -0,24 e -0,15, respectivamente), apesar das rochas apresentarem valores de fracionamento ideais, esta idade elevada pode está associada ao fracionamento de algum mineral (e.g., epidoto). Também é observado que o valor εNd(1,5 Ga) é incomum para rochas máficas na amostra BLV-012, indicando algum processo que perturbou o sistema durante o fracionamento. As outras amostras dos diques BG apresentam valores de +2,93 a -1,23, estes valores indicam que a fonte mantélica possui variável grau de contaminação crustal. As rochas do CHD apresentam valores de εNd(1,5 Ga) +6,9 a -0,33, com uma maior variação da composição isotópica e mostrando um manto mais primitivo, corroborando com os dados geoquímicos e maior grau de contaminação crustal em relação ao BG. Desta forma, consideramos que estas rochas do BG e CHD foram formadas a partir de um manto enriquecido do tipo E-MORB com contribuições crustais em níveis variáveis. A figura 14 ilustra a evolução das rochas com o tempo e mostra que a maior parte delas divergem da linha de evolução da crosta continental Arqueana e Paleoproterozoica, ou seja, a maioria das rochas apresentam valores de

épsilon Nd próximos ou maior que o CHUR, exceto a mostra BLV -012 que mostra um trend de evolução similar a composição da crosta arqueana.

4.2) Inferências Geotectônicas

Para compreender a dinâmica de colocação dos diques CHD e BG inicialmente serão elencados aqui alguns trabalhos que foram feitos no sentido de entender a evolução de diversos enxames de diques em regiões de Crátons. Esses trabalhos são importantes fontes de referências no estudo da geodinâmica relacionada à formação de diques máficos, que são estudados neste trabalho de Doutorado. As inferências Geotectônicas sobre os diques da CHD e BG serão abordadas em seguida.

No CSF - na Bahia e em Minas Gerais, além daqueles situados no Cráton do Congo - na África, diversos enxames de diques foram estudados e tiveram sua dinâmica de colocação baseados nas interpretações apresentadas em diversos trabalhos (Teixeira et al., 1997; Côrrea Gomes e Oliveira, 1997; Côrrea Gomes, 1998a, b; Côrrea Gomes e Oliveira, 2000; Tack, 2001; Côrrea Gomes e Oliveira, 2002; Rosa et al., 2002, 2003, 2005; Chaves e Côrrea Neves, 2005; Rosset et al., 2007; Chaves et al., 2014; Girardi et al., 2016

O estudo de enxames de diques tem sido abordado por diversos autores para descrever processos que envolvem evolução mantélica no tempo e no espaço, utilizando mecanismos e processos tectônicos, tais como rupturas continentais com evolução para rift e posteriormente para os oceanos (Halls, 1982; Bossi et al., 1993; Bellieni et al., 1995; Mazzucchelli et al., 1995, 2000; Rivalenti et al., 1995; Iacumin et al., 2001, 2003; Primo, Guilherme et al., 2020).

No contexto da Plataforma Sul-Americana, diversos trabalhos buscam caracterizar enxames de diques, principalmente em segmentos cratônicos, como o Cráton São Francisco, descrevendo a petrologia, a geoquímica e a geocronologia dos diques de idade Meso a Paleoproterozoica (Moraes Brito et al., 1989; Bastos Leal et al., 1994; Bellieni et al., 1995; Mazzucchelli et al., 2000; Corrêa da Costa et al., 2006; Girardi et al., 2017).

No Cráton Amazônico, alguns autores apresentam informações originadas de estudos de diques que auxiliam no entendimento dos processos geodinâmicos reelacionados a essas estruturas além das condições da origem do magmatismo e sua fonte mantélica (Silva et al., 1980; Rivalenti et al., 1998; Santos et al., 2000; Menezes Leal et al., 2000; Teixeira et al., 2006; Corrêa da Costa et al., 2008, 2009; Teixeira et al., 2011; Girardi et al., 2013; Teixeira et al., 2016; Trindade Netto et al., 2016; Teixeira et al., 2019; Giovanardi et al., 2019; Primo, Guilherme et al., 2020).

A partir da compilação de dados geocronológicos, geotectônicos e paleomagnéticos, diversos trabalhos relacionam o estudo de diques com possíveis rupturas de paleocontinentes (Bispo-Santos et al., 2008; Teixeira et al., 2011; Bispo-Santos et al., 2012; Ernst, 2013; Ernst e Buchan, 2001; D'Agrella Filho et al., 2015; Teixeira et al., 2016; Ernst et al., 2016; Primo, Guilherme et al., 2020).

De acordo com White (2010), plumas mantélicas representam a expressão física de um fluxo de rocha proveniente de porções profundas do manto, verticalizado ascendente e termalmente controlado. Quando esta se aproxima da superfície terrestre, as rochas entram em processo de fusão por descompressão, produzindo magmas. Campbell (2001) postula que as características químicas de magmas provenientes de plumas apontam sua origem em uma zona anormalmente quente do manto sob a litosfera. Esta zona é representada pela cabeça de uma pluma que se espalha radialmente, mantendo a sua porção central mais quente que suas bordas. A região da cabeça da pluma produz magmas picríticos na sua parte central, enquanto em direção às suas margens são produzidos magmas toleíticos e alcalinos. (Amorim, 2017).

Os enxames de diques máficos são gerados a partir de hotspots, que são interpretados como a manifestação superficial de plumas do manto que atingem a base da litosfera (Condie, 2001; Maruyrana et al., 2007). Os extensos enxames de diques máficos representam rifting crustal inicial ou incipiente (Farig, 1987; Lecheminant e Heaman, 1989; Ernst et al., 1995; Amorim, 2017).

A colocação dos diques máficos de Curaçá e Chapada Diamantina (Bahia) ocorreu em 1,5 Ga (U-Pb badeleíta, SILVEIRA et al, 2013) correlacionado com um episódio extensivo particular, que é também registrado no Rift do Espinhaço e na contraparte africana. Ainda segundo esses autores, os diques de Salvador-Olivença, na Bahia (0,92 Ga) (U-Pb badeleíta EVANS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2012) e Diamantina, em Minas Gerais (0,93 Ga) (U-Pb zircão, GIRARDI et al., 2013) são coevos, com similaridades nas composições das fontes mantélicas, o que sugere uma origem comum para os mesmos, relacionado a um episódio intrusivo intraplaca. Correlações regionais com eventos de magmatismo máfico no Cráton do Congo apoiam que tais atividades anorogénéticas são contemporâneas e provavelmente relacionadas à abertura de grandes bacias do tipo rift (Primo, Guilherme et al., 2020).

