

Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Candua, Libolo, Angola

Mineralogical and geochemical features of mafic rocks from Candua, Libolo, Angola

Paulo Francisco Aguiar¹, Augusto Inoc¹, Filipe Lima¹, António Olímpio Gonçalves¹, Eduardo Filemon¹, Marc Campeny Crego², Miguel Bondo³

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: paulofaguia@gmail.com, augustopedroinoc@gmail.com, tonygoncalves72@hotmail.com, filipelima2094@gmail.com.

²Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Passeig Picasso s/n 08003 Barcelona, Spain.

³Instituto Geológico de Angola (IGEO), Centralidade do Kilamba, igeo@netangola.com.

CITAR COMO:

Aguiar, P. F., A. Inoc, F. Lima, A. O. Gonçalves, et al. Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Candua, Libolo, Angola. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 5-19

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 21/04/2020

Aceite: 8/05/2020

*Autor para

correspondência: Paulo Francisco Aguiar (e-mail: aguiapaulo@hotmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: As rochas máficas de Candua, Libolo, são compostas por gabros, doleritos e gabros piroxénico-hornbléndicos. São rochas que mostram texturas cumuláticas com plagioclase, clinopiroxenas, anfíbolos, ortopiroxenas e biotite. Apresentam teores altos de Al₂O₃ (peraluminosa) (variando de 10,46% a 17,01%), teores de TiO₂ de moderado a alto (de 0,53% a 1,97%), teores baixos de alcalinos (Na₂O+K₂O) (variando de 0,49% a 9,06%), e teores médios Fe₂O₃ (variando de 6,03% a 20,41%), sendo classificadas como gabros subalcalinos toleíticos. Padrões fraccionados dos Elementos das Terras Raras (REE), grande abundância de Elementos Litófilos de Grande carga iónica (LILE) e em relação aos Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) e Nb são característicos da fusão parcial do manto depletado e fusões que passaram por cristalização fraccionada. Essas fusões parciais são enriquecidas em LREE and LILE, devido a adição de fluidos derivados da adição da placa crustal. O índice de diferenciação (D.I.) indica que essas rochas gabróicas são do estágio tardio de diferenciação de um magma basáltico.

Palavras-chave: Rochas máficas, Gabros, Candua, Libolo.

Abstract: In the vicinities of Candua (Libolo, Angola), outcrops a mafic igneous intrusion mainly composed by massive gabbros, dolerites and amphibole-rich gabbros, showing cumulus textures. Those are composed by plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene, amphibole and biotite. Those rocks present high Al₂O₃ contents (ranging from 10,46% to 17,01%) moderate to high TiO₂ contents (from 0,53% to 1,97%), alkalines (Na₂O+K₂O) (ranging from 0,49% to 9,06%) and medium Fe₂O₃ contents (ranging from 6,03% to 20,41%). Fractionated and relative enrichment over heavy REE (HREE) and Nb are typical of depleted mantle partial melting and melts that have undergone fractional crystallisation. These partial melts are enriched in LREE and LILE, due to the addition of slab derived magmas. The differentiation index (D.I.) indicates that these gabbroic rocks were generated during late differentiation stages from a basaltic parental magma.

Keywords: Mafic rocks, Gabbros, Candua, Libolo.

INTRODUÇÃO

Os afloramentos de corpos máficos de interesse no presente trabalho estão localizados na aldeia de Candua pertencente ao município de Libolo. Os corpos plutónicos podem ser acedidos pela Estrada Nacional 120 (EN120) e se encontram no troço Cambambe – Cambingo – Candua (Figura 1). As rochas são distinguidas como gabróico-piroxénicas encontradas no seio e relacionadas com o Complexo de granitos porfiroblásticos do embasamento angolano.

O embasamento do Escudo de Angola é atravessado por muitos membros plutónicos de composição alcalina, máfica e ultramáfica. Muitos dos corpos intrusivos foram estudados por muitos investigadores, tendo poucos se referido ao corpo estudado em Candua. Os membros máficos plutónicos no Escudo de Angola os quais localizam-se ao longo da faixa norte, central e sudoeste, não receberam atenção em termos de estudos petrológicos e geoquímicos detalhados. Andrade (1950), refere apenas a ocorrência de diques diabásicos na região entre Calulo e Dondo até ao rio Mucoso. De Araújo (1988).

São observados a noroeste, sudoeste e leste de Angola, as pequenas intrusões de rochas básicas atribuídas ao complexo gabro-anortositico do Cunene (De Araújo et al., 1988; Perevalov et al., 1992), enquanto intrusões relativamente pequenas (satélites) que se situam a norte e a oeste do referido maciço. Refere-se a esse complexo com mais detalhe a sul do país, como apresentando anortositos, gabro-anorto-

sitos, troctólitos, gabro-noritos, peridotitos, dunitos e piroxenitos (De Carvalho & Alves, 1990; Ashwal & Twist, 1994; Morais et al., 1998; Mayer et al., 2004; Maier et al., 2008). Os anortositos, gabro-anortositos e troctólitos são os representantes mais típicos do complexo central que apresenta uma estratificação horizontal e vertical bem pronunciado. Normalmente, os ritmos têm a seguinte estrutura: troctólitos melanocratas e de troctólitos na base; troctólitos claros, no meio, e de anortositos, na parte superior.

Os gabro-noritos e noritos ocupam extensões consideravelmente menores em comparação com as rochas anteriores. Os gabro-noritos e noritos são caracterizados por uma granularidade fina e por um aspecto mais melanocrático em comparação com os anortositos e troctólitos encaixantes. Os peridotitos, dunitos e piroxenitos ocupam pequenas intrusões destas rochas e aparecem geralmente na bordadura do Complexo. Alguns corpos bastante grandes de ultramafitos foram identificados na parte sudoeste do escudo de Angola, entre rochas metamórficas do Arcaico Superior. Nas zonas de metamorfismo retrógrado, os ultramafitos apresentam-se várias vezes sob a forma de rochas semelhantes a hornblenditos, contendo, no entanto, relíquias bem preservadas de composição original. Silva et al., 1978, refere-se a rochas doleríticas do Precâmbrio Superior, como tendo sido identificadas em diques a sudoeste do Golungo Alto, na zona de Cariango. Referir que tais rochas são melanocratas de granularidade média, de textura ofítica. São constituídas por labradorite, tremolite-actinolite, augite, hiperstena, minerais opacos, minerais

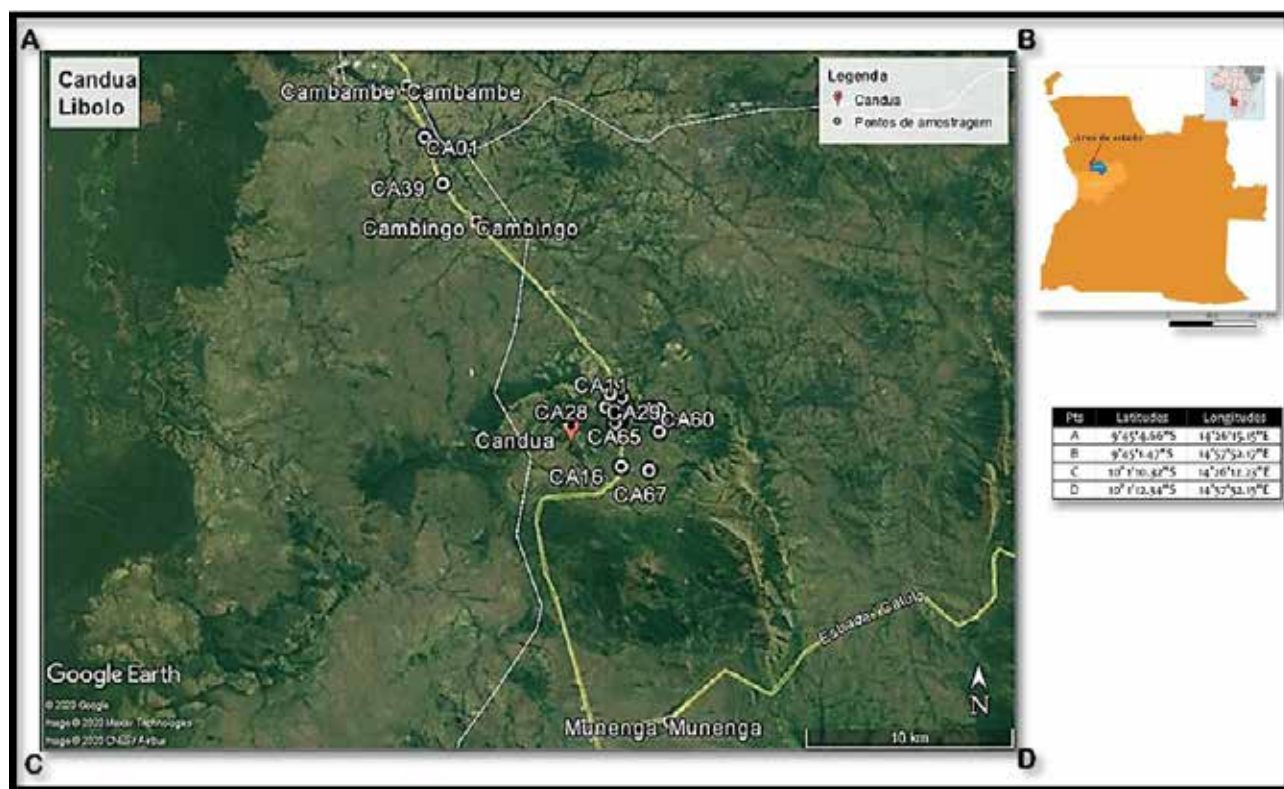


Figura 1: Localização da Aldeia de Candua, no contexto da área de estudo, troço Cambambe-Cambingo-Candua, bem como os pontos de amostragem.

de argila, sericite e apatite. Torquato et al., 1979, refere-se apenas as rochas gabro-anortosíticas como as que limitam o Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola. De Carvalho (1980), refere-se ao complexo gabro-norítico e charnoquítico aflorante na área de estudo como sendo constituído por grandes encaves no seio do complexo granito-migmatítico que, em alguns casos, atingem mais de uma dezena de quilómetros de extensão. As rochas metabásicas são, fundamentalmente, de natureza gabro-norítica e anfibolítica embora se encontrem, também, gabros quartzíferos, metadioritos quartzíferos e granodioritos.

Esses autores e outros como Cruz et al. (1968) e Perevalov et al. (1992) estudam mais detalhadamente rochas máfico-gabróicas noutras regiões do território angolano, referindo a petrografia, geoquímica e geocronologia das mesmas.

LITOLOGIA

A zona de Candua assenta sobre o embasamento cristalino de rochas ígneas. Na parte norte predominam os intrusivos graníticos de idade proterozóica tipo Quibala, e no centro se encontram rochas máficas por apresentarem teores de SiO₂ no intervalo de 45% a 52% (Figura 2). Os granitos apresentam algumas zonas híbridas de mistura litológica com processos profundos metassomáticos e hidrotermais. Os plutões afloram como apófises em um terreno constituído por inúmeros inselbergs e montanhas.

