



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

MILENA ÍTALA BATISTA DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO ANFIBOLITO DO COMPLEXO
INHAPI, PROVÍNCIA BORBOREMA: PETROGRAFIA,
QUÍMICA MINERAL E GEOQUÍMICA.**

**Salvador
2020**

MILENA ÍTALA BATISTA DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO ANFIBOLITO DO COMPLEXO
INHAPI, PROVÍNCIA BORBOREMA: PETROGRAFIA,
QUÍMICA MINERAL E GEOQUÍMICA**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal da
Bahia como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. MSc. Ramon Matos Arouca Júnior
Co-orientador: Prof. MSc. Luan Cavalcante Dátoli

**Salvador
2020**

TERMO DE APROVAÇÃO

MILENA ÍTALA BATISTA DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO ANFIBOLITO DO COMPLEXO
INHAPI, PROVÍNCIA BORBOREMA: PETROGRAFIA,
QUÍMICA MINERAL E GEOQUÍMICA.**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinada:

1º Examinador – Prof. MSc. Ramon Matos Arouca Júnior (Orientador)
Universidade Federal da Bahia – UFBA

2º Examinador – Prof. MSc. Luan Cavalcante Dátoli
Universidade Federal da Bahia – UFBA

3º Examinador – Prof (a). Dr (a). Angela Beatriz de Menezes Leal (UFBA)
Universidade Federal da Bahia – UFBA

4º Examinador – Eduardo Luiz Vieira Carrilho (CBPM)
Companhia Baiana de Pesquisa Mineral

Salvador, 18 de dezembro de 2020

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA), com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Milena Ítala Batista dos

Caracterização do anfibolito do Complexo Inhapi, Província Borborema: Petrografia, química mineral e geoquímica. Milena Ítala Batista dos Santos. Salvador, 2020. 49 f. : il

Orientador: Prof. MSc. Ramon Matos Arouca Júnior

Coorientador: Prof. MSc. Luan Cavalcante Dátoli

TFG (Graduação - Geologia) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, 2020.

1. Santos, Milena Ítala Batista dos. 2. Arouca Jr, Ramon Matos. 3. Dátoli, Luan Cavalcante. 4. Silva Filho, Adejardo Francisco da. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Deus todo poderoso pelas maravilhas sem fins na minha vida!
Sem o teu amor eu nada seria!

Ao maior amor da minha vida, minha mãe Leci, por sonhar cada sonho meu, junto comigo. Ao meu pai José Carlos, que foi indispensável para que eu chegasse até aqui! A ela que é parte de mim, minha irmã Lorena, por sempre acreditar em mim, e me dar forças para seguir! A minha doce sobrinha Pérola, que para mim é luz, a sua existência me motiva todos os dias!

Aos meus amigos Rodrigo, Erick e Nájela, sem palavras para descrever o que cada um de vocês representaram para mim durante toda a graduação! Vocês tornaram essa caminhada mais alegre e leve com cada sorriso, abraço, ensinamento e palavra de conforto! Com vocês aprendi mais sobre o amor! Trevo de 4 folhas!

A pessoa capaz de despertar em mim, o meu melhor e pior humor durante a graduação, Deny, não consigo pensar nessa trajetória sem você! Obrigada por tanto!

A Glória e Gabriel, pelo companheirismo, por me fazer sorrir até mesmo dos desastres na graduação, sem vocês não teria graça, vocês foram maravilhosos! À Victor, meu chefinho de campo, muita gratidão por toda a ajuda ao longo deste trabalho!

A vocês que tanto me acolheram e fizeram dessa cidade estranha, um lugar familiar para mim, Matheus e Emerson, grata por todo carinho!

Ao meu orientador Prof. MSc. Ramon Arouca, por ter me acolhido nessa missão, sempre com muito zelo, paciência, atenção, responsabilidade e grandes explicações. Ao meu coorientador Prof. MSc. Luan Dátoli pela oportunidade de trabalhar nesta pesquisa e por toda a colaboração na elaboração deste trabalho.

Aos professores do IGEO que contribuíram para a minha formação, transmitindo seus conhecimentos e suas experiência de vida e profissional, sem vocês não seria possível! Meu eterno respeito e admiração!

RESUMO

O Complexo Inhapi consiste em uma sequência metavulcanossedimentar, aflorante em uma área de 3000 km², presente no Domínio Pernambuco-Alagoas, porção sul da Província Borborema. Lentes de anfibolitos encontram-se associados a este Complexo, encaixados e gnaissificados tectonicamente juntamente com corpos plutônicos graníticos. O presente trabalho visa compreender melhor alguns aspectos em relação a condições que atuaram durante o metamorfismo que originou tais rochas, por meio de um olhar comparativo e investigativo utilizando, entre outros, dados inéditos de química mineral. O anfibolito investigado apresenta microestrutura granoblástica decussada fina à média e nematoblástica, com paragênese estabelecida na fácies anfibolito, composta essencialmente por plagioclásio e hornblenda, além de quartzo, biotita, apatita, epidoto e opacos como minerais acessórios. Os plagioclásios presentes possuem teores %An₂₉₋₃₂, os anfibólios são cálcicos e classificados como magnésio-hornblenda. Estimativas geotermobarométricas indicaram pressão de metamorfismo do anfibolito variando de 5,41 a 6,02 Kbar, a uma temperatura entre 641,68° a 672,13°C. Os resultados discutidos apontam para um protólito ígneo, correspondente a um basalto com afinidade andesítica e assinatura sub-alcálica toleítica, associado a uma possível contaminação crustal. Dados químicos de rocha total e investigações comparativas demonstraram uma relação com rochas anfibolíticas posicionadas imediatamente ao norte do Complexo Inhapi sugerindo relação cogenética para esses termos litológicos.

Palavras Chave: Província Borborema; Domínio Pernambuco-Alagoas; Complexo Inhapi; Anfibolito.

ABSTRACT

The Inhapi Complex consists of a metavolcanosedimentary sequence, outcropping over an area of 3000 km², present in the Pernambuco-Alagoas Domain, south portion of the Borborema Province. Amphibolite lenses are associated with this Complex, embedded and gnaissified tectonically together with granitic plutonic bodies. The present work aims to better understand some aspects in relation to conditions that acted during the metamorphism that originated such rocks, through a comparative and investigative look using, among others, unpublished data from mineral chemistry. The investigated amphibolite presents fine to medium granulated and nematoblastic microstructure, with paragenesis established in the amphibolite facies, composed essentially of plagioclase and hornblende, in addition to quartz, biotite, apatite, epidote and opaque as accessory minerals. The plagioclases present are % An₂₉₋₃₂, amphiboles are calcium and classified as magnesium-hornblende. Geothermobarometric estimates indicated amphibolite metamorphism pressure ranging from 5.41 to 6.02 Kbar, at a temperature between 641.68 ° to 672.13 ° C. The results discussed point to an igneous protolite, corresponding to a basalt with andesitic affinity and tholeiitic sub-alkaline signature, associated with a possible crustal contamination. Chemical data of total rock and comparative investigations demonstrated a relationship with amphibolytic rocks positioned immediately to the north of the Inhapi Complex, suggesting a cogenetic relationship for these lithological terms.

Key words: Borborema Province; Pernambuco-Alagoas domain; Inhapi Complex; Amphibolite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo. O polígono vermelho representa área de estudo de Dattóli (2017), e o ponto vermelho representa a localização do corpo anfibolítico. 21

Figura 3.2: (a) Província Borborema e seus principais domínios: PB= Província Borborema; PEAL= Domínio Pernambuco-Alagoas; FDS = Faixa de Dobramentos Seridó; DRGN= Domínio Rio Grande do Norte; DZT= Domínio da Zona Transversal; CE= Domínio Ceará Central; CSF= Cráton São Francisco; DRP= Domínio Riacho do Pontal; DS= Domínio Sergipano; TAM=Terreno Alto Moxotó; TAP= Terreno Alto Pajeú; SJC= Núcleo Arqueano São José do Campestre; ZC Pa = Zona de Cisalhamento Patos; ZC Pe = Zona de Cisalhamento Pernambuco. (b) Distribuição dos granitoides neoproterozoicos. SPN = Sub- província Norte; SPT = Sub-província Transversal; SPS = Sub-província Sul..... 23

Figura 3.3: Mapa do Domínio Pernambuco-Alagoas leste. ZCR-Zona de Cisalhamento Ribeirão; ZCRC-Zona de Cisalhamento Rio da Chata; ZCI-Zona de Cisalhamento Itaíba; ZCBMJ-Zona de Cisalhamento Belo Monte Jeremoabo; ZCL-Zona de Cisalhamento Limitão; ZCM-Zona de Cisalhamento Maravilha; ZCC-Zona de Cisalhamento Cajueiro..... 24

Figura 3.4: Mapa geológico simplificado da área de estudo. 1 – Granitoides Indiscriminados; 2 – Plúton Ouro Branco: monzogranitos a granodiorito a duas micas; 3 – Plúton Serra da Caiçara: quartzo monzonito a quartzo álcali-feldspato; 4 –Complexo Inhapi: granada-biotita-muscovita-gnaisses, por vezes migmatizados, anfibolitos, quartzitos, cálcio-silicáticas e sillimanita-granada-biotita-muscovita gnaisses; 5 – Plúton Maravilha; 6 – Suíte Àguas Belas-Canindé: diatexitos metaluminosos, álcali-feldspato granitos a granodioritos. O ponto vermelho representa a localização da amostra da rocha anfibolítica (SI-407). 26