Goldberg (2010) postula que, nos registros geológicos, os eventos extensionais são tão comuns quanto os principais episódios orogénéticos, e que esses eventos extensionais são importantes porque, em muitos casos, fornecem informações sobre a ruptura dos continentes (processos tafrogénéticos). Os grandes enxames de diques máficos (>100 km de extensão) correspondem a uma das melhores manifestações desses eventos distensivos e, segundo Halls e Fahrig (1987), a

preservação das ramificações das falhas relacionadas aos enxames de diques máficos reforçam essa ideia porque, tipicamente, rompem a crosta continental em ângulos elevados em direção à margem do continente, sendo, portanto, indicadores chave de eventos de paleo-rift (ou proto-rift). (Primo, Guilherme et al., 2020).

Os diques máficos da CHD e do BG mostram uma evolução magmática semelhante do ponto de vista do comportamento dos elementos maiores, porém os diques do BG apresentaram teores de SiO₂, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Ba, Y e Zr mais elevados em relação aos diques da CHD, para os dois enxames os valores de FeO_t são semelhantes e de CaO e Al₂O₃ mais baixos. O padrão de ETR para os dois enxames demonstram uma distribuição espacial semelhante, típica de magmas toleíticos. O leve enriquecimento de ETR leves em relação aos ETR pesados sugere um enriquecimento na fonte mantélica, assim os diques máficos do BG apresentam um padrão mais enriquecido do que os diques da CHD, caracterizando uma fonte mantélica mais diferenciada. Com relação aos valores de #mg para os diques máficos CHD (0,56 a 0,66) e do BG (0,27 a 0,51) indicam sua origem a partir de líquidos basálticos evoluídos. No entanto, os diques da CHD são mais primitivos que os do BG.

A natureza da fonte deste magmatismo básico intraplaca das regiões de Brumado e Chapada Diamantina exibem características semelhantes à de reservatórios E-MORB, com contaminação crustal diferencial, mas, no entanto, mais pronunciada nos diques da CHD.

Com base nas informações organizadas e geradas nesse trabalho é proposto um modelo preliminar para explicar a fonte dos magmas e região de influência da pluma mantelica que afetou a região de Brumado – Chapada Diamantina (Fig. 15).

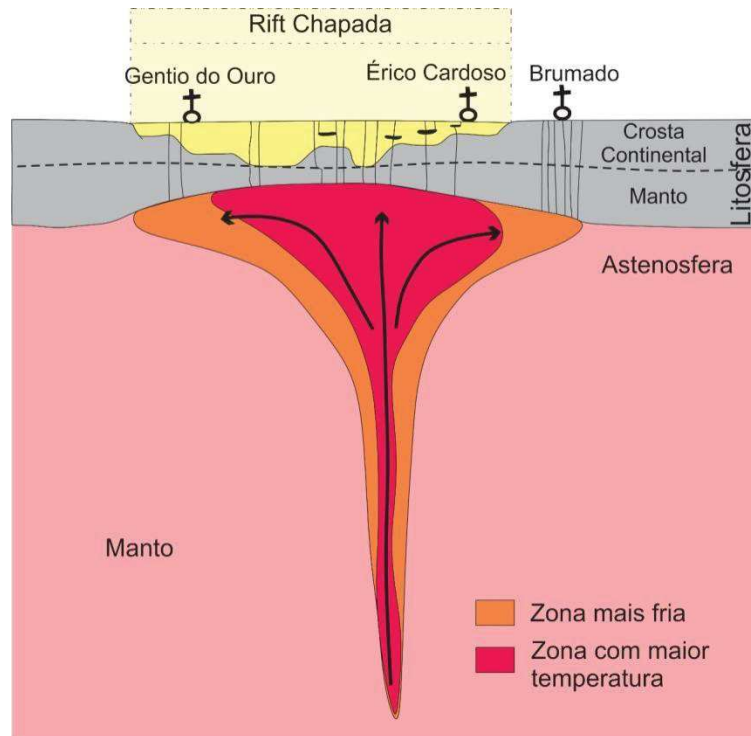


Figura 15. Cenário esquemático da gênese dos diques CHD e BG. FONTE: Autoria própria. Figure 15. Schematic scenario of genesis of the CHD and BG dykes. SOURCE: Own authorship.

Os valores de #mg para os gabros encontrados na Chapada Diamantina, sugerem que estas rochas são mais primitivas que os gabros estudados na região de Brumado (Fig. 16). No mapa fica claro um “trend” que sai da região de Brumado e vai em direção à Chapada Diamantina aumentando nesse sentido os valores de #mg.