As rochas gabróicas são essencialmente mesocratas, já que os seus M' (índice de cor) situa-se entre 45,7 a 48,8 (portanto no intervalo 35% a 65%) e intensamente invadidas por veios de quartzo na parte central ao passo que na parte periférica vai se diminuindo a acção da rede de veios. Os mesmos estavam implantados em estruturas que destacaram-se direcções de orientação regional nas direcções N-S e NW-SE.

No escudo de Angola, as rochas do grupo inferior de idade arcaica localizam-se no seu sector norte, entre os rios Cuanza e Longa. Nas proximidades imediatas do horst do Cuanza, verifica-se a seguinte sucessão de rochas: na base, plagiognaisses bipoixénicos, hipersénicos e hipersténicos com biotite e granada; gnaisses poixénicos com plagioclase e anfibola que vêm a suceder-se mais para cima por gnaisses anfibolítico-biotíticos e plagiognaisses leucocráticos. O grupo inferior está representado, essencialmente, por granulitos e gnaisses de composição básica, gabros alterados, anfibolitos, quartzitos, charnoquitos e enderbitos. É vulgar a existência dos gnaisses com piroxena (hiperstena, diópsido), cordierite, granada (piropo) e, mais raramente, silimanite ou biotite (De Araújo et al., 1988). O grupo superior do arcaico inferior, constituído por rochas metamórficas, tais como gnaisses (biotítico-hornebléndicos, biotítico-hipersténicos, granada-bimicáceos com distena e grafite), anfibolitos, xistos biotítico e bimicáceos, leptitos e quartzitos. Em zonas de ultrametamorfismo, ocorrem os tonalitos, plagiomigmatitos e plagiogranitos (De Araújo et al., 1988).

As unidades geológicas que caracterizam o Proterozóico Inferior, relacionadas ao Ciclo Eburneano, ocorrido entre 2600 a 1650 milhões de anos, subdividem-se em rochas terrígenas metamorfizadas e rochas intrusivas ígneas. Representando as rochas metamorfizadas está o grupo Oendolongo, constituído por conglomerados, grés, quartzitos e itabiritos; aparecem siltitos e metaxistos. Em alguns casos são assinaladas, juntamente com os metassedimentos, rochas vulcânicas de composição ácida e média, enquanto a sudeste ocorrem rochas vulcânicas básicas.

As rochas ígneas intrusivas são essencialmente granitóides, onde o maior representante são granitos, da fácies biotítico-porfiroblástica do Complexo de Granitos da Quibala, e pórfiros, sienitos e dioritos como rochas associadas. As rochas básicas e ultrabásicas (que fazem parte do grande maciço do Cunene), como intrusões relativamente pequenas (satélites), representadas por anortositos, gabro-anortositos, troctólitos, gabro-noritos, peridotitos, dunitos e piroxenitos.

Os depósitos do proterozóico superior na zona de Lucala encontra-se desenvolvido o supergrupo Congo ocidental. Algumas das sub-unidades integrantes constituem prolongamentos das estruturas que se estendem do aulacógeno do Congo ocidental. Nas áreas onde existem afloramentos isolados do supergrupo. As rochas do Proterozóico superior estão representadas principalmente pelo grupo xistogresoso. Está representado por duas formações (M'pioka e Inkisi) só na parte noroeste da zona de Lucala, sendo diferenciado noutras áreas. Formação M'Pioka estende-se em larga faixa de direcção noroeste ao longo do contacto da zona de Lucala com o aulacógeno do Congo ocidental, desde o rio Lueca até ao rio Lucala no seu curso médio. A formação Inkisi aflora a leste dos afloramentos da formação M'pioka. É dividida em dois níveis: o inferior, constituído por arcoses com estratificação entrecruzada e leitos conglomeráticos, e o superior representado principalmente, por arcoses de grão fino com estratificação entrecruzada e leitos de argilitos e siltitos, grés arcósicos avermelhados, conglomerados polimicticos cinzentos com calhaus diversos.

As unidades do Mesozóico representam-se pelas seguintes formações do Cretácico: Formações do Cretácico Inferior, constituídas pela Formação Cuvo, pertencente ao Barriasiano-Barremiano, constituída por grés, conglomerados, argilas, com intercalações de dolomites, argilitos e siltitos. Ao nível das Formações do Cretácico Superior, são consideradas as formações Cabo Ledo, pertence ao Cenomaniano se apresenta constituído por grés, calcários arenosos e argilas; Itombe constituída por grés, margas e calcários; Ngolome é constituída por margas, argilitos e grés, e Teba que é constituída por grés, margas e calcários.

Os depósitos do Cretácico superior da parte continental destas zonas são caracterizados pela predominância de material terrígeno-carbonatadas, por uma zonagem lateral de fácies. Os depósitos do Cenozóico Inferior (Paleogénico) estão representados, na área de estudo, pela formação paleocénica Rio Dande, e pelas formações eocénicas Grati-

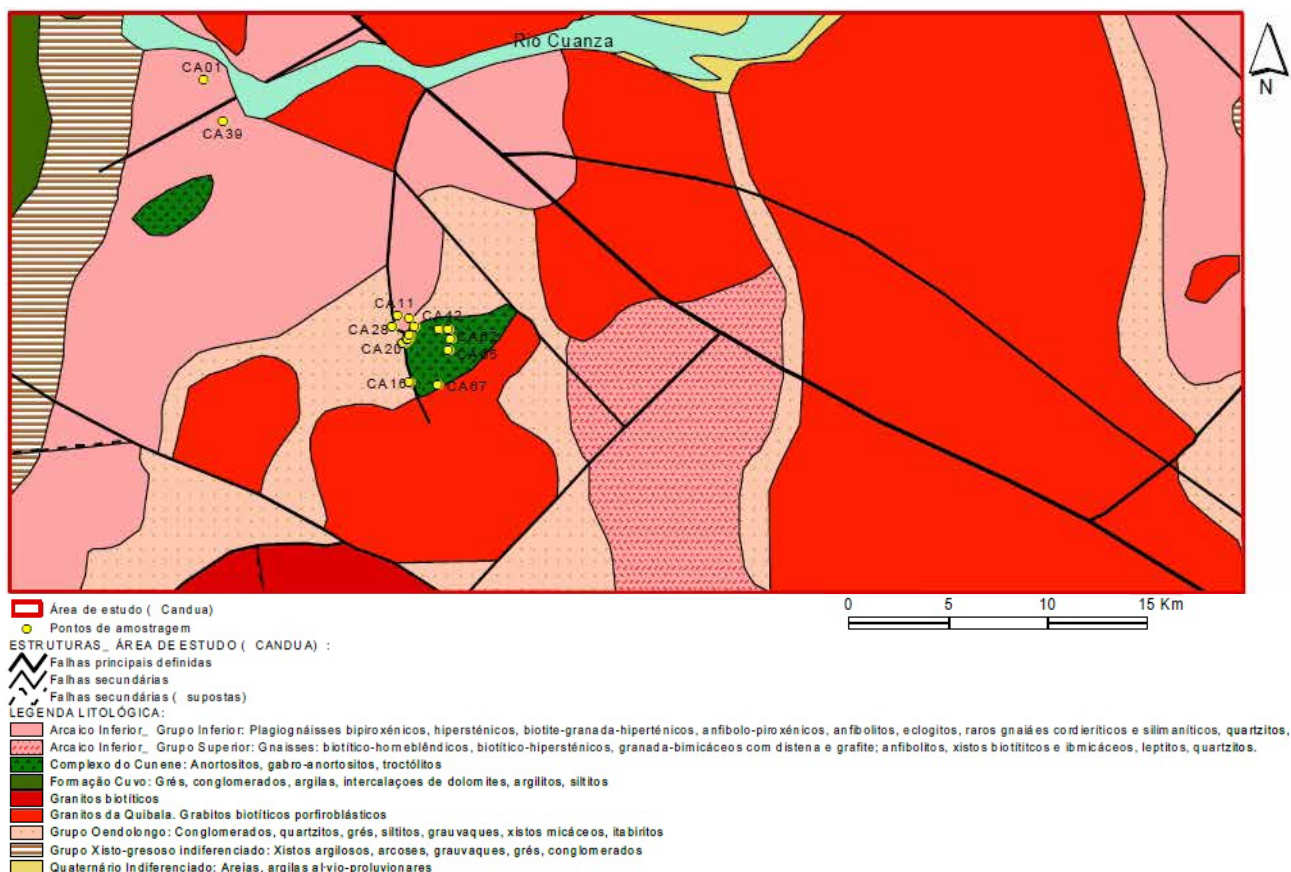


Figura 2: Geologia da área de estudo, cobrindo o troço Cambambe-Libolo (Adaptado de DE ARAÚJO, 1988).

dão e Cunha. A formação Rio Dande apresenta afloramentos mais importantes na parte oeste da zona. O seu corte está aqui representado principalmente por margas e argilas com grés fosfatados, na parte superior. No sector oeste da zona ocorrem depósitos calcário-argilosos. Assenta em concordância estratigráfica sobre os depósitos da formação Teba. A formação Gratidão localiza-se nas partes leste da zona, aflorando também, em manchas, ao longo do litoral no sector sul. É constituída por margas, calcários, grés e argilas. Assenta em concordância sobre a formação Rio Dande, verificando-se a discordância no seu contacto apenas na parte leste da zona. Ainda ao nível do Cenozóico, está representada na zona a formação do Paleogénico-Neogénico, designada por formação Quifangondo, constituída por rochas essencialmente areno-argilosas.

Os depósitos do Quaternário (Holocénicos) são aluvionares e constituem terraços baixos, leitos dos rios e lezírias de linhas de água. São constituídos por areias finas e grosseiras, na sua maioria com pouca argila, às vezes com calhaus (De Araújo, 1988).

MATERIAIS E MÉTODOS

Ao nível do sector que compreende os afloramentos de rochas máfico-ultramáficas de interesse, para os trabalhos de campo e para a confecção do correspondente mapa, os trabalhos consistiram na determinação da posição dos pontos estratégicos com o auxílio de GPS (Sistema Global de Posicionamento) Garmin III plus e Garmin 12. As amostras

foram colectadas através de 6 perfis transversais às estruturas geológicas presentes no sector em estudo (Figura 3). Amostras representativas e bem preservadas foram colectadas de NW a SE do corpo plutónico.



Figura 3: Disposição dos perfis na área de estudo, Aldeia de Candua.

A tabela 1 mostra as amostras colectadas e suas coordenadas, ao passo que a figura 2 mostra a sua posição no espaço. As amostras foram limpas, etiquetadas e pulverizadas com o auxílio de moedores.