Figura 3.5: Amostra do anfibolito do Complexo Inhapi (SI-407)..... 27

Figura 3.6: Aspectos petrográficos das assembleias minerais do anfibolito do Complexo Inhapi: A) Assembléia mineral principal em textura granoblástica. Notar apatita hexagonal (secção basal) inclusa na hornblenda; B) Veio de epidoto truncando a hornblenda. C) Geminação albita do plagioclásio; D) Plagioclásio parcialmente alterado devido à saussuritização; E e F) Biotita exibindo contato serrilhado entre hornblenda mostrando aspectos de substituição mineral. As fotomicrografias: A e E estão sob luz planopolarizada; B, C, D e F sob nicóis cruzados. 29

Figura 3.7: Composição química dos anfibólios cálcicos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi. (Leake *et al.*, 1997)..... 32

Figura 3.8: Diagrama Ternário Ab-An-Or (albita-anortita-ortoclásio) para composição dos feldspatos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi (Deer *et al.*, 1992)..... 32

Figura 3.9: Diagrama P-T mostrando a distribuição geral das principais fácies metamórficas. Quadrados em vermelho representam as análises utilizadas. (Winter, 2014). 33

Figura 3.10: Diagrama discriminante de protólito a partir de rochas vulcânicas proposto por Winchester *et al.*, 1980: a) Ni vs TiO₂. Simbologia: (i) círculo vermelho

corresponde ao anfibolito do Complexo Inhapi (SI-407); (ii) triângulo azul, metabasito bandado do Complexo Rio Una (log-43); (iii) quadrado azul, metabasito foliado do Complexo Rio Una (log-56)..... 37

Figura 3.11: A) Diagrama $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (Irvine e Baragar, 1971) B) Diagrama V vs Co vs Ni (Ishikawa, 1968). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior..... 37

Figura 3.12: A) Diagrama de classificação Zr/ TiO_2 vs Nb/Y (Winchester e Floyd, 1977). B) Diagrama discriminante K_2O vs TiO_2 vs P_2O_5 (Pearce et al. 1975). Campo para basaltos oceânicos (1) e basaltos continentais (2). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior. 38

Figura 3.13: Diagramas discriminantes do ambiente geotectônico de posicionamento dos anfibolitos (Pearce & Cann 1973): A) Ti/100 vs Zr vs 3*Y; B) Ti/100 vs Zr vs Sr/2; C) Ti vs Zr. Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior. IAT = *Island arc tholeiites*, MORB = *Mid Oceanic Ridge Basalt*, CAB = *Calc-alkali basalt*, WPB = *Within plate basalt*..... 38

Figura 3.14: A) Diagrama multielementar de elementos-traço normalizado pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). B) Diagrama de elementos terras raras normalizados pelo condrito (Boynton, 1984). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior..... 39

Figura 3.15: Diagrama discriminante de rochas que sofreram modificações químicas por processos pós-magmáticos (Miyashiro, 1975). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior..... 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises representativas de química mineral nos anfibólios presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi. Cálculos de temperatura mínima de cristalização em Holland e Blundy (1994) e pressão (Schmidt, 1992; Anderson e Smith, 1995; Anderson, 1996)	30
Tabela 2: Análises representativas de química mineral nos feldspatos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi.	31
Tabela 3: Dados geoquímicos dos anfibolitos do Complexo Inhapi (SI407) e Complexo Una (log43 e log56).....	36

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE.....	14
CAPÍTULO 3 - ARTIGO	16
3.1 INTRODUÇÃO	20
3.2 CENÁRIO GEOLÓGICO	21
3.2.1 Domínio Pernambuco-Alagoas - PEAL.....	23
3.2.2 Complexo Inhapi.....	25
3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	27
3.4 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL.....	28
3.5 GEOTERMOBAROMETRIA	33
3.6 GEOQUÍMICA.....	34
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXO A - REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEONORDESTE. SÉRIE CIENTÍFICA.....	47

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Província Borborema (PB) definida por Almeida *et al.*, (1981; 1977), é um dos cinturões orogenéticos pertencentes ao Gondwana Oeste. Ao longo das décadas, vem passando por mudanças e ampliações quanto a interpretação e entendimento das áreas que caracterizam esta relevante província. Santos *et al.*, (2010) a interpretaram como sendo uma porção crustal caracterizada por profundas e extensas zonas de cisalhamentos, reativadas durante o Ciclo Brasileiro. A PB tem sido dividida em seis domínios crustais (Van Schmus *et al.* 2008): (i) Médio Coreaú, (ii) Rio Grande do Norte/Ceará, (iii) Transversal, (iv) Riacho do Pontal; (v) Pernambuco-Alagoas, e (vi) Sergipano.

A área de estudo aqui abordada está inserida no Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL), ao sul da Província Borborema (PB), e compreende um dos principais terrenos identificados por Santos (1995) na Sub-província Meridional. No interior desse domínio existem três ocorrências de tratos de faixas móveis brasileiras: (i) Rio Una, (ii) Palmares e (iii) Inhapi.

O complexo Inhapi apresenta-se como uma sequência metavulcanossedimentar, onde são encontrados os anfíbolitos, os quais serão aqui abordados. Esse trabalho representa um suplemento do projeto de mestrado do Dátoli (2017), onde foi realizado um estudo de um corpo rochoso tonalítico, denominado Plúton Maravilha, que se encontra em contato tectônico com as rochas metassedimentares da complexo Inhapi.

Visando o aprimoramento dos estudos geológicos da região, alguns trabalhos já foram e continuam sendo realizados na área por Silva Filho *et al.*, (2014), Dátoli (2017) e Brito Neves & Silva Filho (2019), sendo nossas referências bases para a leitura do ambiente discutido. Assim, com vistas a contribuir para a evolução do conhecimento geotectônico envolvido na formação do setor sul da PB, será realizada a caracterização de uma rocha anfíbolítica presente nesse complexo.

O objetivo do presente estudo consistiu em gerar dados para aprimoramentos em pesquisas que levantem a ambientação tectônica pela qual a complexo de Inhapi se consolidou, por meio do estudo das principais características de um anfíbolito, a partir da caracterização petrográfica, química mineral, geotermobarométricas e litogeoquímicas dessa rocha.

Estudar de modo detalhado e individual elementos dos cinturões orogenéticos que compõe a Gondwana Oeste, por exemplo, gera cada vez mais conhecimento sobre a sua

evolução e o seu modelo geodinâmico.

O volume deste TFG (Trabalho Final de Graduação) está estruturado da seguinte forma: No capítulo 1 é apresentada a área e objeto de estudo, a justificativa e a importância desta pesquisa; o capítulo 2 traz a base teórica acerca do objeto de estudo; e o capítulo 3 consiste em um artigo científico que será submetido a “Revista Geonordeste - Série Científica (ISSN: 2318-2695).

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

O termo anfibolito foi introduzido inicialmente pelo cientista francês Alexandre Brongniart, no ano de 1813. Apesar de Brongniart descrever anfibolito como uma rocha composta por anfibólio e plagioclásio, naqueles primeiros tempos o significado do termo era bastante variável (Coutinho *et al.*, 2007).

Posteriormente, esse mesmo termo foi proposto para todas as rochas metamorfizadas na fácies anfibolito por Eskola (1915) que, após comparar auréolas metamórficas de duas intrusões distintas da Finlândia e da Noruega, observou que diversas rochas apresentavam associações minerais típicas iguais em zonas metamórficas correlatas. Eskola atribuiu essas diferenças ao fato das rochas nas auréolas de contato em ambos os locais terem se cristalizado sob as condições de pressão e temperatura diferentes e descreveu os dois conjuntos de associações minerais como pertencentes a diferentes fácies metamórficas. A partir disso ele denominou as fácies segundo as paragêneses observadas nas rochas, tais como fácies albita epidoto *hornfels*, fácies hornblenda *hornfels*, fácies anfibolito.

Com o avançar do tempo, ficou amplamente aceito pela comunidade científica que o termo anfibolito é designado a uma rocha metamórfica composta sobretudo por plagioclásio e hornblenda. No entanto, diferentes concepções foram apresentadas em relação às proporções modais de hornblenda e plagioclásio e a presença ou não de outros minerais na rocha. De acordo com Matthes & Kramer (1955), o anfibolito é uma rocha constituída basicamente por anfibólios e plagioclásio com apenas traços de quartzo; Oen (1962) traz que o anfibolito deve conter pelo menos 70% de hornblenda. Já para Cannon (1963), a quantidade de hornblenda como mineral máfico dominante, normalmente ultrapassa 50% do conteúdo mineral total; quartzo e plagioclásio devem apresentar as mesmas proporções ou prevalecer o plagioclásio. Como supracitado, não existem grandes diferenças nos princípios utilizados por essas classificações.

O anfibolito estudado nesse trabalho foi classificado de acordo com as recentes recomendações da *Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks* (SCMR) da *International Union of Geological Sciences* (IUGS), que após extensa discussão e consideração aos resultados Fettes & Desmons (2011) a qual definiu o termo anfibolito da seguinte maneira: “Anfibolito é uma rocha metamórfica gnáissica ou granofélsica consistindo principalmente de anfibólio verde, marrom ou preto e plagioclásio (incluindo albita), que combinados constituem mais de 75% da rocha”. O anfibólio constitui mais de 50% dos constituintes máficos totais e está presente

em uma quantidade superior a 30%. Outros minerais comuns incluem quartzo, clinoproxênio, granada, minerais do grupo epidoto, biotita, titanita e escapolita. Os dados encontram-se sumarizados e compilados na publicação de Coutinho *et al.*, (2007), e mostram que a maioria dos anfibolitos contém > 50% de anfibólio, sendo o conteúdo de anfibólio e plagioclásio, juntos, variando entre 75% e 90%, e quartzo < 10% de.