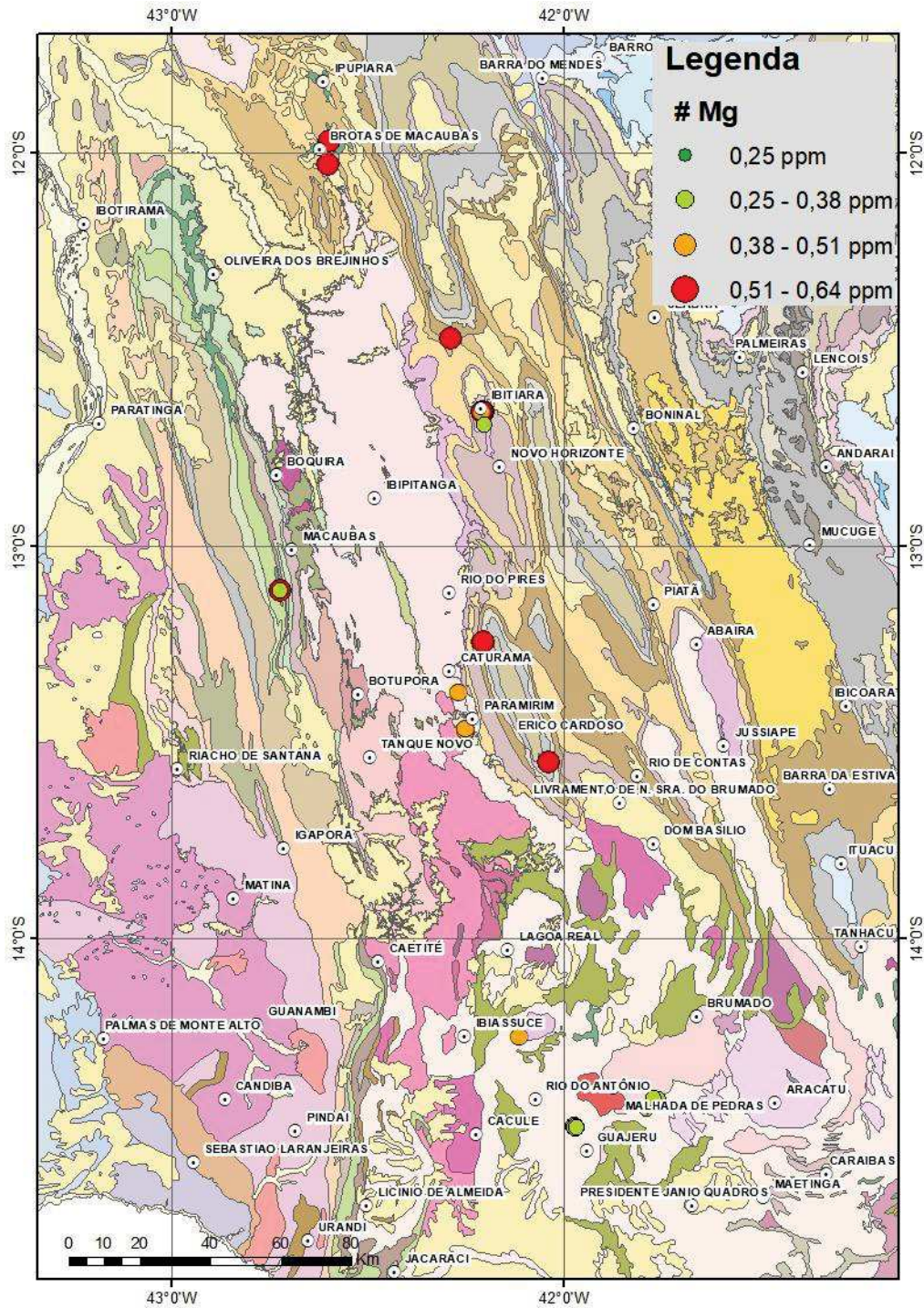


Figura 16. Mapa de distribuição de valores de #mg da região de estudo. Figure 16. Distribution map of #mg values of the study region.

Esta diferença nos valores de #Mg pode estar relacionada a uma maior taxa de fusão do manto subcontinental na região da Chapada Diamantina quando comparado a região de Brumado. Esta maior taxa de fusão pode ser explicada pelo posicionamento da cabeça da pluma (região de maior temperatura da pluma) associado a uma menor espessura da litosfera onde desenvolveu o rift.

6. Conclusões

O estudo associado de observações de campo, petrografia e litogeoquímica neste trabalho permitiram o reconhecimento dos processos envolvidos na gênese do magmatismo máfico desta região assim como na caracterização geológica dessas rochas e conseqüentemente no entendimento amplo do contexto deste magmatismo. As conclusões deste estudo são sumarizadas abaixo:

Os diques e sills máficos da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião na região de Brumado são rochas basálticas bastante semelhantes do ponto de vista geológico, petrográfico e geoquímico.

Ambos os conjuntos de diques máficos são representando por litotipos sem foliação, isotrópicos, em campo seus contatos com as encaixantes são difíceis de observar. Petrograficamente essas rochas são representadas pela mineralogia típica de gabros contendo clinopiroxênio, plagioclásio (labradorita), e ortopiroxênio essencialmente.

O comportamento geoquímico e as concentrações dos elementos maiores e traço mostraram que o fracionamento de plagioclásio e piroxênio tiveram um papel importante na evolução magmática dessas rochas e que os diques são típicos toleítos continentais diferenciados de um magma "primitivo", com trend de diferenciação rico em ferro e ainda que o processo evolutivo dessas rochas foi governado por uma cristalização fracionada que se deu em ambiente continental.

Os valores de mg# para os diques máficos CHD (0,56 a 0,66) e do BG (0,27 a 0,51) indicam sua origem a partir de líquidos basálticos evoluídos. No entanto, os diques da CHD são mais primitivos que os do BG.

O padrão de ETR para os diques máficos CHD e do BG demonstra uma distribuição espacial bem semelhante, típica de magmas toleíticos com disposição subhorizontalizado a discretamente fracionados, com anomalias levemente negativas de Eu para o BG e positivas para os diques CHD.

O leve enriquecimento de ETR leves em relação aos ETR pesados sugere uma única fonte mantélica, sendo que os diques máficos d BG apresentam um padrão pouco mais enriquecido de ETR do que os diques da CHD, caracterizando uma fonte mais diferenciada do que àquela da CHD.

A natureza da fonte deste magmatismo básico intraplaca das regiões de Brumado e Chapada Diamantina exhibe características semelhantes à de reservatórios E-MORB, com contaminação crustal diferencial, mas, no entanto, mais pronunciada nos diques da CHD.

Com relação ao comportamento dos elementos incompatíveis eles refletem nos Basaltos e Diabásios das regiões estudadas de maneira geral, as mesmas razões que mantinham no manto, comprovando a homogeneidade da fonte mantélica. Por outro lado, algumas poucas amostras mostram-se desalinhadas nestes diagramas indicando contaminação crustal, fato normal nessas rochas. Durante a colocação de líquidos mantélicos na crosta continental os líquidos mais primitivos, com temperaturas mais elevadas, assimilam mais facilmente materiais das encaixantes que os mais diferenciados, cujas temperaturas são mais baixas (Huppert & Sparks, 1985).

Os dados isotópicos das amostras da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião de maneira geral corroboram com os dados geoquímicos destas rochas. Desta forma estes dados mostram que a maioria das amostras dos diques da CHD e do BG apresentam valores de ϵ_{Nd} maior que o CHUR, como o esperado. O fator de fracionamento para os dois conjuntos de rochas confirma seu caráter mantélico. Foi possível perceber através dos valores de ϵ_{Nd} (1,5 Ga), que as rochas da CHD são mais primitivas e foram afetadas mais intensamente pelo processo de contaminação crustal em relação às do BG.

A partir da integração dos dados geológicos, petrográficos, geoquímicos e isotópicos neste trabalho, conclui-se que há uma grande probabilidade do magmatismo alimentador desses diques ter sua origem relacionada à atuação de uma pluma mantélica, durante a formação do magma. Esse magmatismo tem diferenças entre as duas regiões. No entanto tais diferenças são pontuais e mostram evidências de um magmatismo que foi submetido aos processos de contaminação crustal. A fonte se mostra homogênea e as diferenças no comportamento geoquímico de algumas amostras reforça a idéia de que essas rochas foram afetadas pelo processo de hidrotermalismo, presente na região da Chapada Diamantina e Bloco Paramirim que foi alvo de diversos eventos termotectônicos ao longo de sua história geológica.

8. Agradecimentos

Agradeço à CAPES por conceder a bolsa de Doutorado para auxílio aos estudos, ao projeto CNPq, Processo 476901/2013-8) onde meu projeto estava inserido, ao apoio da pós-graduação de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia e ao NGB- Núcleo de Geologia Básica da Universidade Federal da Bahia.