As secções delgadas das rochas foram confeccionadas, analisadas e fotografadas nos laboratórios do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universi-

Tabela 1 - Detalhe das amostras e suas localizações

N.ºO	Amostras	X_UTM	Y_UTM	Latitude	Longitude
1	CA01	456538	8906650	9°46'50.00"S	14°31'15.00"E
2	CA11	456538	8906650	9°53'26.40"S	14°36'12.84"E
3	CA16	457085	8903226	9°55'17.90"S	14°36'30.67"E
4	CA18	456934	8905287	9°54'10.79"S	14°36'25.79"E
5	CA20	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
6	CA22	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
7	CA25	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
8	CA28	456337	8906023	9°53'46.80"S	14°36'06.22"E
9	CA29	456336	8906024	9°53'46.77"S	14°36'06.19"E
10	CA35	456963	8905430	9°54'06.14"S	14°36'26.75"E
11	CA36	457039	8905439	9°54'05.85"S	14°36'29.25"E
12	CA37	457075	8905640	9°53'59.30"S	14°36'30.44"E
13	CA39	448342	8916621	9°48'01.40"S	14°31'44.18"E
14	CA42	457352	8906046	9°53'46.09"S	14°36'39.55"E
15	CA44	457112	8906486	9°53'31.76"S	14°36'31.68"E
16	CA56	458432	8905930	9°53'49.91"S	14°37'15.01"E

dade Agostinho Neto. As análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras, foram realizadas pela Actlabs (Activation Laboratories) no Canadá, mediante as seguintes técnicas: Fluorescência de raios X (XRF), activação neutrónica (INAA) e espectrometria de massas de plasma acoplada por indução (ICP-MS).

Para o presente estudo, as amostras de rochas gabróicas foram colectadas para estudos detalhados de petrografia e geoquímica.

Análise Litogeoquímica

Fez-se o estudo quantitativo e qualitativo da composição química das rochas máficas de Candua, por via da litogeoquímica de rocha total, de elementos menores e traços. Tais análises foram realizadas no laboratório Actlabs (Activation Laboratories) (PTY) Ltd, no Canadá. Nestes laboratórios as análises litogeoquímicas têm como fundamento a fusão por uso de um sistema robótico. O material fundido resultante é rapidamente digerido por uma solução fraca de ácido nítrico. A fusão assegura que toda a amostra é dissolvida. Só com esse ataque é que os ácidos maiores incluindo SiO₂, minerais refractários, REE e outros elementos de campos de força altos são colocados em solução. Rochas contendo alto teor de enxofre requerem um tratamento diferente mas podem ser ainda adequadamente analisadas. As análises são feitas por ICP-OES e ICP-MS. Foram enviadas 21 amostras para o laboratório com vista serem realizadas as análises químicas pelo métodos 4 litho (CA01, CA11, CA16, CA18, CA20, CA22, CA25, CA28, CA29, CA35, CA36, CA37, CA39, CA42, CA44, CA56, CA57, CA60, CA62, CA65 e CA67). O método analítico 4 litho se fundamenta numa combinação dos pacotes 4B (ICP de rocha total pela fusão de metaborato/tetraborato de lítio) e 4B2 (ICP-MS de elementos traço).

As amostras seleccionadas para as análises químicas por 4 litho foram moídas no Laboratório da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, até atingirem a dimensão de 2 Micras, ideal para a produção da pastilha ou pellet, e foram seleccionadas depois de prévia análise petrográfica, onde as amostras contendo proces-

sos hidrotermais mais significantes, processos de substituição aos níveis de minerais máficos, bem como um teor de opacos acentuado foram as preferenciais.

TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo teve em conta a caracterização de 21 afloramentos das rochas máficas de Candua, em aspectos como a sua localização, tipo litológico mediante análise mineralógico-textural, disposição espacial e estrutural. Ademais, foi feita a colecta de amostras, tal como já foi mencionado.

CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO EMBASAMENTO DE ROCHAS ÍGNEAS

O embasamento adjacente aos corpos máfico-ultramáficos na parte central da área de estudo está constituído por granitos porfiroblásticos, compostos por feldspatos alcalinos, biotite e quartzo (Figura 4). São referidos como sendo anatócticos (De Araújo, 1988).

ESTRUTURA DAS ROCHAS MÁFICO-ULTRAMÁFICAS

Como já foi referido estes corpos de rochas máficas ultramáficas afloram no centro da área de estudo em uma estru-



Figura 4: Afloramento de granito adjacente ao corpo intrusivo máfico.



tura circular constituída por variadas cúpulas de rochas máficas. (Figura 5b, c).

Tais cúpulas ou apófises apresentam-se sobre a os granitos regionais que constituem a paisagem circundante.

Os afloramentos dessas rochas máficas se apresentam como intrusões massivas cumuláticas e uniformes constituídos essencialmente pela acumulação de piroxenas e plagioclases, durante o magmatismo (Figura 5 e-g).

A fácies mais fina deste material máfico, composta por microgabros, caracteriza-se por apresentar vários veios de material ácido quartzo-feldspático atravessados em direcções distintas e múltiplas (Figura 5d).

ESTUDOS LITOLÓGICO-PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS MÁFICAS E ULTRAMÁFICAS

As rochas máficas compreendem uma suite de rochas que, no centro da área de trabalho mapeada, se encontram representadas pelas seguintes litologias:

- **Gabro**, com clinopiroxenas e plagioclases, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular grosseira, com cristais apresentando dimensões entre 5 a 10 mm (Figura 5 f, g), compreendendo as amostras CA01, CA11, CA16, CA20, CA22 e CA25.
- **Microgabros** ou doleritos, com clinopiroxenas e plagioclases, com estrutura maciça, textura microfanerítica equigranular, cristais com dimensões em torno de 1 mm, compreendendo as amostras CA18, CA29 e CA39.

• **Melagabro piroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as horneblendas, manifestando índice de cor melancrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 20 a 50 mm (Figura 7 a & e), compreendendo as amostras CA28, CA36, CA42, CA56, CA60, CA62 e CA67.

• **Melagabro ortopiroxénico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as ortopiroxenas, manifestando tonalidade melancrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 20 a 50 mm, compreendendo a amostra CA37.

• **Mesogabro piroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as horneblendas, com índice de cor mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo as amostras CA35 e CA65.

• **Mesogabro hornebléndico-piroxénico**, com plagioclases, horneblendas predominando sobre as clinopiroxenas, com índice de cor mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo a amostra CA57.

• **Mesogabro ortopiroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as ortopiroxenas, manifestando tonalidade mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo a amostra CA44.

A consolidação da designação das rochas gabróicas da área de estudo foi feita mediante a caracterização microscópica por meio de um microscópio petrográfico, e pela combinação dos diagramas ternários de Streckeisen (Streckeisen, 1976) para rochas gabróicas com os vértices Pl-Px-Hbl (Plagioclases-Piroxenas-Horneblendas) e Pl-Cpx-Opx (Plagioclases-Clinopiroxenas-Ortopiroxenas) (Figura 6).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrografia

Como se pode observar no lançamento no diagrama de Streckeisen para rochas gabróicas, as amostras das rochas são projectadas no campo dos gabros (por apresentarem predominio de clinopiroxenas, em relação as ortopiroxenas), e gabros piroxénico-horneblêndicos (Figura 6).

Exceptuando as amostras CA18, CA29 e CA39 (Figura 7 a, b) que se apresentaram com texturas microfaneríticas (doleritos), as demais apresentam-se com granulação grosseira com paragénese modais de plagioclase (50 vol.%), clinopiroxena (30%), hornblenda+biotite (10%), e quartzo + ortoclase + ortopiroxena (10%), e opacos acesórios. As mesmas apresentam texturas em cumulos,

para os opacos. A presença da hornblenda secundária (verde) é também observada.

A hornblenda está presente como cristais verdes subédricos, pleocróicos de até 3 mm de tamanho (Figura 7 c & d). São vistas pontualmente a passagem da augite a hornblenda verde. As plagioclases ocorrem como ripas tabulares alongadas subédricas de até 2 mm de tamanho com maclas polissintéticas bem desenvolvidas. Em certos locais, os cristais de plagioclase exibem um zonamento normal (Figura 7 e & f) com núcleos corroídos. Os cristais de Cpx são intersticiais dentro da matriz cumulática das plagioclases. A biotite ocorre como subédrica a anédrica, castanha avermelhada e pleocróica, com dimensões de até 1-2 mm e ocupando sempre regiões intergranulares. Pontualmente a biotite contém inclusões de opacos ao dos planos de clivagem.

Pequenos cristais de biotite anédrica estão presentes em agrupamentos em zonas intersticiais nos gabros. O quartzo está presente como cristal anédrico intergranular; alguns cristais apresentam extinção ondulante. Os opacos são vistos dispersos nas anfíbolas e piroxenas alteradas (Figura 7 e, f, g & h) e como bolhas maiores nos minerais máficos (Figura 7 g & h).

A hornblenda (secundária) substituindo a piroxena (Figura 7 c & d) indica a prevalência da pressão parcial alta da H₂O durante a cristalização fraccionada. O quartzo e a ortose cristalizaram no estágio final nos espaços intergranulares.

Geoquímica dos elementos maiores

A distribuição dos elementos maiores nas rochas de Candua apresentam diferentes significados e variam em dependência da litologia.

Ao nível dos gabros de Candua, Libolo, as concentrações de SiO₂ varia de 40,27% a 54,11% com média de 45,7%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 15,07 a 17,01 com média de 15,9; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 8,73 a 20,41 com média de 13,4; o MnO mostra o intervalo entre 0,15 a 0,20 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 2,65% a 7,87% com média de 5,6%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 6,92% a 20,16% com média de 13,1%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 0,38% a 4,22% com média de 1,9%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,11% a 2,04% com média de 0,6%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,72% a 1,97% com média de 1,4%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,38% a 1,47% com média de 0,9% (Tabela 2).