O estudo de química mineral por meio de anfibolitos tem se mostrado eficaz na determinação de condições metamórficas, principalmente no que tange condições de temperatura e pressão, isso porque, a associação plagioclásio-hornblenda contém marcadores geotermométricos e geobarométricos em sua composição (Holland & Blundy, 1994; Leake *et al.*, 1997; 2004; Kocak *et al.*, 2007). O trabalho aqui desenvolvido foi realizado nesse sentido, buscando abordagens por meio de dados de química mineral e geoquímica oriundos de um afloramento de lente anfibolítica presente no Complexo Inhapi, Domínio Pernambuco-Alagoas, Província Borborema.

Como pontuado por Brito Neves & Silva Filho (2019), a colocação dessa faixa móvel supracrustal que representa o Complexo Inhapi no interior do Domínio Pernambuco Alagoas, suas relações com o Complexo Rio Una (imediatamente a norte) e os metassedimentos do Sergipano (a sul) continuam como problemas em aberto e carecem de melhor discriminação. Seguindo com esses autores, a posição dessas faixas/segmentos de faixas não tem ainda causas conhecidas (injunções tectônicas pré- amalgamento do superterreno? aloctonismo tardio?). Alguns trabalhos na região vêm seguindo uma linha desaconselhável de correlação a distância, sem os subsídios litoestratigráficos e cronológicos desejáveis, propondo divisões dentro do Complexo Inhapi e ocasionando problemas em aberto que se sobrepõem. Para Brito Neves & Silva Filho (2019), e na expectativa de novas contribuições, a mesma interpretação dada para o Complexo Rio Una pode ser auferida na análise do Inhapi em termos geocronológicos com idades que evidenciam contribuição de fontes neoproterozóicas. Silva Filho *et al.*, 2014 descreve que a Unidade 3 da sequência Rio Una e a complexo Inhapi têm idades máximas de deposição (648 ± 7 e 631 ± 7 Ma, respectivamente) comuns em outros domínios da Província Borborema (Ceará, Rio Grande do Norte, Zona Transversal, PEAL e Sergipano).

Essas questões motivaram os autores do presente trabalho a buscar correlações litológicas com os termos anfibolíticos do complexo Rio Una, em busca de corroborar, ou não, com as deduções feitas em Silva Filho *et al.*, (2014); Brito Neves e Silva Filho (2019), além de gerar dados inéditos de química mineral para a lente de anfibolito do Complexo Inhapi e contribuir para a evolução do conhecimento geotectônico envolvido na formação desse setor da Província Borborema.

CAPÍTULO 3
ARTIGO

Artigo científico a ser submetido a
Revista Geonordeste - Série Científica (ISSN: 2318-2695).

CARACTERIZAÇÃO DO ANFIBOLITO DO COMPLEXO INHAPI, PROVÍNCIA
BORBOREMA: PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL E GEOQUÍMICA.

CHARACTERISTICS OF THE AMPHIBOLITE FROM INHAPI COMPLEX,
BORBOREMA PROVINCE: PETROGRAPHY, MINERAL CHEMISTRY AND
GEOCHEMISTRY.

CARACTERIZACIÓN DEL ANFIBOLITO DEL COMPLEJO INHAPI, PROVINCIA DE
BORBOREMA: PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL Y GEOQUÍMICA.

Milena Ítala Batista dos Santos
Graduanda em Geologia - UFBA
E-mail: milenaitala1@gmail.com

Ramon Matos Arouca Júnior
Departamento de Geologia - UFBA
E-mail: ramon.geologia@gmail.com

Luan Cavalcante Dátoli
Departamento de Geologia - UFBA
E-mail: luangeologia@hotmail.com

Adejardo Francisco da Silva Filho
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
E-mail: afsf@ufpe.br

Resumo

O Complexo Inhapi consiste em uma sequência metavulcanossedimentar, aflorante em uma área de 3000 km², presente no Domínio Pernambuco-Alagoas, porção sul da Província Borborema. Lentes de anfibolitos encontram-se associados a este Complexo, encaixados e gnaissificados tectonicamente juntamente com corpos plutônicos graníticos. O presente trabalho visa compreender melhor alguns aspectos em relação a condições que atuaram durante o metamorfismo que originou tais rochas, por meio de um olhar comparativo e investigativo utilizando, entre outros, dados inéditos de química mineral. O anfibolito investigado apresenta microestrutura granoblástica decussada fina à média e nematoblástica, com paragênese estabelecida na fácies anfibolito, composta essencialmente por plagioclásio e hornblenda, além de quartzo, biotita, apatita, epidoto e opacos como minerais acessórios. Os plagioclásios presentes possuem teores %An₂₉₋₃₂, os anfibólios são cálcicos e classificados como magnésio-hornblenda. Estimativas geotermobarométricas indicaram pressão de metamorfismo do anfibolito variando de 5,41 a 6,02 Kbar, a uma temperatura entre 641,68° a 672,13°C. Os resultados discutidos apontam para um protólito ígneo, correspondente a um basalto com afinidade andesítica e assinatura sub-alcalina toleítica, associado a uma possível contaminação crustal. Dados químicos de rocha total e investigações comparativas demonstraram uma relação com rochas anfibolíticas posicionadas imediatamente ao norte do Complexo Inhapi sugerindo relação cogenética para esses termos litológicos.

Palavras Chave: Província Borborema; Domínio Pernambuco-Alagoas; Complexo Inhapi; Anfibolito.

Abstract

The Inhapi Complex consists of a metavolcanosedimentary sequence, outcropping over an area of 3000 km², present in the Pernambuco-Alagoas Domain, south portion of the Borborema Province. Amphibolite lenses are associated with this Complex, embedded and gnaissified tectonically together with granitic plutonic bodies. The present work aims to better understand some aspects in relation to conditions that acted during the metamorphism that originated such rocks, through a comparative and investigative look using, among others, unpublished data from mineral chemistry. The investigated amphibolite presents fine to medium granulated and nematoblastic microstructure, with paragenesis established in the amphibolite facies, composed essentially of plagioclase and hornblende, in addition to quartz, biotite, apatite, epidote and opaque as accessory minerals. The plagioclases present are % An₂₉₋₃₂, amphiboles are calcium and classified as magnesium-hornblende. Geothermobarometric estimates indicated amphibolite metamorphism pressure ranging from 5.41 to 6.02 Kbar, at a temperature between 641.68 ° to 672.13 ° C. The results discussed point to an igneous protolite, corresponding to a basalt with andesitic affinity and tholeitic sub-alkaline signature, associated with a possible crustal contamination. Chemical data of total rock and comparative investigations demonstrated a relationship with amphibolytic rocks positioned immediately to the north of the Inhapi Complex, suggesting a cogenetic relationship for these lithological terms.

Key words: Borborema Province; Pernambuco-Alagoas domain; Inhapi Complex; Amphibolite.

Currículum

El Complejo Inhapi consiste en una secuencia metavolcanosedimentaria, aflorando sobre un área de 3000 km², presente en el Dominio Pernambuco-Alagoas, porción sur de la Provincia de Borborema. Los lentes de anfibolita están asociados con este complejo, incrustados y gnaisificados tectónicamente junto con cuerpos plutónicos graníticos. El presente trabajo tiene como objetivo comprender mejor algunos aspectos en relación a las condiciones que actuaron durante el metamorfismo que originó dichas rocas, a través de una mirada comparativa e investigativa utilizando, entre otros, datos inéditos de la química mineral. La anfibolita investigada presenta microestructura nematoblástica y granulada fina a mediana, con paragénesis establecida en la facies de anfibolita, compuesta esencialmente por plagioclasa y hornblenda, además de cuarzo, biotita, apatita, epidota y opacos como minerales accesorios. Las plagioclasas presentes son % An₂₉₋₃₂, los anfíboles son calcio y se clasifican como magnesio-hornblenda. Las estimaciones geotermobarométricas indicaron una presión de metamorfismo de anfibolita que oscilaba entre 5,41 y 6,02 Kbar, a una temperatura entre 641,68 ° y 672,13 ° C. Los resultados discutidos apuntan a una protolita ígnea, correspondiente a un basalto con afinidad andesítica y firma subalcalina toleítica, asociada a una posible contaminación de la corteza. Los datos químicos de la roca total y las investigaciones comparativas demostraron una relación con las rocas anfibolíticas ubicadas inmediatamente al norte del Complejo Inhapi, lo que sugiere una relación cogenética para estos términos litológicos.

Palabras clave: provincia de Borborema; Dominio Pernambuco-Alagoas; Complejo Inhapi; Anfibolita.