9. Referências Bibliográficas

- Almeida, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, [s.l.], v. 7, p.285-295, 1977.
- Arndt, N. T., Christensen, U. (1992). The role of lithospheric mantle in continental flood volcanism: thermal and geochemical constraints. *Journal of Geophysical Research*, 97(B7), 10967-10981. <https://doi.org/10.1029/92JB00564>
- Amorim, A. C. P. (2017). *Petrologia dos Enxames de Diques Máficos Ectasiano de Itajú do Colônia e Criogeniano de Itapé, Sudeste do Estado da Bahia*. 2017.
- Ayers, J. (1998). Trace element modeling of aqueous fluid-peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zones. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 132, 390–404.
- Brito, D. C. (2008). *Geologia, petrografia e litogeoquímica dos diques máficos que ocorrem na porção sudoeste da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil*. Dissertação (Mestrado). Salvador: Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 107p.
- Corrêa da Costa, P. C. (2003). *Petrologia, Geoquímica e Geocronologia dos Diques Máficos da Região de Crixás-Goiás, Porção Centro-Oeste do Estado de Goiás*. Tese (Doutorado). São Paulo: Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, 151p.
- Corrêa da Costa, P. C., Girardi, V. A. V., Matos, J. B., Ruiz, A. S. (2009). Geocronologia Rb-Sr e Características Geoquímicas dos Diques Máficos da Região de Nova Lacerda e Conquista D Oeste (MT), Porção Sudoeste do Craton Amazônico. *Geologia USP. Série Científica*. 9, 115–132. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2009000100008>
- Côrrea-Gomes L. C. *Diques Máficos. Uma reflexão teórica sobre o tema e o seu uso no entendimento prático da geodinâmica fissural. Exemplos de Salvador e Ilhéus-Olivença, Zona Costeira Atlântica do estado da Bahia*. Brasil. 1992. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, IGEO, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1992.

- Corrêa-Gomes, L. C., Tanner de Oliveira, M. A. F., Mota, A. C., Cruz, M. J. M. (1996). Província de Diques Máficos do Estado da Bahia. Mapa, estágio atual do conhecimento e evolução temporal. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais – SGM/SICM. 144p.
- Cruz Filho, B. E., Rios, D. C., Scheller, T., Conceição, H., Macambira, M. J. B., Oliveira, A. E. L., Burgos, C. M. G. (1999). Petrography and Pb-Pb age of the Nordeste batholith, northeastern of the State of Bahia. In: II South American Symposium on Isotopic Geology, Cordoba.
- CPRM/CBPM. (2003). Geologia e recursos minerais do estado da Bahia – Sistema de Informações Geográficas – SIG, escala 1:1.000.000.
- Guimarães, J. T., Martins, A. A. M., Andrade Filho, E. L., Loureiro, H. S. C., Arcanjo J. B. A., Neves, J. P., Abram, M. B., Silva, M., G., Melo, R. C., Teixeira, L., Bento, R. V. (2005). Projeto Ibitiara – Rio de Contas: Estado da Bahia. Salvador: CPRM, 157p., il. Inclui 3 mapas. Escala 1:200.000. Programa Recursos Minerais do Brasil.
- Hacker, B. R., Kelemen, P. B., Behn, M. D. (2015). Continental lower crust. *Annu. Rev. Earth Planet Science*, 43, 167–205.
- Halls, H. C. (1982). The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic process. *Geosciences Canada*, 9(3), 145-154.
- Halls, H. C., Fahrig, W. F. (1987). Mafic Dyke Swarms. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 34, 503p.
- Hergt, J. M., Peate, D. W., Hawkesworth, C. J. (1991). The petrogenesis of Mesozoic Gondwana low-Ti flood basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 105(1-3), 134-148.
- Irvine, T. N., Baragar, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of common rocks. *Canadian Journal Earth Science*, 8, 523-548.
- Jacques, A. L., Green, D. H. (1979). Determination of liquid compositions in high-pressure melting of peridotite. *American Mineralogist*, 64, 1312-1321.

- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on total álcali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- Leitch, A. M., Davis, G. F. (2001). Mantle plumes and flood basalts: enhanced melting from plume ascent and an eclogite component. *Journal of Geophysical Research*, 106, 2047–2059.
- MacDonald, G. A., Katsura, T. (1964). Chemical composition of Hawaiian Lavas. *Journal of Petrology*, 5, 82-133.
- MacDonough, W. F., Sun, S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, 223-253.
- Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Piccirillo, E. M., Girardi, V. A. V., Civeta, L., Petrini, R. (1995). Petrology of the Proterozoic mafic dyke swarms of Uruguay and constraints on their mantle source composition. *Precambrian Research*, 74(3), 177-194.
- Menezes Leal, A. B., Corrêa-Gomes, L. C., Guimarães, J. T. (2012). Diques Máficos. In: Barbosa, J.S.F. (Coordenação Geral). *Geologia da Bahia. Pesquisa e Atualização*. Salvador. 2, 199-231.
- Menezes Leal, A. B., Barbosa, N. S., Leal, L. R. B., Cunha, J. C. (2016). Geocronologia U-Pb em zircão do greenstone belt Umburanas, bloco Gavião, cráton do São Francisco. In: XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre: SBG.
- Miyashiro, A. (1975). Classification, characteristics, and origin of ophiolites. *Journal of Geology*, 83, 249-281.
- Oliveira, E. P & Montes, M. L. (1984). Os enxames de diques máficos do Brasil. In: XXXIII Congresso Brasileiro Geologia, p.4137-4154. Rio de Janeiro: SBG
- Pearce, J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100(1), 14–48.

- Pereira, L. M. (2007). Geologia Petrografia e Geoquímica dos diques máficos da porção sudoeste do bloco Gavião, Bahia, Brasil. Monografia (Graduação). Salvador: Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 80p.
- Pereira Varjão, L. M. (2011). Geologia, Petrografia e Litpgeoquímica dos Diques Máficos da porção sudeste do Bloco Gavião. Bahia, Brasil. Dissertação (Mestrado) Salvador: Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 81p.
- Pereira Varjão, L. M. (2017). Petrologia da província de diques máficos Chapada Diamantina Paramirim. Correlação Geológica-Geofísica preliminar. III Oficina de avaliação e acompanhamento do Programa de Pós-Graduação em Geologia UFBA Caderno de Resumos, pag 30.
- Pereira Varjão, L. M., Menezes Leal, A, B. (2017). Correlação Geoquímica e Investigação da fonte mantélica dos diques máficos da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião (Brumado) Bahia, Brasil. XVI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, p 215-218. Salvador.
- Pereira Varjão, L. M., Menezes Leal, A, B. (2019). Geoquímica dos diques máficos de Brumado, porção sudeste do Bloco Gavião, Bahia, Brasil. Geol. USP, Série. Científica., São Paulo, v. 19, n. 3, p. 23-252.
- Pinheiro Amorim, A. C. (2017). Petrologia dos Enxames de Diques Máficos Ectasiano de Itajú do Colônia e Criogeniano de Itapé, Sudeste do Estado da Bahia. Tese (Doutorado) Salvador: Inst. de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 227p.
- Plank, T., Langmuir C.H. (1998). The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325–394.
- Primo, Guilherme Mene Ale; da Costa, Paulo César Corrêa; Girardi, Vicente Antonio Vitorio. (2020). Geoquímica dos diques máficos da região leste da Província Aurífera Alta Floresta: inferências sobre a fonte mantélica e implicações geodinâmicas. *Geologia USP. Série Científica*, v. 20, n. 4, p. 3-22.

- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Molesini, M., Petrini, R., Girardi, V. A. V., Bossi, J., Campal, N. (1995). Petrology of late proterozoic mafic dykes in the Nico Perez region, Central Uruguay. *Mineralogy and Petrology*, 55, 239-263.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Girardi, V. A. V., Cavazzini, G., Finatti, C., Barbieri, M. A., Teixeira, W. (1998). Petrogenesis of the Paleoproterozoic basalt-andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region - Amazonian Craton. *Lithos*, 43, 235–265.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Zanetti, A., Vannucci, R., Bollinger, C., Hémond, C., Bertotto, G. W. (2007). Xenoliths from Cerro de los Chenques (Patagonia): an example of slab-related metasomatism in the backarc lithospheric mantle. *Lithos*, 99, 45–67.
- Sun, S.-S. & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders e M.J. Norry (Eds.) *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society. London, pp. 313-345.
- Tanner de Oliveira, M. A. F. O Enxame de Diques Máficos de Olivença: Aspectos Geoquímicos e Petrogenéticos. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, IG, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M. (1985) *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell Scientific.
- Takahashi, E. & Kushiro, I. (1983). Melting of dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist*, 68, 859-879.
- Wang, X. C., Wild, S. M., Xu, B., Pong, J. P. (2016). Origin of arc-like continental basalts: implications for deep-Earth fluids cycling and tectonic discrimination. *Lithos*, 231, 5–45.
- Weaver, B. L. (1991). The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth Planetary Science. Letter*, 104, 381-397.

Zanetti, A., Giovanardi, T., Langone, A., Tiepolo, M., Wu, F.-Y., Dallai, L., Mazzucchelli, M. (2016).
Origin and age of zircon-bearing chromitite layers from the Finero phlogopite peridotite
(Ivrea–Verbano Zone, Western Alps) and geodynamic consequences. *Lithos*, 262, 58–74.

Zanettin, B. (1984). Proposed new classification of volcanic rocks. *Episodes*, 7, 19-20.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Os diques máficos estudados neste trabalho resultaram de um evento de magmatismo fissural intraplaca.

O estudo associado de observações de campo, petrografia e litogeoquímica neste trabalho permitiram o reconhecimento dos processos envolvidos na gênese do magmatismo máfico desta região assim como na caracterização geológica dessas rochas e conseqüentemente no entendimento amplo do contexto deste magmatismo. As conclusões deste estudo são sumarizadas abaixo:

Os diques e sills máficos da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião na região de Brumado são rochas basálticas bastante semelhantes do ponto de vista geológico, petrográfico e geoquímico.

Ambos os conjuntos de diques máficos são representando por litotipos sem foliação, isotrópicos, em campo seus contatos com as encaixantes são difíceis de observar. Petrograficamente essas rochas são representadas pela mineralogia típica de gabros contendo clinopiroxênio, plagioclásio (labradorita), e ortopiroxênio essencialmente.

O comportamento geoquímico e as concentrações dos elementos maiores e traço mostraram que o fracionamento de plagioclásio e piroxênio tiveram um papel importante na evolução magmática dessas rochas e que os diques são típicos toleítos continentais diferenciados de um magma "primitivo", com *trend* de diferenciação rico em ferro e ainda que o processo evolutivo dessas rochas foi governado por uma cristalização fracionada que se deu em ambiente continental.

Os valores de mg# para os diques máficos CHD (0,56 a 0,66) e do BG (0,27 a 0,51) indicam sua origem a partir de líquidos basálticos evoluídos. No entanto, os diques da CHD são mais primitivos que os do BG.

O padrão de ETR para os diques máficos CHD e do BG demonstra uma distribuição espacial bem semelhante, típica de magmas toleíticos com disposição subhorizontalizado a discretamente fracionados, com anomalias levemente negativas de Eu para o BG e positivas para os diques CHD. O leve enriquecimento de ETR leves em relação aos ETR pesados sugere uma única fonte mantélica, sendo que os diques máficos d BG apresentam um padrão pouco mais enriquecido de ETR do que os diques da CHD, caracterizando uma fonte mais diferenciada do que àquela da CHD.

A natureza da fonte deste magmatismo básico intraplaca das regiões de Brumado e Chapada Diamantina exhibe características semelhantes à de reservatórios E-MORB, com contaminação crustal.

Com relação ao comportamento dos elementos incompatíveis eles refletem nos Basaltos e Diabásios das regiões estudadas de maneira geral, as mesmas razões que mantinham no manto, comprovando a homogeneidade da fonte mantélica. Por outro lado algumas poucas amostras mostram-se desalinhadas nestes diagramas indicando contaminação crustal, fato normal nessas rochas. Durante a colocação de líquidos mantélicos na crosta continental os líquidos mais primitivos, com temperaturas

mais elevadas, assimilam mais facilmente materiais das encaixantes que os mais diferenciados, cujas temperaturas são mais baixas (Huppert & Sparks, 1985).

Os dados isotópicos das amostras da Chapada Diamantina e do Bloco Gavião de maneira geral corroboram com os dados geoquímicos destas rochas. Desta forma estes dados mostram que a maioria das amostras dos diques da CHD e do BG apresentam valores de ϵ_{Nd} maior que o CHUR, como o esperado. O fator de fracionamento para os dois conjuntos de rochas confirmam seu caráter mantélico. Foi possível perceber através dos valores de $\epsilon_{Nd(1,5 Ga)}$, que as rochas da CHD são mais primitivas e foram afetadas mais intensamente pelo processo de contaminação crustal em relação às do BG.

A partir da integração dos dados geológicos, petrográficos, geoquímicos e isotópicos neste trabalho, conclui-se que há uma grande probabilidade do magmatismo alimentador desses diques terem sua origem relacionada à atuação de uma pluma mantélica, durante a formação do magma. Esse magmatismo tem diferenças entre as duas regiões. No entanto tais diferenças são pontuais e mostram evidências de um magmatismo que foi submetido aos processos de contaminação crustal. A fonte se mostra homogênea e às diferenças no comportamento geoquímico de algumas amostras reforça a idéia de que essas rochas foram afetadas pelo processo de hidrotermalismo, presente na região da Chapada Diamantina e bloco Paramirim que foi alvo de diversos eventos termotectônicos ao longo de sua história geológica.

APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES

As Profas. Dras. Angela Beatriz de Menezes Leal e Natali da Silva Barbosa estão de coautoria nos artigos apresentados por serem minhas orientadoras do doutorado.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA 1

REVISTA USP SÉRIE CIENTÍFICA

Forma e preparação dos manuscritos

Apresentação do Artigo

1. **Página de rosto** - deverá conter três títulos: em português, em inglês e um título curto, no idioma principal do manuscrito, com no máximo 50 caracteres contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo do autor principal (caixa postal, logradouro, CEP, cidade, estado, país e telefone para contato), e-mail de todos os autores; número de palavras; total de figuras e de tabelas.
2. **Resumo e Abstract** - em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.
3. **Palavras-chave e keywords** - máximo de seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos. Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.
4. **Texto principal** - poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas. Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos.
 - a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas e legendas.
 - b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras e tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.
5. **Títulos e subtítulos** - utilizar a formatação abaixo:

NÍVEL 1 - NEGRITO, CAIXA ALTA.
Nível 2 - Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.
Nível 3 - Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).
Nível 4 - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).
6. **Tabelas e quadros** - considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo ?tabela?, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.
 - a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.
 - b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do

texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

7. **Ilustrações** - mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.
 - a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial. Ilustrações coloridas serão aceitas desde que os custos da impressão sejam cobertos pelo autor.
 - b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

8. **Citações no texto** - exemplos de citação direta / citação indireta:
 - a) **Um autor**
Santos (1980) / (Santos, 1980)
 - b) **Dois autores**
Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)
 - c) **Mais de dois autores**
Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)
 - d) **Congressos, conferências, seminários etc.**
No Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)
 - e) **Vários trabalhos de diferentes autores**
Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)
 - f) **Citação de vários trabalhos de um mesmo autor**
Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. **Referências** - listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica. A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

Exemplos de referências:

 - a) **Livro com um autor**
Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman.
 - b) **Livro com dois autores**
Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport*. San Diego: Academic Press.
 - c) **Livro com três ou mais autores**
Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2a ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
 - d) **Capítulo de livro**
Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins* (v. 1, 411-446). New York: Plenum.
 - e) **Artigo de periódico**

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/CBPM.

h) Teses e dissertações

Petta, A. R. (1995). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/Caicó (RN-Brasil)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas ? UNESP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatum, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*. DOI: 10.7476/9788579830020.

Artigo de periódico

Evandro L. Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U?Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216, DOI: 10.1016/j.precamres.2012.08.007.

Para realizar a submissão eletrônica de artigos:

Será necessário cadastrar-se no sistema. Antes de finalizar o cadastramento, certificar-se de que a opção "Autor" está ativada.

O acesso poderá ser:

1. **Pelo site da revista**

www.igc.usp.br/geologiausp - no menu do lado direito, clicar em "Submissão Eletrônica".

2. **Pelo link direto**

submission.ppegeo.igc.usp.br/index.php/guspssc.

3. **Pelo PPEGeo (Portal de Periódicos Eletrônicos em Geociências)**

ppegeo.igc.usp.br - acessar a lista alfabética, depois clicar no link Geologia USP. Série Científica.

Qualquer dúvida, entrar em contato com a Seção de Publicações, e-mail: publigc@usp.br ou no tel. (11) 3091-3973.

ANEXO B – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA 2

Diretrizes para Autores

Instruções aos Autores

Os manuscritos devem ser cuidadosamente preparados pelos autores observando as instruções aqui apresentadas.

A partir de 2018, as submissões são pelo Sistema Eletrônico de Editoração Eletrônica (SEER) disponibilizadas pela *Open Journal System* na base de dados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Na etapa de submissão, os autores devem preparar um arquivo com extensão pdf, incluindo o texto e todas as ilustrações. A fim de facilitar a preparação do arquivo a ser submetido pelos autores, a revista disponibiliza um modelo de documento para acesso e utilização como padrão na confecção do arquivo de texto. As instruções gerais e o detalhamento sobre a formatação são apresentados a seguir.

Arquivo modelo para preparação dos manuscritos

Considerações gerais

1. Os manuscritos devem ser originais, com temática relacionada com a área de Geociências, conforme tabelas de áreas de conhecimento do CNPq e da CAPES.
2. Os manuscritos devem elaborados observando rigorosamente as normas de redação da língua mãe.
3. Na submissão, o autor correspondente deverá declarar que (i) o trabalho não foi publicado anteriormente (exceto na forma de um resumo ou como parte de uma palestra ou de um trabalho de conclusão de curso, tese ou dissertação); (ii) o trabalho não está sendo avaliado para publicação em outro meio de divulgação; (iii) todas as informações apresentadas no manuscrito são de responsabilidade do autor correspondente, bem como dos demais coautores, quando houver; e, (iv) se aceito, não será publicado na mesma forma por outro meio.

Língua

4. Línguas aceitas para submissão e publicação: português, espanhol ou inglês.
5. Manuscritos redigidos em português: além do resumo, devem conter *abstract*.
- 6 Manuscritos redigidos em espanhol: além do *resumen*, devem conter *abstract*.
7. Manuscritos redigidos em inglês: além do *abstract*, devem conter resumo. Conservar a homogeneização da língua inglesa no formato americano ou britânico.

8. Termos não traduzidos de outra língua, distinta daquela do manuscrito, devem constar em itálico.

Formatação do manuscrito para submissão

9. Cada manuscrito pode conter um total de até 40 páginas, incluindo referências e ilustrações no formato de submissão. Páginas excedentes poderão ser publicadas mediante consulta prévia.

10. Materiais suplementares vinculados ao manuscrito (tais como figuras em formatos distintos, listas, tabelas com dados detalhados) poderão ser publicados, sob consulta, somente na forma *online*, sendo os autores responsáveis pela formatação final.

11. Utilizar o *software* Microsoft Word para produção do texto, com todas as margens ajustadas em 2,5 cm, espaço 1,5 entre linhas, fonte *Times New Roman*. Manter a formatação do texto o mais simples possível.

12. Todas as páginas do texto devem ser sequencialmente numeradas na margem superior direita.

13. As linhas devem estar numeradas de modo contínuo do início ao fim do texto.

14. Título do trabalho: alinhado à esquerda, em negrito, fonte tamanho 14. Manuscritos redigidos em português ou espanhol deverão ter o título vertido para língua inglesa e posicionados logo abaixo do título original em uma nova linha. Manuscritos em inglês deverão ter o título vertido para a língua portuguesa, também posicionado abaixo do título original.

15. Nome dos autores: tamanho 12, com a margem alinhada à esquerda, escritos em sequência, separados por vírgulas (e “&”antes do último); o último sobrenome de cada autor deverá ser escrito em caixa alta; exemplo: Carla Amaral RITTER, Pedro Luiz MENDONÇA & Adam SMITH (incluir números sobrescritos referentes aos vínculos institucionais explicitados a seguir).

16. Vínculo institucional dos autores: fonte 11, alinhado à esquerda, espaço simples (1), adaptar estritamente conforme os exemplos que seguem; não utilizar abreviações nos nomes das instituições.

1 Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil (email@xxx).

2 Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Av. dos Astronautas, 1.758, CEP 12.227-010, São José dos Campos, SP, Brasil (email@zzz.zz, email@yyyy.yy).

17. Resumo, *resumen* e *abstract*: devem abordar de forma clara e concisa a problemática, os objetivos, os métodos, os resultados e as conclusões, nesta ordem; comportar até 20 linhas, em fonte 11, parágrafo único (reco de 1 cm à direita e à esquerda), espaço entre linhas simples, sem citações bibliográficas.