Os melagabro piroxénico-horneblêndicos de Candua, Libolo, apresentam as concentrações de SiO₂ variando de 46,09% a 62,26% com média de 51,1%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 10,46 a 15,5 com média de 14,1; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 6,03 a 13,75 com média de 9,7; o MnO mostra o intervalo entre 0,135 a 0,181 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 1,19% a 10,55% com média de 8,1%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 4,1% a 12,96% com média de 11%;

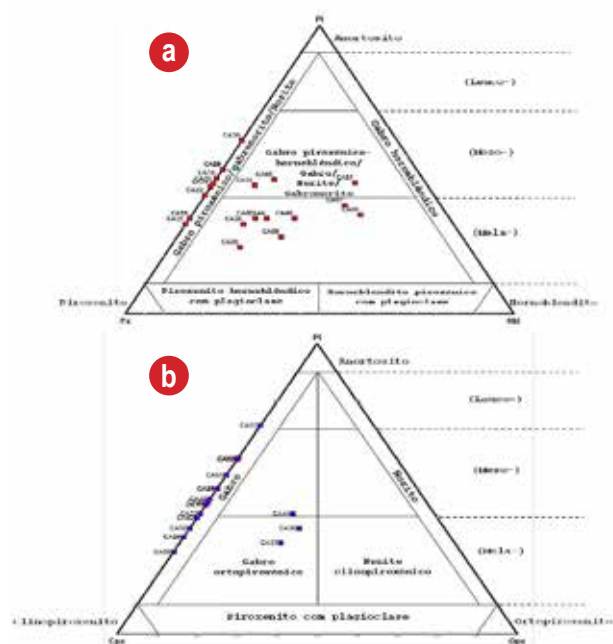


Figura 6: Lançamento das amostras nos diagramas de Streckeisen para as rochas gabróicas de Candua, Libolo (Legenda: Pl – Plagioclase; Px – Piroxena; Hbl – Horneblenda; Cpx – Clinopiroxenas; Opx – Ortopiroxenas)

bem como intergranulares ofíticas e subofíticas (Figura 7 a-h), onde as piroxenas envolvem as placas cumuláticas de plagioclases (0,1 mm a 5 mm). Nos gabros com processos de substituição as Opx estão ausentes e as hornblendas são o produto da alteração das piroxenas. Os gabros alterados são caracterizados por alterações de piroxenas a anfíbolas, anfíbolas a biotites as quais se alteram

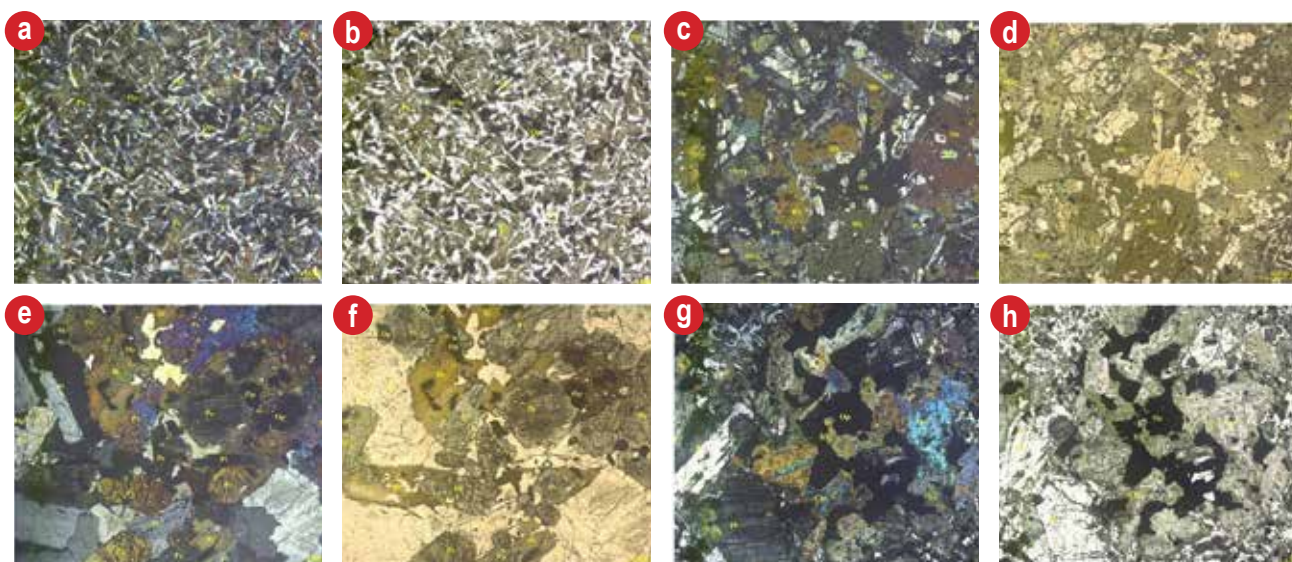


Figura 7 Microfotografias do plutão gabróico de Candua, Libolo: (a), (b) Dolerito com cristais alongados de plagioclases envolvendo os cristais de piroxenas em uma textura ofítica. Podem ser vistos ainda minerais opacos substituindo parcialmente as piroxenas (amostra CA18). (c), (d) Cristais subédricos de clinopiroxenas parcialmente alterados à cristais levemente esverdeados de homeblenda entre cúmulos de plagioclases, algumas das quais sericitizadas. São também visíveis cristais de cpx serpentinizadas, e minerais opacos (amostra CA36). (e), (f) Cristais subédricos de clinopiroxenas, biotite e opacos em clusters, entre as grandes ripas de plagioclases. As biotites bordejam os minerais opacos (amostra CA57). (g), (h) Exsoluções de minérios de Fe-Ti ao longo dos cristais de cpx (amostra CA20).

o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,25% a 3,78% com média de 2,0%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,46% a 4,84% com média de 1,3%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,53% a 1,37% com média de 0,8%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,12% a 0,99% com média de 0,4% (Tabela 2).

Nos mesogabro piroxénico-hornebléndicos de Candua, Libolo, as concentrações de SiO₂ varia de 45,21% a 48,5% com média de 47,2%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 15,05 a 16,75 com média de 16,1; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 10,78 a 13,57 com média de 11,7; o MnO mostra o intervalo entre 0,16 a 0,21 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 7,22% a 7,86% com média de 7,7%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 10,52% a 12,11% com média de 11,5%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,01% a 2,35% com média de 1,8%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,43% a 1,69% com média de 0,9%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,85% a 0,95% com média de 0,9%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,21% a 0,68% com média de 0,5% (Tabela 2).

Por sua vez, os microgabros de Candua, Libolo, têm teores de SiO₂ variando entre 44,33% a 53,19% com média de 48,7%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 13,86 a 15,71 com média de 14,7; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 9,03 a 16,52 com média de 12,3; o MnO mostra o intervalo entre 0,14 a 0,21 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 4,44% a 10,92% com média de 7,2%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 6,49% a 12,33% com média de 9,7%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,72% a 2,93% com média de 2,5%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,51% a 2,62% com

média de 1,2%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,57% a 1,97% com média de 1,4%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,29% a 1,32% com média de 0,9% (Tabela 2).

Os diagramas de Harker mostram contraste entre as assinaturas químicas dos Gabro, Microgabros, Melagabro piroxénico-hornebléndico, Mesogabro piroxénico-hornebléndico (Figura 8).

Em relação a SiO₂, todos os litotipos apresentam-se com uma correlação inversa, ou seja, empobrecidos em Al₂O₃, FeOt e CaO, enquanto se encontram com uma correlação positiva ou enriquecidos em Na₂O e K₂O (Figura 8 e, f). Por outro lado, os microgabros e os mesogabros apresentam-se semelhantes, sendo que para a mesma concentração de SiO₂, estes apresentam enriquecimento em Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ (Figura 8 e-h) e empobrecimento em Al₂O₃, FeOt, MgO, CaO (Figura 8 a-d). Já os gabros e os melagabros apresentam semelhança no sentido em que relativamente a sílica apresentam um enriquecimento em MgO, Na₂O, K₂O (Figura 8 c, e, f), e um empobrecimento em Al₂O₃, FeOt, CaO, TiO₂ e P₂O₅ (Figura 8 a, b, d, g, h).

Os teores de K₂O e Na₂O mais altos do que os expectáveis, para todos os litotipos, são devido a presença de Feldspatos-K como a microclina e a ortose (Figura 8 e, f).

No diagrama ternário AFM, de Irvine & Baragar, 1971 (A=Na₂O+K₂O, FeO*=ferro total como FeO, e M=MgO), as rochas máficas de Candua, Libolo, mostram uma tendência toleítica bastante consistente progredindo para o enriquecimento em ferro (Figura 9).

Essas rochas são classificadas como sendo da série subalcalina, com o enriquecimento simultâneo em álcalis e sílica.

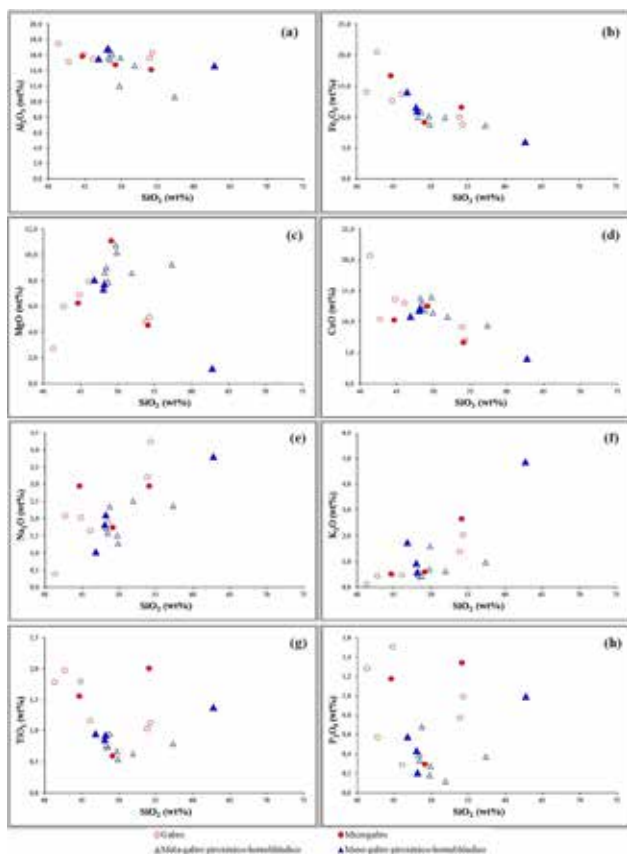


Figura 8: Diagramas de Harker ilustrando as tendências na composição em óxidos maiores do plutão de rochas máficas de Candua, para os diferentes litotipos (gabros, microgabros, melagabros e mesogabros).

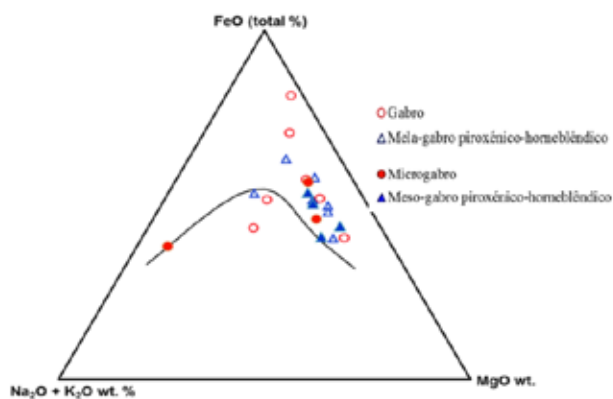


Figura 9: Diagrama de AFM, de Irvine & Baragar (1971) mostrando as rochas máficas de Candua, sendo projectadas na região toleítica, com tendência de enriquecimento em ferro, mostrando características sub-alcálinas toleíticas.

No geral as rochas gabróicas de Candua, Libolo, contêm baixo conteúdo de MgO e CaO e maiores conteúdos de SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅ e álcalis. Os altos conteúdos de Fe e Ti tem a ver com o seu grande volume de opacos (provavelmente ilmenites e magnetites) no intervalo de 10 a 20%.