3.1 INTRODUÇÃO

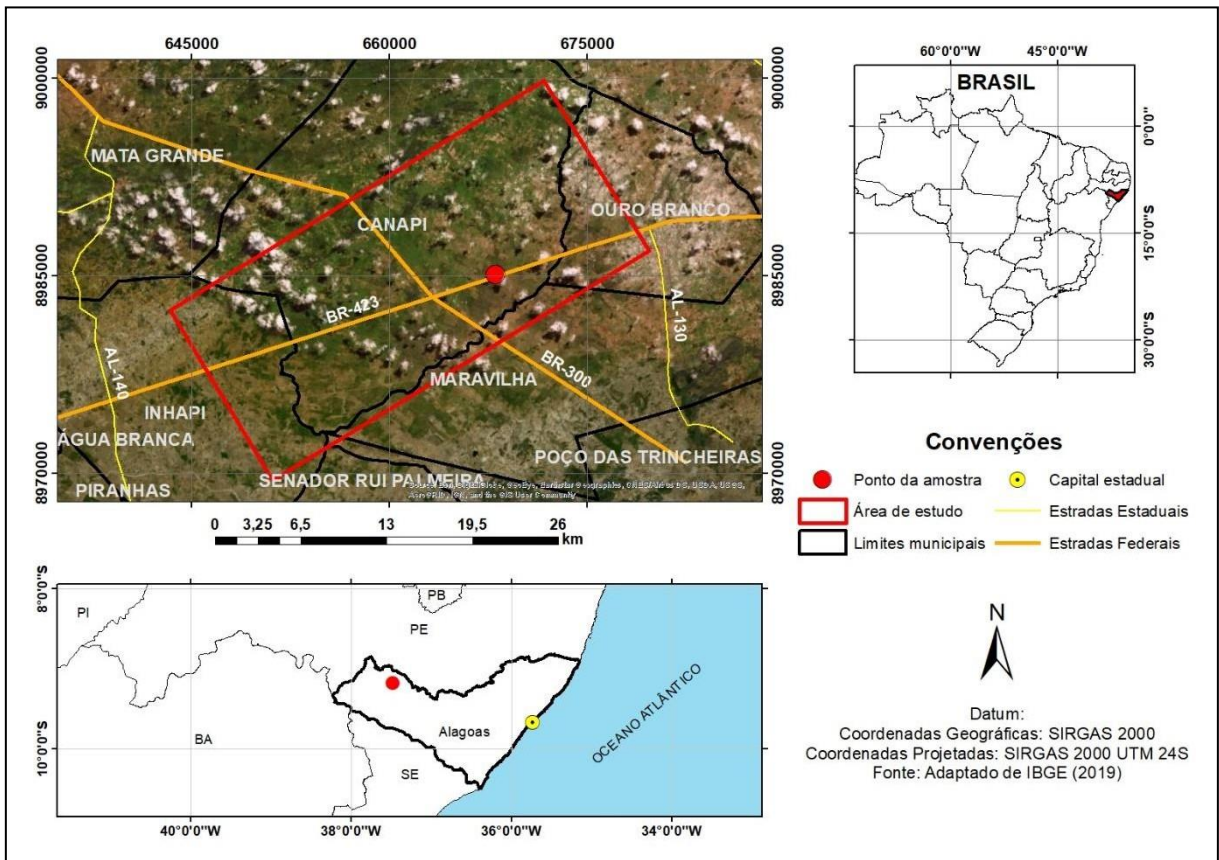
A primeira menção à existência de um domínio de rochas antigas, ao sul do Lineamento Pernambuco, competiu a Ebert (1962), que indicou como provável embasamento das rochas supracrustais situadas mais ao norte, em uma regionalização inicial da geotectônica da Província Borborema. O Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) inicialmente definido como “Batólito Pernambuco-Alagoas”, por Richter & Ponte (1964), foi o primeiro segmento tectônico reconhecido nesse lineamento, com exibição de rochas proterozoicas e arqueanas, e uma extensa área de aproximadamente 60.000 km².

Na porção centro-oeste do Domínio PEAL ocorrem as rochas metassedimentares do Complexo Inhapi, que representam peças importantes para o entendimento da evolução geológica regional. Esse complexo é formado por rochas metamorfasadas com história de evolução ainda não concluída.

De acordo Brito Neves & Silva Filho (2019), essa unidade tectônica vem sendo estudada há quase meio século, mas os mapeamentos geológicos na escala de semidetalhe começaram apenas neste século, o que ajudou a minimizar a falta de conhecimentos do contexto geológico e tectônico dessa área.

Ainda existem muitos problemas em aberto, nesse sentido, mediante a importância de se registrar cientificamente dados sobre o Domínio PEAL, o presente estudo teve como intuito realizar análises petrográficas, mineraloquímica, geotermobarométricas e litogeoquímicas, de uma rocha anfibolítica presente no Complexo Inhapi, a fim de contribuir para a evolução do conhecimento geotectônico envolvido na formação do setor sul da Província Borborema (PB). Esse trabalho representa um suplemento da dissertação de mestrado de Dátoli (2017), onde foi realizado um estudo no estado de Alagoas, entre os municípios de Ouro Branco, Maravilha, Canapi e Inhapi (Figura 3.1) de um corpo rochoso tonalítico, denominado Plúton Maravilha, que se encontra em contato tectônico com as rochas metassedimentares do Complexo Inhapi.

Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo. O polígono vermelho representa área de estudo de Dattóli, e o ponto vermelho representa a localização do corpo anfibolítico.



3.2 CENÁRIO GEOLÓGICO

A Província Borborema (PB) (Figura 3.2) encontra-se localizada no nordeste do Brasil, compreendendo uma área de aproximadamente 450.000 km², constitui um dos segmentos crustais presentes na Plataforma Sul-americana (Almeida *et al.*, 1976; Almeida *et al.*, 1981; Schobbenhaus & Brito Neves, 2003) que faz parte da margem ocidental do Supercontinente Gondwana (Brito Neves *et al.*, 2000; Van Schmus *et al.*, 2011). A sua primeira compartimentação foi proposta por Brito Neves (1975), seguido por outros autores que incluíram, via de regra, faixas, sistemas de dobramentos ou cinturões metamórficos, separados por maciços que abrigam nos seus interiores faixas de supracrustais. Atualmente, é amplamente aceito que a província consiste de um mosaico de faixas de dobramentos e domínios separados por grandes zonas de cisalhamentos brasileiras.

A PB compõe um complexo sistema orogênico que foi afetado fortemente por deformação, metamorfismo e intenso plutonismo granítico durante o evento Brasileiro-Pan Africano no final do Neoproterozoico (Almeida *et al.*, 1981). A sua origem é interpretada

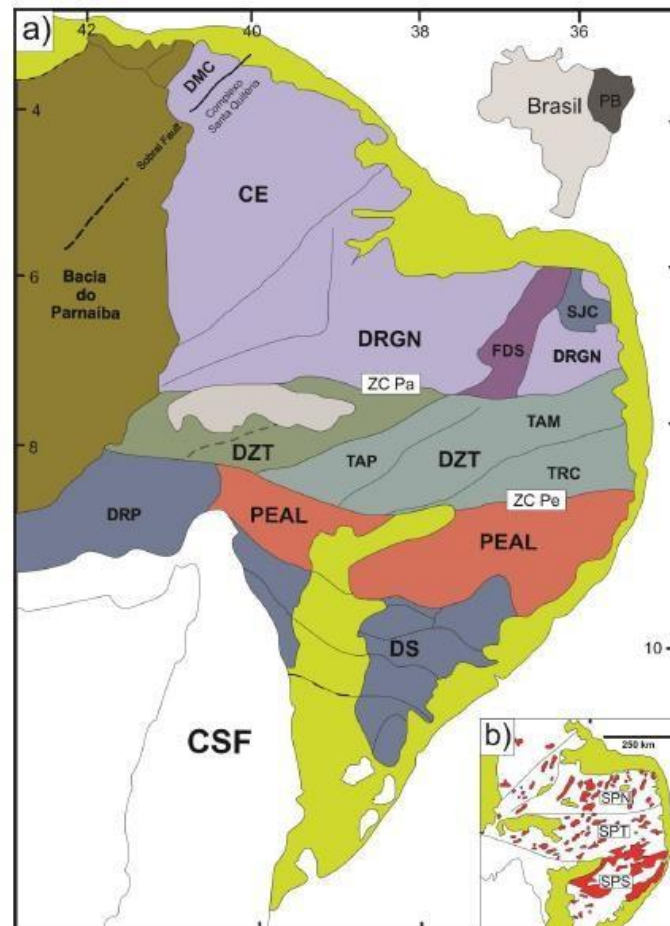
como resultado da convergência e colisão entre os Crátons da África Ocidental, Congo-São Francisco e Amazônia (Almeida *et al.*, 1981; Van Schmus *et al.*, 1995 e Silva Filho *et al.*, 2014). Esse complexo rochoso apresenta-se limitado a sul e sudoeste com o Cráton São Francisco, a oeste com a Bacia do Parnaíba e ao norte com o Cráton São Luiz (Almeida *et al.*, 1976; 1981; e Silva Filho *et al.*, 2016).

Segundo Silva Filho *et al.*, (2016), essa província corresponde a uma porção crustal caracterizada por profundas e extensas zonas de cisalhamentos, constituída por terrenos paleoproterozoicos gnáissicos-migmatíticos paleoproterozoicos, com pequenos núcleos arqueanos, rochas supracrustais meso e neoproterozoicas e intenso magmatismo granítico toniano e neoproterozoico.

Os compartimentos presentes nessa província são delimitados por extensas zonas de cisalhamento, que foram utilizadas por Van Schmus *et al.*, (2011) para subdividir a PB nas zonas tectônicas norte, transversal e sul, sendo ainda proposta uma subdivisão por Van Schmus *et al.*, (2008) em seis domínios internos: (i) Médio Coreau; (ii) Rio Grande do Norte/Ceará; (iii) Transversal; (iv) Riacho do Pontal; (v) Pernambuco-Alagoas, e (vi) Sergipano.

Atualmente, existem vários modelos propostos para a evolução geológica desta área, um primeiro grupo de hipóteses sugere o desenvolvimento de processos tectônicos de placas durante o Neoproterozoico, envolvendo importantes eventos de acreção e colisão de terrenos, similar àqueles observados na cordilheira Norte-Americana (Santos, 1996; Brito Neves *et al.*, 2000), e estágios principais de um ciclo de placas tectônicas (fissura crustal, abertura e fechamento dos oceanos, instalação de zonas de subducção e zonas continentais colisão) (Caxito *et al.*, 2016). Uma segunda hipótese sugere que a província envolve a reformulação de um único continente/bloco, que permaneceu relativamente estável desde aproximadamente 2,0 Ga, e foi então afetado pela instalação e posterior inversão de bacias, principalmente intracontinentais (Neves, 2018). A seguir será detalhado o contexto geológico do Domínio PEAL, no qual a área está inserida.