18. Palavras-chave (para manuscritos em português e inglês), *Palabras clave* (manuscritos em espanhol) e *Keywords* (manuscritos em português, espanhol e inglês): lista de até seis termos, separados por vírgula, fonte 11, espaço entre linhas simples, recuo de 1 cm à direita e à esquerda; evitar utilizar termos já descritos no título.

19. Organizar o texto nas seguintes seções: 1 Introdução; 2 Área; material e métodos (inserir nesta seção informações sobre o estado de arte: p. ex. caracterização geológica, estratigráfica, fundamentação teórica); 3 Resultados; 4 Discussão dos resultados; 5 Conclusões; Agradecimentos (opcional); e Referências bibliográficas. Seções distintas e/ou adaptadas a estas poderão ser aceitas, conforme a natureza do tema.

20. Todo o texto, a partir da seção 1 Introdução (excetuando-se os agradecimentos), deve ser confeccionado em fonte 12, justificado, com primeira linha de cada parágrafo com recuo do lado esquerdo de 1,25 cm.

21. Os títulos das seções deverão constar ordenadamente com algarismos arábicos, em negrito, alinhados à esquerda, sem recuo, fonte 12.

22. Os subtítulos devem ser ordenados com algarismos arábicos, alinhados à esquerda, sem recuo, em itálico (p. ex.: *2.1 Localização da área*, *2.2 Estratigrafia*, *2.3 Métodos*), assim sucessivamente, até a terceira ordem (p. ex.: *3.2.1*), fonte 12.

23. Agradecimentos: sem numeração, fonte 11, espaço simples entre linhas, alinhado à esquerda, sem recuo, incluindo, quando cabíveis, números de projetos/processos, agências de fomento, esclarecimento sobre a relação do manuscrito como parte integrante de dissertações ou teses de doutoramento etc. Os autores não devem fazer agradecimentos às suas próprias instituições.

24. As ilustrações devem ser inseridas no arquivo Microsoft Word, na posição desejada, centralizadas, com a respectiva legenda na posição superior (no caso de tabelas e quadros) ou inferior (figuras). A primeira citação de uma ilustração no texto deve ser feita antes de sua inserção. Ordenar as ilustrações de modo fluido, de modo a facilitar a leitura do texto e sua posterior e imediata visualização.

25. Recomendações gerais sobre a formatação: (i) não usar hifenização no processador de texto; (ii) usar negrito, itálico, subscripto, sobrescrito etc., somente quando pertinente; (iii) não importar tabelas e equações de programas gráficos (use o processador de texto para criá-las); (iv) não utilizar notas de rodapé; (v) utilizar sempre os símbolos internacionais de medidas ao invés dos nomes completos (p. ex.: 7 m ao invés de 7 metros).

Ilustrações

26. Figuras, tabelas e quadros são consideradas ilustrações.

27. Figuras: são ilustrações gráficas, imagens fotográficas ou fotomicrográficas, com extensão jpg, ou jpeg, ou tiff; em resolução compatível para publicação (mínima de 300 dpi).

28. Tabelas: compreendem ilustrações que armazenam informações numéricas, construídas com bordas laterais abertas; não devem ultrapassar uma página em extensão; editadas em *Word* ou *Excel*.

29. Quadros: são ilustrações contendo elementos textuais, construídos com bordas fechadas; não devem ultrapassar uma página em extensão; editados em *Word* ou *Excel*.

30. Em casos excepcionais, apêndices poderão compor o manuscrito, alocados após as referências.

31. Numeração das ilustrações: o número das figuras, tabelas e quadros é independente (p. ex.: figura 1, figura 2, quadro 1, quadro 2, tabela 1), constituindo numeração e ordenamento próprios para cada tipo de ilustração, de forma sequencial.

32. Figuras compostas: trata-se de ilustração com mais de uma parte interna (vide exemplos na lista abaixo). Nestes casos, cada parte deve conter uma letra maiúscula no canto superior esquerdo, em tamanho não maior que 14, conforme exemplos que seguem. A legenda deve ser iniciada por um título geral para a figura como um todo, seguida de suas respectivas partes.

Exemplo: Hadlich et al. (2017, v. 44, n. 3, p. 403)

Figura 1. Contexto geológico regional. A) Localização do Cinturão Dom Feliciano no sul do Brasil (adaptada de Chemale Jr., 2007); B) Domínios interno, central e externo do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Catarinense e falhas que os delimitam (adaptado de Basei et al., 2011a); C) Geologia da região de Gaspar (a partir de Wildner et al., 2014).

Recomendação: atentar para as normas de pontuação, que devem ser seguidas, estritamente conforme exemplos.

33. No texto, as ilustrações deverão ser citadas conforme os exemplos apresentados: “A coluna estratigráfica do intervalo estudado é apresentada na figura 5.” “Dos táxons registrados, somente *G. occidentalis* (Fig. 7A) e *G. obovata* (Fig. 7B e C) correspondem...” “As características pluviométricas da área estão listadas, por município, no quadro 2, enquanto os valores das temperaturas médias e precipitação são apresentados separadamente (Tab. 3 e 4).”

34. Todas as ilustrações devem ser preparadas e inseridas no texto de modo a não necessitar ampliações ou reduções, com legibilidade e dimensões compatíveis a uma largura máxima de 8 ou 16,5 cm (para uma coluna ou para a largura da página, respectivamente) e altura máxima de 24 cm, considerando o uso econômico dos espaços disponíveis. Evitar espaços internos em branco.

35. Ilustrações confeccionadas com gradientes de cor (ex. tons de cinza), os autores devem garantir que os tons escolhidos sejam discerníveis no formato eletrônico e impresso.

36. Legendas dos manuscritos redigidos em português: todas as legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua inglesa.

37. Legendas dos manuscritos redigidos em espanhol: todas as respectivas legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua inglesa.

38. Legendas dos manuscritos redigidos em inglês: todas as respectivas legendas das ilustrações devem vir acompanhadas de sua versão integral na língua portuguesa.

39. Nos casos de figuras compostas, dar nome geral à figura e, logo após, às suas partes, tal como exemplificado a seguir: Figura 1. Mapa de localização. A) Bacia de Campos; B) Localização da área de mapeamento (polígono azul). *Figure 1. Location map. A) Campos Basin; B) Location of mapping area (blue polygon).*

40. Recomendações adicionais: (i) não usar qualquer tipo de arquivo otimizado para tela (tais como GIF, BMP, PICT, WPG); (ii) molduras das figuras devem ter espessura compatível com os caracteres internos; (iii) escalas gráficas devem ser expressas nas áreas das ilustrações; (iv) todos os símbolos devem ser explicados convenientemente nas legendas gráficas (dentro da figura) ou na legenda textual; (v) os menores símbolos ou letras devem ter uma altura mínima de 1 mm); (vi) sugere-se o uso da fonte Arial narrow para as ilustrações; (vii) no modelo de documento disponível no sítio da revista é apresentada uma tabela e um quadro, rigorosamente preparados conforme o padrão da revista.