As variações geoquímicas são também observadas em termos do conteúdo de MgO e número de Mg (número

de Mg = massa molar de Mg x 100/ (Mg+ Fe total). O decréscimo dos valores de MgO ou número de Mg em rochas gabróicas reflecte o fraccionamento do fundido (liquidus) ou fases ferromagnesianas próximas do liquidus (Wilson, 1989). Nas rochas gabróicas de Candua, Libolo, o número de Mg nos gabros varia de 27,8 a 58,2 com média de 42,2. Nos mela-gabros piroxénico-hornbléndicos varia de 53,3 a 67,9 com média de 61,2. Nos meso-gabros piroxénico-hornbléndicos os valores do #Mg variam de 53,8 a 70,6 com média de 64,3, e nos microgabros varia de 42,6 a 58,8 com média de 51,6 (Tabelas 2). Percebe-se claramente que o predomínio na concentração em magnésio recai para o mesogabros, seguindo os melagabros, os microgabros e por fim os gabros.

O MgO foi tomado como o óxido de referência por causa do seu grande intervalo de valores e comportamento importante durante a cristalização fraccionada do fundido. Para entender a evolução magmática, vários diagramas binários foram projectados (Figura 10).

Para os litotipos de rochas máficas de Candua, Libolo, os gabros mostram incremento sistemático de CaO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂ e Al₂O₃ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 b-g), enquanto que os conteúdos de SiO₂ mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 a). Os microgabros apresentam um incremento de SiO₂, K₂O, Na₂O e TiO₂ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 a, c, d, e), enquanto que os conteúdos de Fe₂O₃, Al₂O₃ e CaO mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 b, f, g). Nos melanogabros piroxénico-hornbléndicos regista-se um incremento sistemático de SiO₂, Fe₂O₃, K₂O e Na₂O com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 a, b, c, d), enquanto que os conteúdos de TiO₂, Al₂O₃ e CaO, e mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 e, f, g). Por sua vez, nos mesogabros piroxénico-hornbléndicos há um incremento de Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, TiO₂ e Al₂O₃ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 8 b, c, d, e, f) enquanto que os conteúdos de SiO₂ e CaO mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 8 a, g).

Pode-se verificar que essas variações, para os diferentes litotipos, condizem com a cristalização fraccionada do magma. Contudo, há um empobrecimento de TiO₂ nos gabros em relação ao MgO. Ainda nos gabros, as correlações negativas entre o MgO vs TiO₂, Al₂O₃ e CaO é muito suave e quase plana. A correlação positiva entre a SiO₂ e MgO nos gabros e nos mesogabros é bastante suave e quase plana. O mesmo se verifica na correlação inversa entre o MgO vs FeO_t, nos gabros, melagabros e mesogabros (Figura 8 b, e, f, g).

O ligeiro acréscimo da razão CaO/Al₂O₃ com o acréscimo dos conteúdos de MgO e as correlações positivas do número de Mg versus Cr (ppm), Ni (ppm), em todos os litotipos nas rochas máficas de Candua, Libolo, é a consequência da cristalização fraccionada dominada

Tabela 2 - Concentração de elementos maiores de rocha total, elementos traços e REE de Candua, Libolo

Litologia	Gabro	Gabro	Gabro	Microgabro	Gabro	Gabro	Gabro	Mela-gabro	Microgabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Gabro	Microgabro	Mela-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro
Amostras	CA01	CA11	CA16	CA18	CA20	CA22	CA25	CA28	CA29	CA35	CA36	CA37	CA39	CA42	CA44	CA56	CA57	CA60	CA62	CA65	CA67
SiO ₂	54,11	43,85	53,44	48,54	42,61	48,19	40,27	47,75	44,33	47,89	47,39	46,09	53,19	48,71	48,5	56,29	47,1	48,64	51,63	45,21	62,26
Al ₂ O ₃	16,2	15,78	15,49	14,54	15,07	16,22	17,01	15,15	15,71	16,75	15,5	15,48	13,86	15,31	16,05	10,46	16,44	11,79	14,6	15,01	14,55
Fe ₂ O ₃ (T)	8,73	12,31	9,86	9,03	20,41	10,91	13,66	10,88	16,52	10,96	9,85	13,75	11,34	8,67	10,78	8,52	11,42	9,92	9,91	13,57	6,03
MgO	5,14	6,75	4,76	10,92	5,97	7,87	2,65	8,91	6,18	7,71	8,5	7,92	4,44	9,95	7,86	9,09	7,22	10,55	8,58	7,81	1,19
CaO	6,92	13,26	9,05	12,33	10,36	12,72	20,16	12,52	10,14	12,11	13,52	12,96	6,49	11,26	11,8	9,26	11,64	13,7	10,76	10,52	4,1
Na ₂ O	4,22	1,99	3,18	1,72	2,07	1,88	0,38	1,57	2,93	2,11	1,7	1,65	2,9	1,25	2,35	2,34	1,8	1,49	2,51	1,01	3,78
K ₂ O	2,04	0,45	1,38	0,59	0,43	0,38	0,11	0,59	0,51	0,59	0,47	0,46	2,62	1,57	0,43	0,97	0,93	0,7	0,63	1,69	4,84
TiO ₂	1,119	1,758	1,02	0,586	1,971	0,718	1,74	0,723	1,548	0,929	0,757	1,154	1,973	0,533	0,948	0,779	0,85	0,659	0,631	0,923	1,377
P ₂ O ₅	0,99	1,47	0,77	0,29	0,57	0,38	1,25	0,33	1,17	0,21	0,38	0,29	1,32	0,27	0,68	0,37	0,43	0,18	0,12	0,56	0,99
MnO	0,15	0,173	0,188	0,166	0,201	0,186	0,176	0,169	0,206	0,147	0,156	0,172	0,14	0,144	0,16	0,166	0,184	0,181	0,148	0,212	0,135
LOI	0,35	2,72	1,14	1,85	0,97	1,18	2,54	2,17	1,14	0,79	1,57	0,73	0,89	2,83	1	1,81	2,22	2,9	1,08	3,23	0,57
Total	99,97	100,5	100,3	100,6	100,6	100,6	99,94	100,8	100,4	100,2	99,8	100,7	99,18	100,5	100,6	100,1	100,2	100,7	100,6	99,75	99,81
Cs	0,9	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	3,4
Rb	32	10	35	10	8	5	2	14	7	9	7	7	55	46	5	17	27	16	10	81	147
Ba	1154	213	653	414	204	362	134	454	398	283	268	194	1527	1414	264	1139	2424	289	452	1423	1401
Sr	1020	1341	608	509	590	582	5052	505	932	687	589	596	1074	615	675	472	669	384	848	568	373
Pb	13	16	12	10	4,9	7	36	4,9	7	12	7	4,9	23	25	35	15	9	9	6	29	39
Th	2,35	1,59	6,55	0,75	0,53	0,57	1,47	0,49	1,13	0,93	0,88	0,57	2,11	0,75	0,8	3,34	1,09	1,04	0,99	1,61	27,1
U	0,57	0,32	1,53	0,18	0,1	0,1	0,31	0,11	0,21	0,22	0,2	0,13	0,44	0,13	0,19	0,53	0,24	0,3	0,19	0,33	8,5
Zr	129	228	202	60	46	43	198	54	69	78	60	48	216	45	86	176	62	93	73	76	478
Hf	3	5,6	5,2	1,5	1,4	1,4	4,2	1,6	2,1	2,1	1,9	1,5	5,4	1,1	2,3	4,2	1,6	2,2	1,9	2	13,1
Y	0,3	0,45	0,78	0,1	0,2	0,11	0,31	0,14	0,22	0,25	0,22	0,13	0,54	0,1	0,19	0,22	0,16	0,21	0,12	0,16	1,72
Y	20,5	42,8	20,6	10	16,4	15,1	21,2	13,9	29,5	11,6	12,5	13,4	19,3	8,4	16,7	15	17	15	10	17,1	65,6
Nb	5,6	14,4	11,8	2,3	4,5	3,4	9,9	2,7	5,2	3,4	3,6	2,3	10,3	1,7	4,4	4,9	3,4	3,3	2,5	2,7	27,2
Sc	18	26	29	38	43	46	20	40	32	35	35	43	16	36	36	31	43	45	31	36	18
Cr	250	260	390	590	130	110	100	260	110	190	230	210	230	220	360	990	100	430	220	80	90
Ni	70	80	40	200	19,9	60	19,9	90	30	110	120	70	70	120	130	150	60	150	170	50	19,9
Co	29	44	34	52	76	49	27	60	47	59	56	70	36	55	57	43	51	55	51	71	9
V	183	271	216	185	868	268	268	237	340	283	192	406	240	171	241	129	285	208	143	350	58
W	3,2	1,3	16,9	1,1	5,1	1,5	2,8	2,2	1,1	1,9	2,1	3,4	2,9	2,6	1,3	20,2	2	1,4	4,7	2,5	5,4
Ga	20	28	20	14	23	16	35	15	23	18	18	17	22	14	18	14	17	13	17	18	20
Zn	100	180	120	90	140	100	80	100	150	90	80	100	220	110	120	120	110	100	90	140	100
Cu	100	20	110	190	160	160	90	110	120	170	210	190	130	220	130	50	160	200	70	140	60
La	46,6	88,6	62,5	15,1	28,3	18,5	75,1	15,8	46,8	21,5	22,2	14,7	68,7	17,4	36	48,3	25,3	17,4	24,9	22,6	157
Ce	99,7	233	128	32,8	63,1	45,1	168	36,6	107	47	50,1	34,9	137	33,7	78	84,3	55,2	43,9	52	52,3	303
Pr	12,1	32,9	13,3	3,99	7,87	5,98	21,1	4,63	13,6	5,7	6,14	4,51	17,7	4,22	9,44	9,19	7,07	5,84	6,4	6,73	33,2
Nd	50,4	148	45,6	16,3	31,4	24,8	82,4	19,3	57,4	21,7	24,3	20	72,1	17	37,4	33,9	28,7	24,2	25,4	27,9	120
Sm	9,05	25	7,43	3,09	5,71	4,74	12,9	3,87	10,9	4,1	4,55	4,12	12,4	3,04	6,72	5,87	5,47	4,85	4,63	5,51	20,1
Eu	2,53	5,21	2,14	1,02	1,5	1,26	3,49	1,19	3,04	1,23	1,4	1,26	3,27	1,04	1,68	1,5	1,45	1,29	1,41	1,44	4,44
Gd	6,71	15	5,06	2,6	4,45	3,75	8,03	3,39	8,45	3,03	3,51	3,45	7,89	2,46	5,03	4,02	4,52	3,94	3,15	4,43	14,2
Tb	0,83	1,71	0,7	0,37	0,6	0,53	0,95	0,48	1,15	0,43	0,5	0,48	0,87	0,32	0,64	0,54	0,64	0,52	0,4	0,61	2,03
Dy	4,13	8,88	3,83	1,91	3,1	2,81	4,61	2,56	5,81	2,26	2,55	2,6	4,07	1,57	3,28	2,86	3,3	2,92	2,08	3,19	11,3
Ho	0,71	1,55	0,73	0,35	0,57	0,52	0,79	0,49	1,03	0,42	0,47	0,48	0,67	0,29	0,61	0,49	0,59	0,51	0,36	0,58	2,16
Er	1,93	4,1	2,05	0,95	1,56	1,45	2,01	1,37	2,65	1,15	1,35	1,29	1,7	0,8	1,62	1,46	1,65	1,42	0,94	1,64	6,31
Tm	0,253	0,527	0,305	0,137	0,221	0,206	0,261	0,187	0,366	0,157	0,186	0,168	0,199	0,106	0,213	0,215	0,222	0,197	0,126	0,224	0,9
Yb	1,53	3,03	2	0,89	1,26	1,32	1,53	1,16	2,26	0,95	1,1	1,17	1,23	0,63	1,37	1,44	1,43	1,24	0,79	1,38	6,05
Lu	0,233	0,434	0,312	0,132	0,192	0,187	0,221	0,179	0,33	0,144	0,157	0,18	0,191	0,098	0,198	0,223	0,206	0,195	0,116	0,204	0,952
Be	2	2	2	0,9	1	1	2	0,9	1	1	2	0,9	2	0,9	1	2	1	1	1	0,9	4
Ge	1,3	2	1,6	1,4	1,4	1,5	2,6	1,5	1,4	1,3	1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,8	1,5	1,9	1,4	1,3	2
As	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Mo	4	1,9	1,8	2	7	2	4	3	2	2	2	4	4	3	2	24	3	1,9	5	3	5
Ag	4,9	0,7	4,9	4,9	4,9	4,9	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	0,6	4,9	4,9	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	1,4
In	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,1
Sn	3	5	2	7	2	6	3	2	3	2	4	2	6	2	2	2	3	7	1	1	5
Sb	0,2	0,19	0,2	0,2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,2	0,19	0,2
Tl	0,07	0,049	0,12	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,13	0,1	0,049	0,06	0,07	0,06	0,049	0,37	0,26
Bi	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
# Mg	27,8	28,1	36,7	42,6	43,7	48,9	52,1	53,3	53,3	53,8	55,6	58,2	58,8	59,1	61,9	63,1	63,2	67,8	67,9	69,5	70,6
Óxidos maiores em %, Elementos traços REE em ppm																					