Figura 3.2: (a) Província Borborema e seus principais domínios: PB= Província Borborema; PEAL= Domínio Pernambuco-Alagoas; FDS = Faixa de Dobramentos Seridó; DRGN= Domínio Rio Grande do Norte; DZT= Domínio da Zona Transversal; CE= Domínio Ceará Central; CSF= Cráton São Francisco; DRP= Domínio Riacho do Pontal; DS= Domínio Sergipano; TAM=Terreno Alto Moxotó; TAP= Terreno Alto Pajeú; SJC= Núcleo Arqueano São José do Campestre; ZC Pa = Zona de Cisalhamento Patos; ZC Pe = Zona de Cisalhamento Pernambuco. (b) Distribuição dos granitoides neoproterozoicos. SPN = Sub-província Norte; SPT = Sub-província Transversal; SPS = Sub-província Sul.

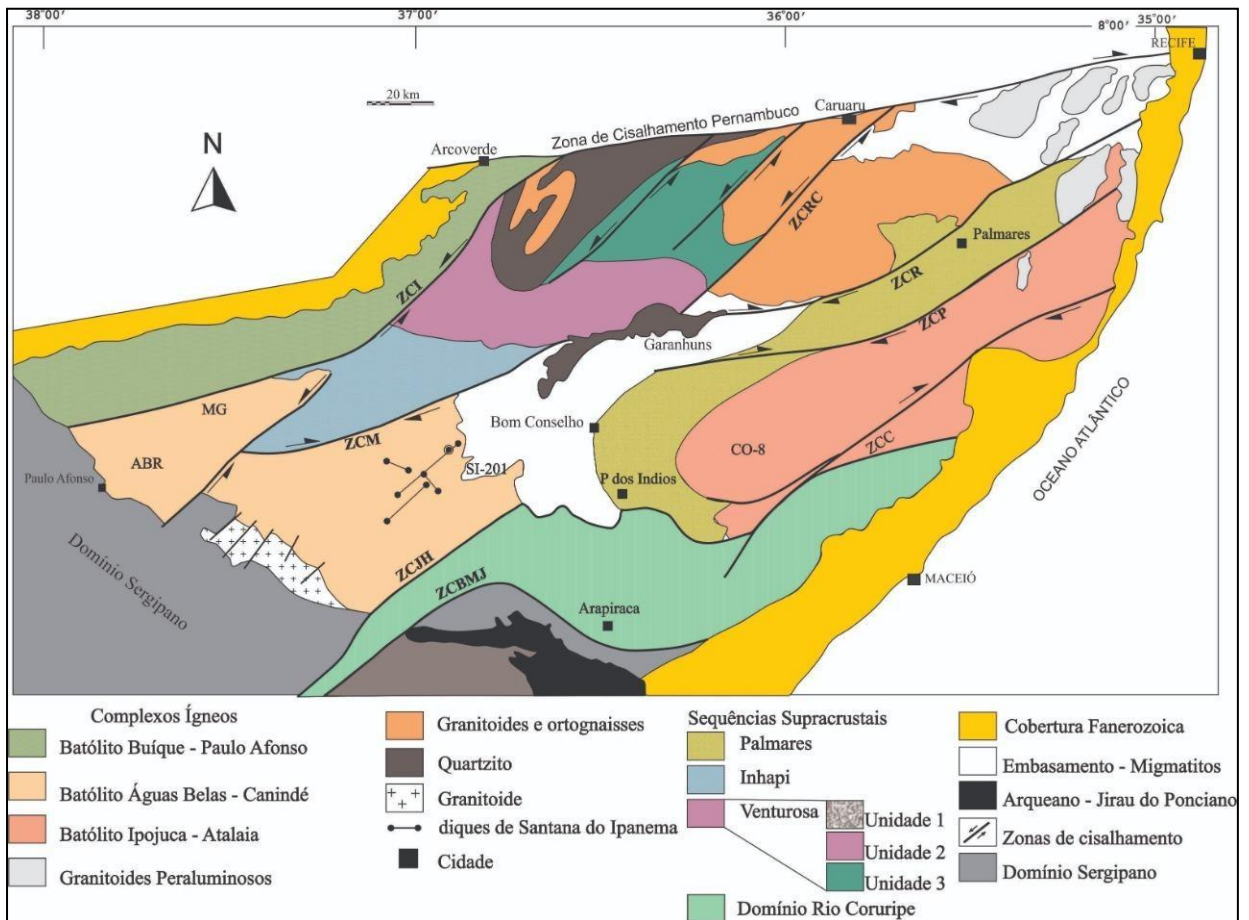


Fonte: Modificado de Van Schmus et al. (2008)

3.2.1 Domínio Pernambuco-Alagoas - PEAL

O Domínio PEAL é compreendido como um produto de complexa colagem de unidades de diversas idades (Van Schmus *et al.*, 1995; Silva Filho *et al.*, 2002), limitado ao norte pelo Domínio de zona Transversal Domínio, e ao sul pelo Domínio Sergipano; sendo sua parte oriental invadida por grandes batólitos graníticos. Possui uma área de aproximadamente 60.000 km², sendo subdividida em duas porções, leste (Figura 3.3) e oeste, pela Bacia de Jatobá; e norte da Bacia do Tucano. Sua porção leste representa cerca de 75% de seu domínio total.

Figura 3.3: Mapa do Domínio Pernambuco-Alagoas leste. ZCR-Zona de Cisalhamento Ribeirão; ZCRC-Zona de Cisalhamento Rio da Chata; ZCI-Zona de Cisalhamento Itaíba; ZCBMJ-Zona de Cisalhamento Belo Monte Jeremoabo; ZCL-Zona de Cisalhamento Limitão; ZCM-Zona de Cisalhamento Maravilha; ZCC-Zona de Cisalhamento Cajueiro.



Fonte: Modificado de Silva Filho et al. (2016).

Diferentes denominações surgiram conforme diferentes autores abordaram a geologia da área abrangida pelo PEAL, entre as principais estão: batólito (Richter & Ponte, 1964), maciço (Brito Neves, 1975), terreno (Santos, 1995), complexo (Silva Filho *et al.*, 2002), superterreno (Brito Neves & Silva Filho, 2019), e o termo aqui utilizado, domínio (Van Schmus *et al.*, 2008).

Os primeiros trabalhos de reconhecimento geológico regional na região, foram realizados por Santos (1995) e Medeiros e Santos (1998), os quais reconheceram duas unidades principais no domínio PEAL: (i) O Complexo Belém do São Francisco, composto basicamente por ortognaisses graníticos a tonalíticos-granodioríticos migmatizados; e (ii) o Complexo Cabrobó, uma unidade metavulcanossedimentar, metamorfizada na fácies anfíbolito, composta por xistos, gnaisses, localmente migmatizados, metagrauvascas, mármore, quartzitos, calcissilicáticas e anfíbolitos.

Com base em trabalhos de campo e petrografia, o Complexo Cabrobó foi dividido por

Silva Filho *et al.*, (2014) em três complexos: (i) Rio Una ou Venturosa, (ii) Palmares e (iii) Inhapi. Dados de U-Pb em zircão indicam que a idade máxima deposição dessas rochas é 854 Ma, caracterizando um evento extensional Criogeniano, antes do estabelecimento do evento Brasileiro (Cruz *et al.*, 2014).

O Complexo Rio Una foi dividido em três unidades distintas denominadas 1, 2 e 3. A Unidade 1 é representada por metapelitos peraluminosos, com algumas intercalações de quartzitos. A Unidade 2 é composta por metagrauvas (em parte migmatizadas), biotita gnaisses, intercalações de quartzitos, calcio-silicáticas, metagabros e metapiroxenitos. A Unidade 3 apresenta gnaisses bandados com biotita e granada, intercalações de calcio - silicáticas e piroxenitos (Osako, 2005). O Complexo Palmares é formado por rochas metassedimentares compostas por granada-silimanita-biotita gnaisse e metagrauvas, quartzitos intercalados com arcósio e anfíbolitos intrudidos por granodioritos tectônicos tardios de duas micas, anfíbolio gnaisse granodiorito e gabros (Silva Filho *et al.*, 2014); e o Complexo Inhapi é constituída por rochas supracrustais brasileiras de origem sedimentar e vulcano-sedimentar, ocasionalmente migmatizadas e gnaissificadas, com intrusões de rochas ígneas tonianas (Silva Filho *et al.*, 2014; Dattoli, 2017), sendo neste complexo inserido o objeto de estudo do trabalho, o qual será mais detalhado a seguir.

3.2.2 Complexo Inhapi

O Complexo Inhapi (Silva Filho *et al.* 2014) (Figura 3.4) está localizado na porção centro-oeste do PEAL leste, abrangendo uma área de aproximadamente 3.000 km². É limitado bruscamente ao sul pelo batólito Águas Belas-Canindé (Silva Filho *et al.*, 2002) e por uma zona de cisalhamento de baixo ângulo NE – SW e ao norte pelo batólito Buique-Paulo Afonso.