41. Cada mapa ou imagem de localização deve comportar: seta Norte; escala de barra em quilômetros (km) ou metros (m); grade/malha e informação do sistema de coordenadas; fuso; datum.

Referências bibliográficas

42. Ao longo do texto e nas legendas, as citações devem seguir os formatos dos seguintes exemplos: Santos (1970), Smith & McGregor (1956), Lange (1947a, 1947b), e para três ou mais autores: Lange *et al.* (1951). Quando entre parênteses, referenciar os vários artigos primeiramente em ordem cronológica e, como segundo critério, em ordem alfabética, conforme os seguintes exemplos: (Lange, 1947a, 1947b; Lange *et al.*, 1951; Smith & McGregor, 1956; Axel, 1970; Smith, 1970).

43. O emprego do termo *apud* como recurso à citação de obras não consultadas diretamente pelo autor é desencorajado, salvo em casos excepcionais.

44. As referências devem ser listadas ao final do texto, ordenadas alfabeticamente pelo sobrenome do primeiro autor, seguido dos demais autores, conforme, criteriosamente, os exemplos fornecidos.

Livros:

Passchier, C.W., Myers, J.S. & Kroner, A. 1990. *Field geology of high-grade gneiss terrains*. Berlin, Springer-Verlag, 150p.

Capítulos de livro:

Brown, G.C. 1982. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to

volcanic arcs. In: Thorpe, R.S. (Ed.). *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, John Wiley, p. 437-460.

Artigos em periódicos:

Andrés, M.F. 2008. Modelización del flujo em acuífero confinado sin discretización temporal. *Boletín Geológico y Minero*, 119(2): 273-282.

Russo, R.W. 1997. Facies and facies models. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 256(3/4): 7-34.

Russo, R.W. & Caldas, P.K. 2015. Anfíbolites and granulites. *Lithosphere*, 14(2): 7-21.

Russo, R.W. & Silver, P.J. 1996. Cordillera formation, mantle dynamics, and the Wilson cycle. *Geology*, 24(1): 5-35.

Russo, R.W., Oliveira, S.S. & Ramos, V. 1994. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 33(supl.): 4-27.

Sommer, F.W. 1959. Introdução ao estudo sistemático dos gêneros paleozóicos de esporos dispersos. II - Pollenites. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, 197: 5-91.

Trabalhos publicados em anais de eventos:

Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v. 1, p. 41-66.

Trabalhos acadêmicos:

Macedo, F.P. 1982. *Petrologia do complexo granítico de São Gabriel, RS*. Porto Alegre, 193p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Massoli, M. 1991. *Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo Itararé na região de Salto de Pirapora, SP*. São Paulo, 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Silva, W.G. 2008. *Bioestratigrafia e variações relativas do nível do mar na Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estudo da seção neogênica/quaternária do poço 2-CA-1-RS com base em registros palinológicos*. Porto Alegre, 84p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Relatórios internos e outras produções institucionais:

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Vocabulário básico de recursos minerais e meio ambiente*. 2a. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 332p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2002. *Diagnóstico das condições das encostas marginais dos reservatórios dos rios Tietê e Paranapanema*. São Paulo, IPT, 440p. (Relatório 23.302).

Malcom, H.J. 1979. *Report on biostratigraphical results of samples from Colorado Basin*. Houston, EXXON/SIEXF, 152p. (Internal Report).

Mapas:

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2 v., escala 1:1.000.000.

Documentos em meio eletrônico:

Camargo, K.C. & Spoladore, A. 2009. Considerações geológicas e geomorfológicas sobre a distribuição de cavernas carbonáticas ao primeiro planalto paranaense. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA*, 30., 2009, Montes Claros. *Anais...* Montes Claros. p. 1-17. Disponível em: < http://www.sbe.com.br/anais30cbe/30cbe_011-017.pdf >. Acesso em: 30 set. 2009.

Frater, H. 1998. *Landforms of the Earth*. Berlin, Springer, 1 CD-ROM.

Hinrichs, R. & Soares, A.P.P. 2001. Análise de metais pesados em pilhas e baterias. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 8., 2001, Curitiba. *Anais...* Curitiba, SBGq. 1 CD-ROM.

Micheels, A., Bruch, A. & Mosbrugger, V. 2009. Miocene climate modeling sensitivity experiments for different CO₂ concentrations. *Palaeontologia Electronica*, 12(2): 1-19. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2009_2/172/index.html>. Acesso em: 05 out. 2009.

ANEXO C – COMPROVANTE DE PUBLICAÇÃO DO ARTIGO 1

04/12/2021 12:45

Yahoo Mail - Revista Geologia USP. Série Científica

Revista Geologia USP. Série Científica

De: publicc USP (publicc@usp.br)

Para: lilian.merces@yahoo.com; angelab@ufba.br

Data: segunda-feira, 14 de outubro de 2019 16:13 BRT

Prezados autores,

Ref.: Artigo "Geoquímica dos diques máficos de Brumado, porção sudeste do Bloco Gavião, Bahia, Brasil"

Informamos que o artigo já está publicado no Portal de Revistas USP (<http://www.revistas.usp.br/guspssc/issue/view/11220>) e PPGeo (<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GUSPSC/issue/view/1277>).

A solicitação de validação do DOI foi enviada a CROSREF e será validado em breve (prazo de validação, em média, uma semana).

Agradecemos o interesse em publicar na Revista Geologia USP. Série Científica e nos colocamos a disposição para a publicação de novos artigos.

Atenciosamente,

Conselho Editorial e

Daniel Machado

Chefe de Seção - Publicações - IGc/USP

Tel.: 55 11 3091-3973 - publicc@usp.br

ANEXO D – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO 2

The screenshot displays a journal submission interface. At the top, there is a navigation bar with the user's name 'lilianvarja', a language selector for 'Português (Brasil)', and a 'Ver o Site' link. Below this, the article title '127506 / Varjão et al. / EVOLUÇÃO MAGMÁTICA E FONTE MANTÉLICA DA PROVÍNCIA DE DIQUES MÁFICOS CHAF' is visible, along with a 'Biblioteca da Submissão' button.

The main content area is divided into two sections. The first section, 'Publicação', contains sub-tabs for 'Submissão', 'Avaliação', 'Edição de Texto', and 'Editoração'. The 'Submissão' tab is active, showing a list of submitted files under the heading 'Arquivos da Submissão'. A search bar with a magnifying glass icon and the text 'Buscar' is located to the right of the heading.

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
Nenhum item				

The second section, 'Discussão da pré-avaliação', includes an 'Adicionar comentários' button. Below this, a table structure is visible, but it is currently empty, displaying 'Nenhum item'.