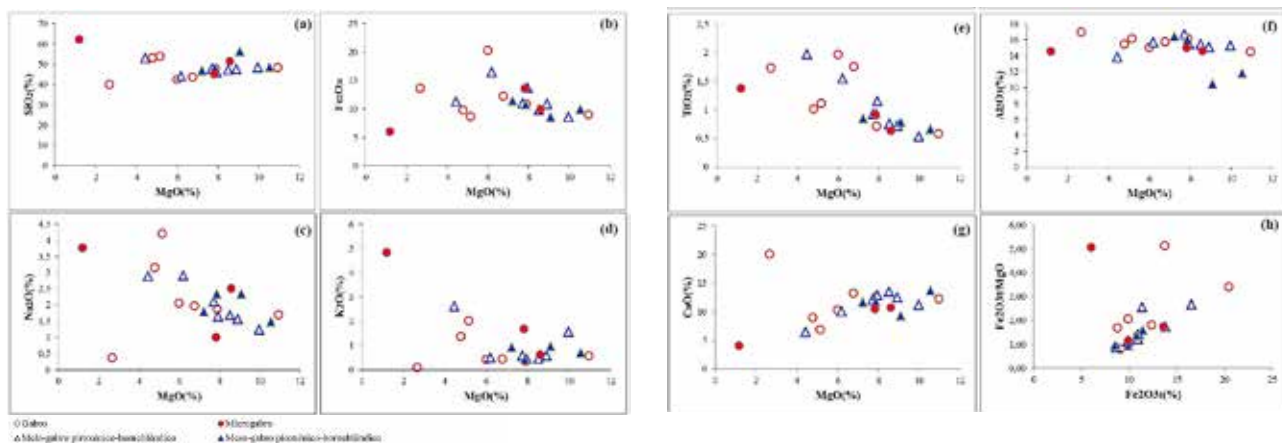


Figura 10: Comportamento dos óxidos maiores em relação ao MgO, para as rochas gabróicas de Candua.

pela plagioclase + clinopiroxena respectivamente (Figura 11 a, b, c & d).

As rochas máficas de Candua, Libolo, para todos os litotipos, a razão CaO/Al_2O_3 varia de 0,28 a 1,19, com uma média de 0,75. Exceptuando as amostras CA25 e CA60, todas as amostras das rochas gabróicas de Candua, Libolo, mostram razões de CaO/Al_2O_3 menores em relação ao valor do condrito ou o manto primário de 0,9.

Durante a remoção das plagioclases, a razão de CaO/Al_2O_3 incrementa-se. Essas razões e a tendência plana mostradas pelas projecções (Figura 11 c) indicam que a acumulação das plagioclases tomou lugar nos gabros de Candua, Libolo. O incremento de FeO com o incremento da razão FeO/MgO , nos gabros, melanogabros e mesogabros indica acumulação de opacos (provavelmente magnetite ou titano-magnetite), o que também é observado na petrografia (Figura 10 h).

O decréscimo de FeO com o incremento da razão FeO/MgO nos microgabros pode estar relacionada com a acidificação dessas rochas promovida pela forte implantação de material quartzo-feldspático por meio de veios verificados em afloramentos (Figura 5d).

A projecção dos óxidos de P_2O_5 vs TiO_2 , segundo Mullen (1983), para os gabros, melanogabros, microgabros e mesogabros da zona de Candua, mostra uma correlação positiva, em que há o aumento de P_2O_5 com o aumento de TiO_2 , indicando assim uma evolução das rochas máficas de Candua, por meio da fusão parcial (Figura 12).

Quanto ao índice de diferenciação de Thornton e Tuttle (1960: $DI = Qz + Or + Ab + Ne + Lc$ normativos), de forma geral, os gabros, microgabros, melanogabros e mesogabros de Candua, Libolo, mostram um índice de diferenciação (D.I.) situado no intervalo entre 49 e 89 com uma média de 65 indicando que os mesmos foram gerados no estágio tardio de um magma muito diferenciado, com exceção a amostra CA60 que possui o D.I. <50, já que todas as outras têm o D.I. >50.

Geoquímica dos elementos traços e REE de rocha total

Os padrões da distribuição dos elementos traços dos gabros de Candua, normalizados no diagrama multielementar em relação ao Manto Primitivo, segundo Sun & McDonough (1989) mostram, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, um enriquecimento de LILE (elementos de grande raio iónico) tais como Cs, Rb, Ba, Th, U, Sr, Pb e Eu (Figura 13).

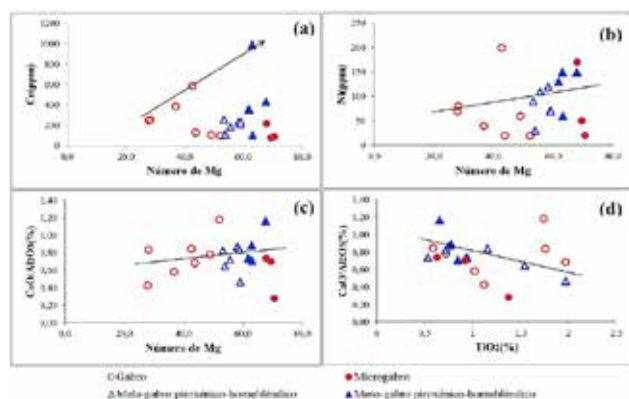


Figura 11: (a), (b) e (c) Diagramas binários do número de Mg vs Cr (ppm), Ni (ppm) e CaO/Al_2O_3 indicando cristalização fraccionada da Cpx. (c) Diagrama de variação do TiO_2 vs CaO/Al_2O_3 mostrando diferentes graus de fusão parcial nas rochas máficas de Candua.

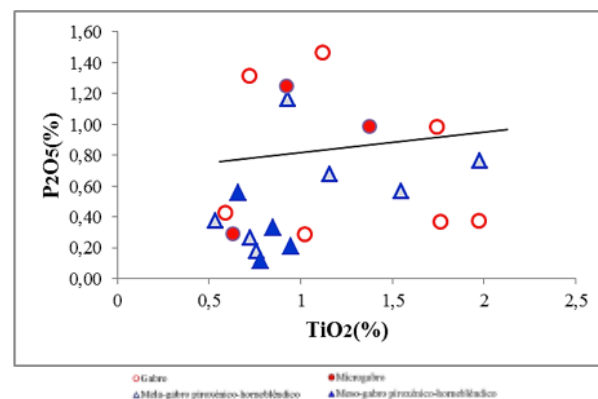


Figura 12: Diagrama binário do TiO_2 (%) vs P_2O_5 (wt.%), segundo Mullen (1983), mostrando uma correlação positiva indicando a evolução das rochas máficas de Candua, por meio da fusão parcial.

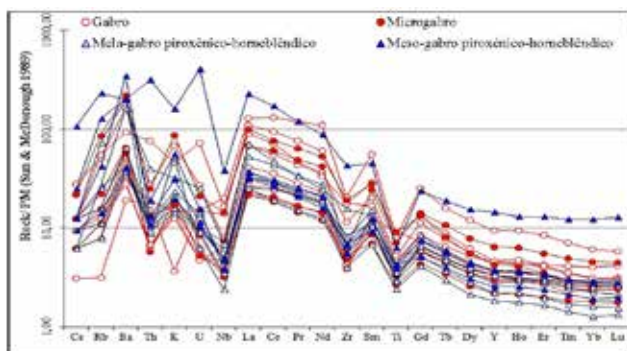


Figura 13: Distribuição dos Elementos Traços das rochas máficas de Candua, normalizados em relação ao Manto Primitivo, mostrando anomalias positivas de LILE positive e negativa de Zr.

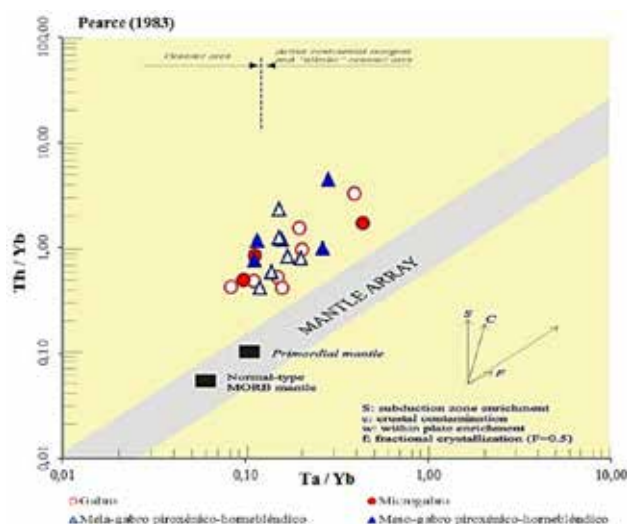


Figura 14: Diagrama de Ta/Yb versus Th/Yb das rochas gabróicas de Candua, Libolo (Pearce, 1983).