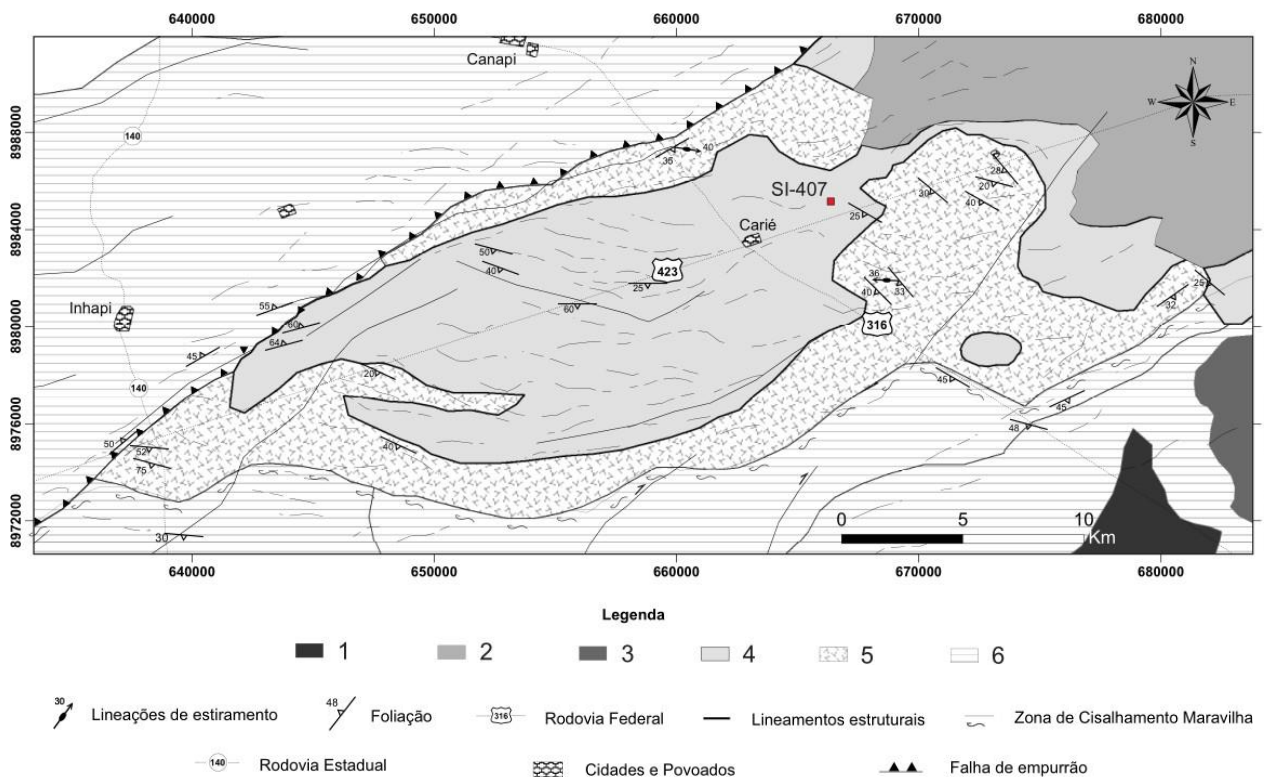
Segundo Silva Filho *et al.*, (2014), o Complexo Inhapi apresenta-se como uma sequência metavulcanossedimentar, com idade máxima de deposição de 631 ± 7 Ma de acordo com o método U/PB, sugerindo deposição durante o evento colisional brasileiro. Possui magmatismo máfico pré- a sin-colisional (gabros e corpos anfíbolíticos), sin-colisional intermediário ao magmatismo félsico (pegmatítico e tonalíticoortognaisses), e tarde para corpos pós-colisionais de sienogranitos do tipo S com granadas intrudidos em uma sequência metassedimentar com foliação horizontal.

Esse complexo pode ser subdividido em duas unidades: (I): Sillimanite–gnaisses granada-muscovita-biotita que são localmente migmatizado e possui pequenos mármores e lentes de anfíbolito; (II): Gnaisses biotita-muscovita-granada, também migmatizados

localmente possuindo lentes de anfibolito, calcio-silicática e gabros (Silva Filho *et al.*, 2014).

O afloramento rochoso em estudo por esse trabalho encontra-se tectonicamente encaixado nesse complexo (Figura 3.4), apresenta-se em forma de lajedado, e ocorre como anfibolito gnaissificado, marcado por bandas melanocráticas espessos métricos, com mineralogia predominante composta por anfibólio+plagioclásio, e algum quartzo, e bandas leucocráticas quartzo-feldspáticos centimétricos (amostra SI-407) (Figura 3.5). Estruturalmente a rocha apresenta-se suavemente dobrada, com plano axial NNE-SSW, além de apresentar dobras intrafoliais internas a foliação principal Sn N298°/20NE (Dáttooli, 2017).

Figura 3.4: Mapa geológico simplificado da área de estudo. 1 – Granitoides Indiscriminados; 2 – Plúton Ouro Branco: monzogranitos a granodiorito a duas micas; 3 – Plúton Serra da Caiçara: quartzo monzonito a quartzo álcali-feldspato; 4 –Complexo Inhapi: granada-biotita-muscovita-gnaisses, por vezes migmatizados, anfibolitos, quartzitos, cálcissilicáticas e sillimanita-granada-biotita-muscovita-gnaisses; 5 – Plúton Maravilha; 6 – Suíte Àguas Belas-Canindé: diatexitos metaluminosos, álcali-feldspato granitos a granodioritos. O ponto vermelho representa a localização da amostra da rocha anfibolítica (SI-407).



Fonte: Modificado de Dáttooli (2017)

Figura 3.5: Amostra do anfibolito do Complexo Inhapi (SI-407).



3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

A amostra denominada SI-407 coletada em fase de campo foi dividida em duas partes, uma levada ao Laboratório de Preparação de Amostra do Departamento de Geologia da UFPE, onde passou por processos de britagem, quarteamento e pulverização para determinação e análise química de rocha total. Logo após, foi submetida a análises por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry*), para elementos maiores, assim como ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), para elementos menores e traços realizadas pelo laboratório *AcmeLabsTM*, em Vancouver, Canadá. O tratamento dos resultados obtidos foi realizado pelos softwares, *GCDkit 3.0* e *Microsoft® Office Excel 2013*, além do *CorelDRAW X8* para edição das imagens.

Com a outra parte da amostra (SI-407) foi confeccionada uma lâmina delgada no Laboratório de Petrologia do Departamento de Geologia da UFPE visando a caracterização petrográfica e a seleção das fases minerais para posterior análise química. As descrições e fotografias foram realizadas no Laboratório de Mineralogia Ótica e Petrografia do Instituto de Geociências da UFBA utilizando-se de um microscópio óptico de luz transmitida. Para uma melhor caracterização da mineralogia observada na petrografia, determinação da composição química e aferições sobre condições geotermobarométricas atribuídas a rocha, foi realizada a análise de química mineral na associação mineralógica principal (anfíbólio-plagioclásio). Nessa etapa, a seção delgada polida foi metalizada com carbono em câmara de vácuo, para análise no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UNB). As análises químicas desses minerais foram determinadas usando a microsonda eletrônica *JEOL JXA-8230* com cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS). O tratamento dos resultados foi obtido por cálculos e fórmulas matemáticas convertidos internacionalmente em formato de tabela/planilha *Microsoft® Office Excel 2013*, bibliograficamente referenciadas nos capítulos seguintes.

3.4 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

O anfíbolito do Complexo Inhapi, representado pela amostra SI-407, é composto essencialmente por hornblenda (65%) e plagioclásio (25%), com quartzo (4%), biotita (3%), apatita (1%), epídoto (1%) e opacos (1%) como minerais acessórios, distribuídos numa textura nematoblástica e granoblástica decussada fina à média (Figura 3.6A).

O anfibólio representa o principal constituinte desta rocha e ocorre na forma idioblástica a subidioblástica, com dimensão variando entre 0,1 a 1,5 mm e pleocroísmo marrom claro a verde escuro. Exibe contato poligonal a interlobado entre grãos da mesma espécie e entre associações minerais hornblenda-plagioclásio, hornblenda-biotita (Figura 3.6A). Por vezes, é possível observar inclusões de apatita e plagioclásio, e de forma restrita, epídoto truncando o anfibólio. (Figura 3.6A e B). A composição dos anfibólios analisados pela química mineral, concentram-se em sua totalidade, dentro do campo dos anfibólios cálcicos classificados como magnésio-hornblenda (Figura 3.7; Tabela 1). Eles são caracterizados por composição de Si (6,62-6,76 *a.p.f.u*), relação Mg/(Mg + Fe²) (0,65-0,69), Al^{iv} (1,24-1,38 *a.p.f.u*) e Al^{vi} (0,42-0,56 *a.p.f.u*) sem valores significativos de F e Cl.

O plagioclásio ocorre de forma subidioblástica e xenoblástica, com dimensões que variam de 0,1 a 1,5 mm. Os contatos com grãos da mesma espécie e entre a associação plagioclásio-hornblenda apresenta-se de forma poligonal a interlobado. O plagioclásio ocorre nos interstícios à hornblenda, sendo possível observar maclas polissintéticas quando nessa configuração. Este mineral possui geminação albita com teor de anortita em torno de 29-32%, classificado como andesina, de acordo com o Método de Michel-Lévy e por vezes, ocorre parcialmente alterado devido à processos de saussuritização (Figura 3.6C e D). O plagioclásio tem composição Or_{0,7-2,1}Ab_{67,4-70,0}An_{29,8-31,5}, variando entre oligoclásio e andesina, ratificando assim a sua classificação petrográfica (Figura 3.8; Tabela 2). Em lâmina, não foram vistos feldspatos alcalinos, mas a química mineral apontou a sua existência, com uma composição média de Or_{97,0}An_{0,1}Ab_{2,8}.