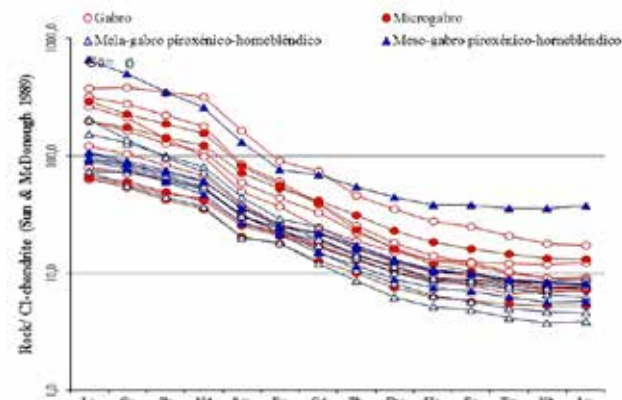


Figura 15: Padrão de distribuição dos Elementos de Terras Raras, para as rochas gabróicas de Candua, normalizado com o Condrito C1 (Sun & McDonough, 1989), com enriquecimento característico relativo dos LREE e depleção dos HREE.

Nota-se uma depleção de elementos de grande potencial iónico (HFSE) como Zr (11-78 ppm), Nb (0,4-27,2 ppm) e Hf (0,2-13,1), que são menos fraccionados e depletados com respeito as concentrações dos LILE (Table 2), indica uma fonte de enriquecimento de LREE (Elementos de Terras Raras Leves) e LILE. (Figura 13).

Os conteúdos altos de Ni e Cr dessas rochas indicam o seu parentesco toleítico que está no intervalo de 20 a 200 ppm e 80 a 990 ppm, respectivamente.

Os resultados analíticos dos gabros, microgabros, meso e melanogabros, projectados no diagrama da relação Th/Yb versus Ta/Yb, proposto por Pearce (1983), permitiram determinar que as fontes magmáticas das rochas da zona de estudo estivessem associadas à zona de transição entre os Arcos Oceânicos e as Margens Continentais Activas (Figura 14).

Pode-se assim inferir que os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros de Candua, Libolo, foram submetidos a cristalização fraccionada com concomitante contaminação crustal, sem que o tipo litológico tenha sido um factor de diferenciação. Ou seja, todos os tipos litológicos são projectadas numa zona de transição entre os Arcos Oceânicos e as Margens Continentais Activas (Figura 14).

A distribuição dos padrões das REE das rochas máficas de Candua, Libolo, normalizados aos Condritos C1 altamente fraccionados (Sun & McDonough, 1989), para todos os litotipos, mostram um enriquecimento em Elementos de Terras Raras Leves (LREE) relativamente aos Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) para todos os litotipos (Figura 15).

O Σ REE varia de 127,1-765,2 ppm com uma média de 264 ppm, tendo as LREE 74,9-651,9 ppm; uma média de 202 ppm e o intervalo de HREE é de 44,2-113,3 ppm; média de 62 ppm (Figura 15). Um incremento no Σ REE é correlacionado ao número do Mg. O Eu/Eu* dos gabros situam-se no intervalo de 0,8 a 1,16 com uma média de 1,0 (Tabela 2), reflectido como anomalia de európio relativamente plana ou ligeiramente positiva, com enriquecimento dos LREE e empobrecimento em HREE, com excepção dos Gabros e Microgabros que apresentam teor de HREE típico de rochas com origem de contaminação crustal. As variações no Σ REE indicam vários graus de fusão envolvidos na génese dessas rochas.

Os diagramas multielementares das rochas máficas de Candua, Libolo, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, comparados com as composições dos basaltos de dorsais meso-oceânicas (N-MORB), e dos basaltos enriquecidos (E-MORB), (Figura 16 a), revelam em relação ao N-MORB, o seguinte:

- (1) um enriquecimento significativo nos elementos LILE: Rb, Ba e K;
- (2) um maior conteúdo em Ba, Th, La, Ce e Nd;
- (3) um enriquecimento nas LREE;
- (4) um empobrecimento das HREE.

Todos estes aspectos são similares no caso do E-MORB, excepto um ligeiro enriquecimento nos HREE observados,

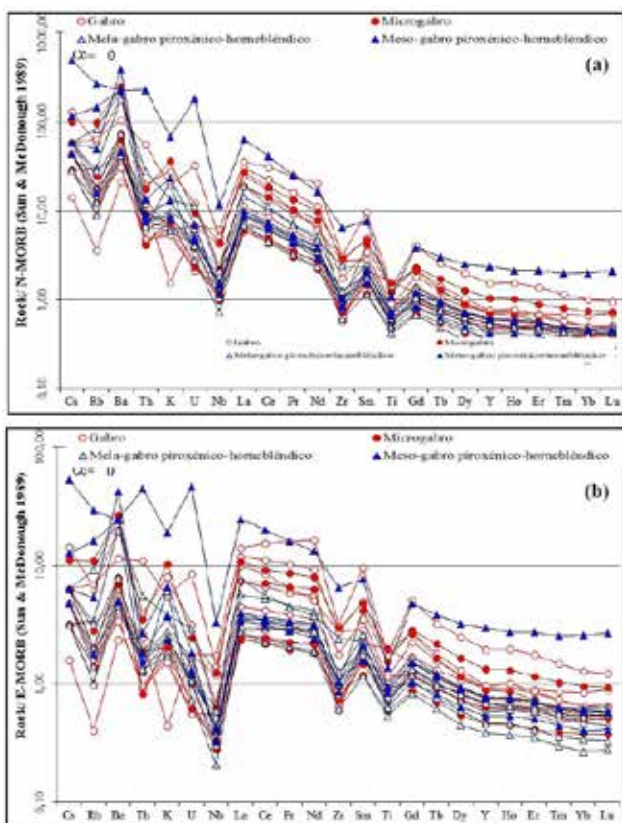


Figura 16: Diagramas multielementais das REE, para as rochas máficas de Candua, normalizados em relação: (a) aos basaltos de dorsal meso-oceânica (N-MORB); (b) aos basaltos enriquecidos (E-MORB), (Sun & McDonough, 1989).

sejam para os gabros, os microgabros, os mesogabros e os melanogabros. Os picos irregulares que apresentam os elementos Rb, K, e Nb, se interpretam como sendo devida a mobilidade que experimentam estes elementos durante a deformação tectónica (Lewis et al., 2002). Os conteúdos dos elementos traços para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros estabelecem uma origem para as rochas de Candua, Libolo, a partir de um manto relativamente enriquecido. A afinidade ao E-MORB seria resultado de uma mescla entre componentes deste manto enriquecido e um componente do manto empobrecido (fonte dos N-MORB), possivelmente relacionada com a actividade de uma pluma que a atravessou durante a sua ascensão. O empobrecimento que apresentam os HREE nos gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros seria resultado da presença de clinopiroxena residual da fonte mantélica profunda (Figura 16 b).

Nos diagramas multielementares a amostra CA67, correspondente a um mesogabro piroxénico-hornbléndico, apresenta um comportamento que corta os demais amostras para o Ba, Pr e Nd normalizados tanto para o Manto Primitivo, para o Condrito, para o MORB enriquecidos bem como o MORB empobrecido.

DISCUSSÃO

Os estudos efectuados durante os trabalhos de campo nos intrusivos da zona de Candua, permitem determiná-los

como pertencentes à uma estrutura circular de composição máfica e ultramáfica, encaixada em terremos de composição ígnea e metamórfica de idade Precambriana.

(a) Petrografia e Geoquímica

Os estudos petrográficos indicam o predomínio dos cúmulos de plagioclase e clinopiroxenas nas secções inalteradas para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros de Candua, Libolo. A saussuritização das plagioclases, anfíbolos castanhos e verdes, biotites e opacos como produtos de alteração das Cpx, relíquias de Cpx ocupam os espaços intercúmulos. Agrupamentos magmáticos de minerais máficos, piroxenas, anfíbolos e quartzo são observados nas rochas. A variação no número do magnésio (32 a 55), textura cumulática e outras projecções discriminantes geoquímicas indicam cristalização fraccionada como um processo magmático dominante para a geração dos gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e dos mesogabros piroxénico-hornbléndicos.

A presença de Opx acessória, sobretudo nos melanogabros, e a tendência de enriquecimento em ferro mostrado pelo diagrama AFM são indicativos de um magma de natureza toleítica (Figura 9).

O índice de diferenciação (D.I.) indica que essas rochas gabróicas, no geral, formaram-se no estágio tardio de diferenciação de um magma basáltico.

As correlações positivas entre Ti (ppm) versus Zr (ppm), número do Mg versus Cr (ppm), Ni (ppm) revelam a cristalização da Cpx e da plagioclase (Figura 10 a, b).

A relação positiva entre o conteúdo de MgO com os conteúdos de CaO e Al₂O₃ confirma igualmente o fraccionamento das Cpx e plagioclase para os gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos (Figura 15).

As razões de CaO/Al₂O₃ (variando de 0,28-1,19; média de 0,75) são ligeiramente menores que as razões do manto superior (0,8) e do condrito (0,9), o que indica que essas rochas os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros resultaram de vários graus de fusão parcial (Figura 11d).

Os padrões das REE normalizados ao condrito, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, mostram um enriquecimento em Elementos de Terras Raras Leves (LREE) variando entre 100 a 1000x para algumas amostras e um empobrecimento para os Elementos de Terras Raras Pesadas (HREE) cujos valores variam de 8 a 80x, bem como uma ligeira anomalia positiva de Eu, típico de ambientes crustais que apresentam um fracionamento contínuo e depleção das HREE (Figura 15).

A projecção dos dados analíticos dos gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros normalizados ao M-MORB e E-MORB (Sun & McDonough, 1989), mostram uma acentuada anomalia negativa de, Rb, Th, Nb, Zr e Ti e um enri-

quecimento em Ba, K, Ce, Sm, Gd e Elementos de Terras Raras Leves (LREE), com o K e os Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) em torno de 8x (Figura 16).

O somatório dos conteúdos dos Elementos das Terras Raras (Σ REE) variam de 127,1 a 765,2 ppm com uma média de 264 ppm. A presença de hornblenda nos gabros contribuiu para os altos conteúdos de REE nessas rochas. Os coeficientes de partição das REE para a hornblenda são maiores em rochas intermédias do que em rochas básicas (Rollinson, 1993). A abundância em REE e os padrões de distribuição suportam a fusão parcial do manto.

Com base as razões da relação compatível/incompatível de Ta/Yb versus Th/Yb indica que a fonte das rochas máficas de Candua, Libolo, tem uma influência de processos continentais de contaminação crustal (figura 14).

Os padrões de distribuição dos Elementos traços e das REE e as razões para as rochas gabróicas máficas de Candua, Libolo, mostram enriquecimento em LILE, LREE e empobrecimento em HREE e HFSE com assinaturas de depleção pronunciadas, mas com anomalias de Eu com tendências positivas indicando variações nos níveis de acumulação das plagioclases.

O Nb/Ta varia de 0,3-1,6 com uma média de 0,9, ao passo que a média do manto primitivo indicada por Sun et al (1989) é de 17,4, significando uma depleção de Nb/Ta nas rochas máficas de Candua, Libolo.

A discriminação baseada na relação entre Nb/Th versus Y (ppm) (Figura 17) classifica essas rochas máficas como sendo dos campos de arcos, dando assim substância a outros parâmetros geoquímicos encontrados. As razões baixas de Nb/Th e os conteúdos baixos a moderados de Y são característicos de magmas basálticos derivados de arcos (Jenner et al., 1991). As razões de Al_2O_3/TiO_2 , CaO/TiO_2 e K_2O/TiO_2 das rochas máficas de Candua, Libolo, são projectados contra os seus respectivos conteúdos de TiO_2 .

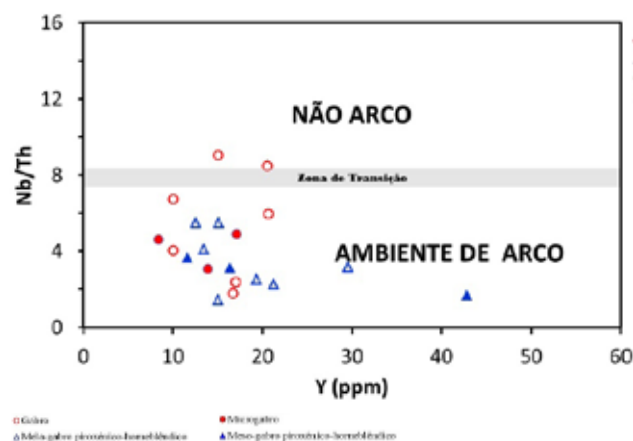


Figura 17: Diagrama discriminante baseado na razão Nb/Th versus Y (ppm) (Jenner et al. 1991) classificam as rochas máficas de Candua, como pertencentes essencialmente a Arcos.

Nas rochas gabróicas de Candua, a razão de Al_2O_3/TiO_2 varia de 7,02 a 28,7 com uma média de 16,2 e CaO/TiO_2 varia de 3,0 a 21,1 com uma média de 12,3. O K_2O/TiO_2 varia de 0,06 a 3,5 com uma média de 1,07, cuja razão é mais alta do que a referente ao manto enriquecido e MORB (0,15), indicando claramente um enriquecimento em K. Tal enriquecimento pode ser possível devido a: i) contaminação do magma parental das rochas gabróicas, ii) cristalização fraccionada, e iii) enriquecimento em K na fonte mantélica.

As variações de TiO_2 versus Al_2O_3/TiO_2 , CaO/TiO_2 e K_2O/TiO_2 também suportam as observações da crosta primitiva oceânica como responsável pela génese dessas rochas máficas. As razões de Al_2O_3/TiO_2 variam de 7,02 a 28,7 com uma média de 16,2 para as rochas gabróicas de Candua (a razão do Condrito é de 20).

Por outro lado, a distribuição dos elementos incompatíveis nos magmas basálticos dos fundos oceânicos difere de forma substancial aos magmas basálticos de arcos-ilha. Os de arcos-ilha mostram um característico empobrecimento em Nb e Ta, comparado com a maior abundância de elementos LILE (Th, K, Rb e La; Tejada et al., 2002; Condie, 1994). Já os de fundos oceânicos procedem de plumas mantélicas e não apresentam a anomalia negativa de Nb-Ta (inclusive um enriquecimento). A relação La/Nb (ou Th/La) foi sugerida para monitorizar os magmas dos componentes de arco e pluma (Lewis et al., 2002). Valores da relação $La/Nb < 1$ são características de magmas basálticos de fundos oceânicos e N-MORB. A distinção dos magmas basálticos de fundos oceânicos dos magmas basálticos MORB é mais difícil. Contudo, os de MORB apresentam tipicamente conteúdos menores de Nb e Ta ($Nb < 3$ ppm) que os de fundos oceânicos ($Nb > 5$ ppm), assim como menores razões Nb/Y ($< 0,1$, Lewis, 2002). Assim, as rochas máficas de Candua, apresentam razões $La/Nb > 1,4$ (1,6-30, e média de 10,3) e $Nb/Y > 0,1$ (0,2-0,6, com média de 0,3). As anomalias negativas Nb-Ta e os valores altos da razão La/Nb estabelecem uma assinatura geoquímica que as podem associar ao magmatismo de uma dorsal oceânica, situada na zona de arco traseiro.

CONCLUSÕES

1. As rochas máficas de Candua (Libolo), fazem parte de um corpo intrusivo de estrutura circular sobre rochas ígneas, metamórficas, associadas a zona do hertz do Kwanza e a falha perioceânica.
2. Litologicamente, as rochas máficas de Candua (Libolo), classificam-se em gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos, compostas por plagioclase e clinopiroxenas como fases minerais essenciais, hornblendas, ortopiroxenas, biotites e opacos como fases secundárias.
3. Texturalmente os microgabros apresentam textura microfanerítica ofítica, ao passo que os gabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos apresentam uma textura fanerítica cumulática ofítica a subofítica.

4. Geoquimicamente, as rochas máficas de Candua (Libolo), apresentam baixos teores de alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), teores médios Fe_2O_3 , teores de TiO_2 de moderado a alto, e altos teores de Al_2O_3 , sendo classificadas genericamente como gabros subalcalino-peraluminoso-toleíticos, com anomalias negativas de Rb, Th, Nb, Zr e Ti e uma anomalia positiva de Ba, K, Ce, Sm e Gd.

5. Os elementos de REE dos gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornebléndicos e mesogabros piroxénico-hornebléndicos, apresenta uma anomalia plana positiva de Eu, típico de rochas formadas em ambiente cortical com aporte significativo de material continental.

6. As rochas máficas de Candua (Libolo), mostram enriquecimento em LREE e empobrecimento em HREE, bem como anomalias negativas de Th, Nb, Zr, Ti, Ho, entre outros REE, indicando feições características de rochas de contaminação crustal, corroborado pela relação geoquímica de Ta/Yb versus Th/Yb; e de Ti versus Zr.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Andrade, M. M., 1950. *Estado actual dos conhecimentos sobre as rochas ígneas de Angola*. Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra. Publicações do Museu Mineralógico e Geológico, N.º 27. Memórias e Notícias. Coimbra Tipografia da Atlântida.
- [2] Ashwal, L.D., Twist, D., 1994. *The Kunene complex, Angola/Namibia: a composite massif-type anorthosite complex*. *Geological Magazine* 131, 579-591.
- [3] Condie, K.C., 1994. *Greenstones through time*. In K.C. Condie (ed.). *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 85-120.
- [4] Cruz, A. G.; Simões, M. C., 1968. *Estudo Petrográfico da região de Impulo – Chongoroi*.
- [5] De Araújo, A.G., Perevalov, O.V., Jukov, R.A., 1988. *Carta Geológica de Angola. Escala 1:1000 000*. Instituto Nacional de Geologia. Angola.
- [6] De Carvalho, H., 1980-1981. *Breves Considerações de Natureza Geológica e de Cronologia Absoluta sobre as Rochas do Soco Antigo (Arcaico) de Angola*. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, Vol. XXII.
- [7] De Carvalho, H., Alves, P., 1990. *Gabbro-anorthosite Complex of SW Angola/NW Namibia*. *Comunicações Instituto Investigação Científica Tropical, serie de Ciencias da Terra, Lisboa*, pp. 5-64.
- [8] Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. *A guide to the chemical classification of the common igneous rocks*. *Can. J. Earth. Sci.*, 8, 523-548.
- [9] Jenner, G.A., Dunning, G.R., Malpas, J., Brown M. and Brace, T., 1991. *Bay of Islands and Little Port complexes, revisited: age, geochemical and isotopic evidence confirm suprasubductionzone origin*. *Can. J. Earth Sci.*, 28: 1635-1652.
- [10] Lewis, J.F., Escuder Viruete, J., Hernaiz Huerta, P.P., Gutierrez, G., Draper, G., Pérez-Estaún, A., 2002. *Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico*. *Acta Geologica Hispanica*, v. 37, nº 2-3, p. 81-122
- [11] Mayer, A., Hofmann, A.W., Sinigoi, S., Morais, E., 2004. *Mesoproterozoic Sm-Nd and U-Pb ages for the Kunene Anorthosite Complex of SW Angola*. *Precambrian Research* 133, 187-206.
- [12] Maier, W.D., Teigler, B., Miller, R., 2008. *The Kunene anorthosite complex and its satellite intrusions*, in: R.Mc. G Miller editions, *The Geology of Namibia*, Geological Survey of Namibia 9-1 to 9-18.
- [13] Morais, E., Sinigoi, S., Mayer, A., Mucana, A., Miguel, L.G., and Neto, J., 1998. *The Kunene gabbro-anorthosite complex: preliminary results based on new field and chemical data*. *Africa Geoscience Review* 5, 14.
- [14] Mullen, E.D., 1983. *MnO/TiO₂/P₂O₅: A Minor Element Discriminant for Basaltic Rocks of Oceanic Environments and Its Implications for Petrogenesis*. *Earth and Planetary Science Letters*, 62, 53-62. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(83\)90070-5](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(83)90070-5)
- [15] Pearce, J.A., 1983. *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*. In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. eds. *Continental basalts and mantle xenoliths*, Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, pp. 230-249.
- [16] Perevalov, O. V., Voinovsky, A. S., Tselikovskiy, A. F., Agueev, Y. L., Polskoi, F. R., Khódirev, V.L., Kondratiev, A. I., 1992. *Geologia de Angola (Notícia Explicativa da Carta Geológica à Escala 1:1.000.000) – Luanda*.
- [17] Rollinson, H. R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, UK. p.352.
- [18] Silva, A. F. & Fernandes, N. A., 1978. *Geologia Da Região Do Cariango (Angola)*, *Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa*, 21, Pp.27-59.
- [19] Streckeisen, A., 1976. *To each plutonic rock its proper name*. *Earth-Science Reviews*. Volume 12, Issue 1, March 1976, Pages 1-33.
- [20] Sun, S.S., McDonough, W.W.F., 1989. *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. *Geological Society, London, Special Publications*; v. 42; p. 313-345. [doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19).
- [21] Tejada, M.L.G., Mahoney, J.J., Neal, C.R., Duncan, R.A., Petterson, M.G., 2002. *Basement Geochemistry and geochronology of Central Malaita, Solomon Islands, with Implications for the Origin and Evolution of the Ontong Java Plateau*. In *Journal of Petrology*. Volume 43. Number 3. Pages 449-484.
- [22] Thornton, C.P. and Tuttle, O.F., 1960. *Chemistry of Igneous Rocks, Part 1, Differentiation Index*. *American Journal of Science*, 258, 664-684. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.258.9.664>
- [23] Torquato, J. R., Ferreira da Silva, A. T., Cordani, U. G., Kawashita, K., 1979. *Evolução Geológica do Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola*. *Academia brasileira de Ciências*.
- [24] Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonics Approach*. Springer. The Netherlands.