A biotita apresenta forma idioblástica a subidioblástica, com dimensões que variam de 0,1 a 1 mm, exibindo forte pleocroísmo verde a marrom. Exibe contato serrilhado com a hornblenda, onde ocorre como produto de alteração deste (Figura 3.6E e F). O quartzo ocorre subidioblástico a xenoblástico, com granulometria variando entre 0,1 e 0,5 mm. Apresenta contato interlobado e/ou ocorre comumente disseminado entre hornblenda e plagioclásio. Apatita, epídoto e opacos ocorrem como formas acessórios inclusos nas associações minerais hornblenda-plagioclásio, hornblenda-biotita. Apatita em forma de cristais prismáticos curtos,

com pontas agudas, por vezes hexagonais quando em sua secção basal, formas idioblásticas, e dimensões variando entre 0,05 e 0,1 mm. Epídoto ocorre como veio truncando a hornblenda, com tamanhos entre 0,02 a 0,1 mm.

Figura 3.6: Aspectos petrográficos do anfibolito do Complexo Inhapi: A) Assembléia mineral principal orientados em textura granoblástica. Notar apatita hexagonal (seção basal) incluída na hornblenda; B) Veio de epídoto truncando a hornblenda. C) Geminação albita do plagioclásio; D) Plagioclásio parcialmente alterado devido à saussuritização; E e F) Biotita exibindo contato serrilhado entre hornblenda mostrando aspectos de substituição mineral. As fotomicrografias: A e E estão sob luz planopolarizada; B, C, D e F sob nicóis cruzados. Hbl-Hornblenda, Pl-Plagioclásio, Ep-Epídoto, Ap-Apatita, Qtz-Quartzo, Bt-Biotita

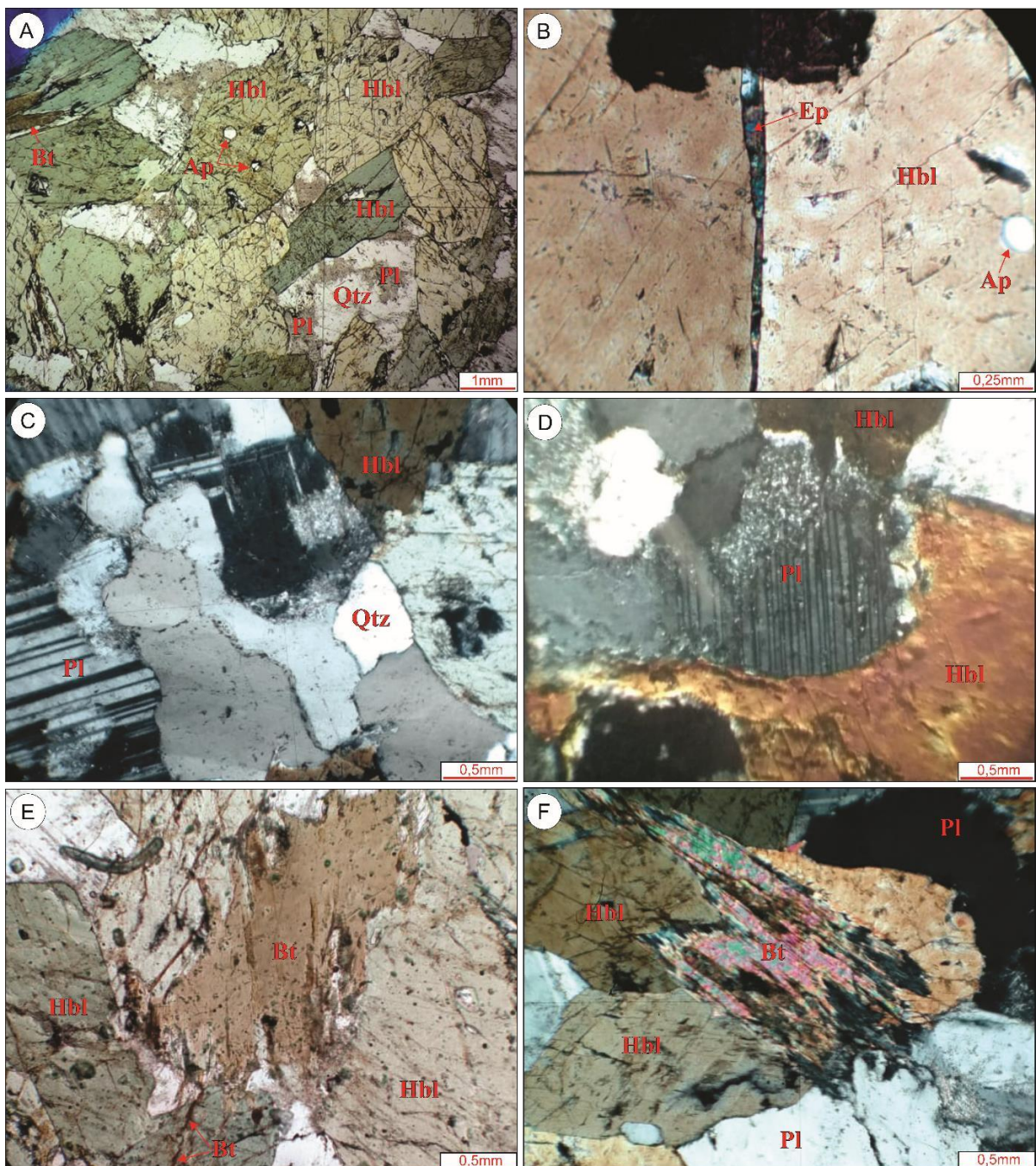


Tabela 1: Análises representativas de química mineral nos anfibólios presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi. Cálculos de temperatura mínima de cristalização em Holland & Blundy (1994) e pressão (Schmidt, 1992; Anderson & Smith, 1995; Anderson, 1996).

SI-407 Análises	Campo 1 amph 1	Campo 1 amph 2	Campo 1 amph 3	Campo 2 amph 1	Campo 2 amph 2	Campo 2 amph 3	Campo 3 amph 1	Campo 3 amph 2
SiO ₂	45,30	45,60	44,90	45,84	45,47	45,74	45,30	45,15
TiO ₂	1,16	1,27	0,83	0,96	1,22	0,60	1,07	1,24
Al ₂ O ₃	10,34	9,86	10,55	10,50	10,34	10,33	10,95	10,60
Cr ₂ O ₃	0,30	0,29	0,22	0,21	0,10	0,08	0,19	0,06
Fe ₂ O ₃	3,35	1,03	3,57	2,97	2,85	1,42	2,63	2,87
FeO	10,31	11,87	10,12	10,59	10,48	11,88	11,65	11,31
MnO	0,26	0,38	0,33	0,27	0,35	0,23	0,25	0,21
MgO	12,35	12,30	12,45	12,42	12,81	12,29	11,99	12,02
NiO	0,08	0,06	0,03	0,03	0,12	0,00	0,01	0,03
CaO	11,62	11,94	11,81	11,77	12,27	11,98	11,82	11,76
Na ₂ O	1,25	1,18	1,25	1,14	1,11	1,30	1,38	1,16
K ₂ O	1,06	1,04	1,19	1,13	1,06	1,08	1,28	1,20
BaO	0,00	0,06	0,00	0,11	0,01	0,04	0,00	0,00
SrO	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07
F	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,01	0,00
Cl	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01
H ₂ O*	2,04	2,02	2,03	2,04	2,05	2,00	2,03	2,03
Total	99,52	99,00	99,29	99,99	100,25	99,00	100,60	99,70
Número de cátions por 23 oxigênios								
Si	6,66	6,75	6,62	6,70	6,64	6,76	6,62	6,64
Al ^{iv}	1,34	1,25	1,38	1,30	1,36	1,24	1,38	1,36
T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{vi}	0,45	0,47	0,46	0,51	0,42	0,56	0,50	0,48
Ti	0,13	0,14	0,09	0,11	0,13	0,07	0,12	0,14
Cr	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
Fe ³⁺	0,37	0,11	0,40	0,33	0,31	0,16	0,29	0,32
Fe ²⁺	1,27	1,47	1,25	1,29	1,28	1,47	1,42	1,39
Mn	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
Mg	2,71	2,71	2,74	2,70	2,79	2,71	2,61	2,64
Ni	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Ca	1,83	1,89	1,87	1,84	1,92	1,90	1,85	1,85
Na	0,36	0,34	0,36	0,32	0,32	0,37	0,39	0,33
B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,07	0,12	0,11	0,09	0,23	0,09	0,08	0,07
K	0,20	0,20	0,22	0,21	0,20	0,20	0,24	0,22
A	0,26	0,31	0,31	0,28	0,42	0,28	0,28	0,26
F	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00
Cl	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
OH*	2,00	1,99	2,00	1,99	2,00	1,97	1,98	2,00
(Ca+Na) (B)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na (B)	0,16	0,10	0,13	0,16	0,08	0,10	0,15	0,14
(Na+K) (A)	0,39	0,44	0,45	0,38	0,43	0,47	0,48	0,42
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0,68	0,65	0,69	0,68	0,69	0,65	0,65	0,65
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Alvi)	0,45	0,20	0,46	0,39	0,43	0,22	0,36	0,40
T [°C]	672,13	649,71	668,65	657,51	666,56	641,68	669,71	669,35
P (kbars)	5,56	5,41	5,79	5,77	5,53	5,84	6,02	5,79
P (GPa)	0,56	0,54	0,58	0,58	0,55	0,58	0,60	0,58

Tabela 2: Análises representativas de química mineral nos feldspatos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi.

SI-407 Análises	Campo 1 kfs1	Campo 1 pl1	Campo 2 pl1	Campo 2 pl2	Campo 3 pl1	Campo 3 pl2
SiO ₂	65,60	60,95	60,58	60,60	61,41	60,88
TiO ₂	0,07	0,00	0,00	0,00	0,23	0,17
Al ₂ O ₃	18,32	24,54	24,57	24,87	25,00	24,69
FeO	0,15	0,02	0,07	0,01	0,08	0,12
MnO	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,01
MgO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	6,15	6,36	6,54	6,09	6,23
Na ₂ O	0,31	7,77	7,69	7,74	8,07	7,80
K ₂ O	16,49	0,36	0,20	0,21	0,12	0,16
BaO	0,07	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02
Cr ₂ O ₃	0,07	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02
V ₂ O ₃	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
SrO	0,10	0,13	0,16	0,14	0,11	0,11
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Total	101,23	99,95	99,62	100,15	101,17	100,18
Número de cátions por 8 oxigênios						
Si	3,00	2,72	2,71	2,70	2,70	2,71
Al	0,99	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
ΣT	4,00	4,01	4,01	4,00	4,01	4,01
Fe ²⁺	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,29	0,30	0,31	0,29	0,30
Na	0,03	0,67	0,67	0,67	0,69	0,67
K	0,96	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
ΣA	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99
% An	0,11	29,77	30,99	31,46	29,21	30,35
% Ab	2,80	68,12	67,86	67,36	70,04	68,71
% Or	96,97	2,06	1,14	1,18	0,69	0,91

Figura 3.7: Composição química dos anfibólios cálcicos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi. (Leake *et al.*, 1997).

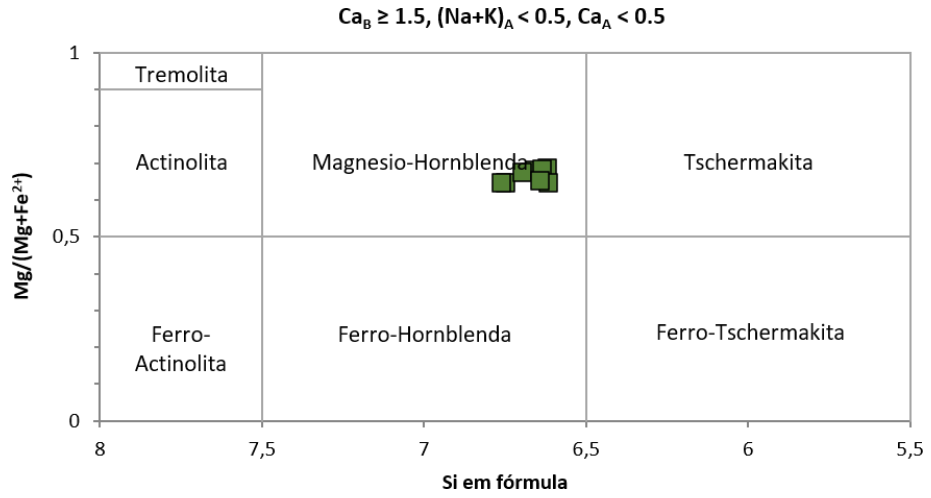
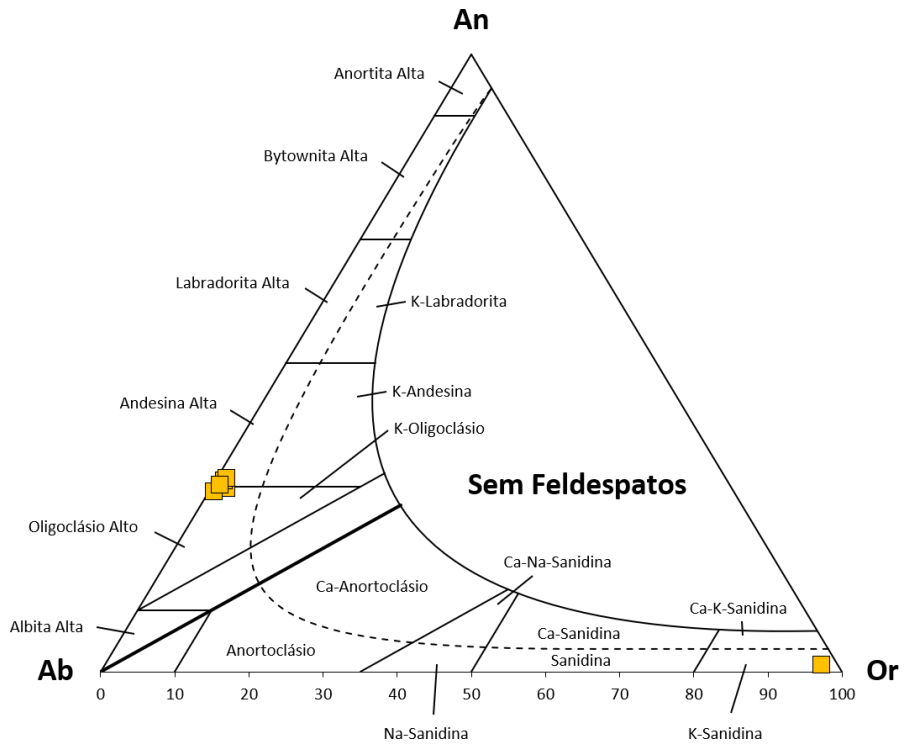


Figura 3.8: Diagrama Ternário Ab-An-Or (albita-anortita-ortoclásio) para composição dos feldspatos presentes na amostra SI-407, Complexo Inhapi (Deer *et al.*, 1992).



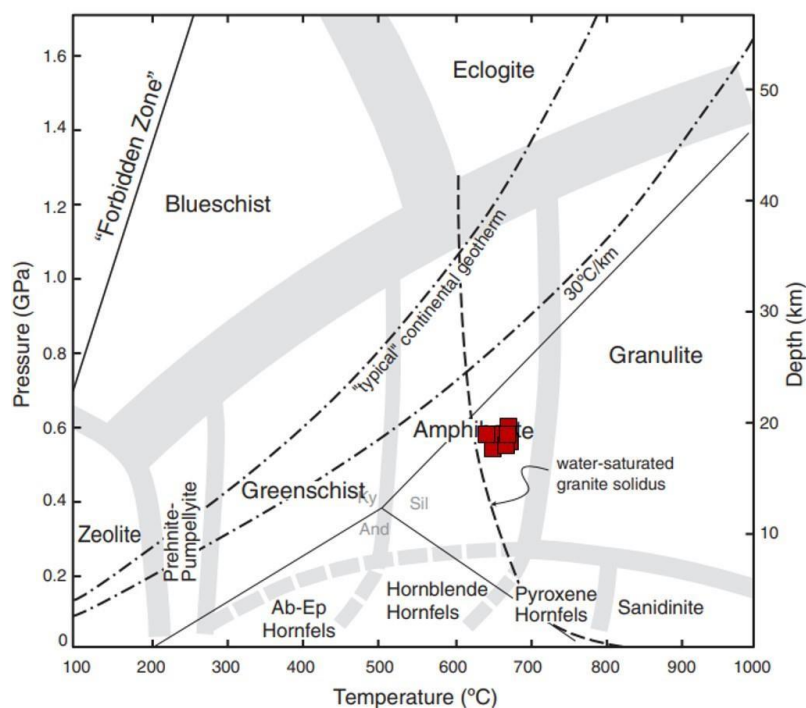
3.5 GEOTERMOBAROMETRIA

A associação mineral encontrada no anfibolito do Complexo Inhapi, possibilitou a aplicação do geobarômetro de Al em hornblenda (Schmidt, 1992; Anderson & Smith, 1995; Anderson, 1996), a partir da composição de bordas de anfíbólios em contato com plagioclásios. Os valores preferenciais encontrados a partir das equações de Anderson (1996) exibem uma pressão de cristalização média de 5,71 Kbar, variando entre 5,41 a 6,02 Kbar (Tabela 1).

O geotermômetro hornblenda-plagioclásio permite utilizar a composição química de plagioclásio e hornblenda que estão em contato uns com os outros oferecendo uma abordagem independente para avaliar a temperatura magmática de metamorfismo (Holland & Blundy, 1994). A temperatura de cristalização dos anfíbólios foi determinada por cálculos proposto por Blundy & Holland (1990) e Holland & Blundy (1994), indicando temperaturas entre 641,68° e 672,13°C (Tabela 1).

A partir do gráfico de P-T apresentado na figura 3.9, observou-se que essas rochas foram submetidas a profundidades de 15 a 20 km. Nesse mesmo diagrama as análises projetam-se no campo da fácies metamórfica anfibolito, coincidindo também no campo de estabilidade metamórfica da sillimanita (Figura 3.9).

Figura 3.9: Diagrama P-T mostrando a distribuição geral das principais fácies metamórficas. Quadrados em vermelho representam as análises utilizadas. (Winter, 2014).



3.6 GEOQUÍMICA

Apesar das determinações analíticas deste estudo limitarem-se a apenas uma amostra (SI-407; Tabela 3) e aparentar insuficiência em número, ela corresponde a um exemplar representativo do anfibolito do Complexo Inhapi, sendo os dados obtidos consistentes e coerentes entre si. Pretende-se, portanto, a partir da descrição sobre o comportamento dos conteúdos em elementos maiores dessa rocha, trazer deduções acerca de seu protólito, bem como associa-las aos metabasitos do Complexo Rio Una, a fim de aferir sobre os resultados desta comparação investigativa. Esta comparação, fundamenta-se na relação entre três amostras de anfibolito representativas: (i) uma do Complexo Inhapi (SI-407); (ii) duas metabasitos bandados (log-43 e log-56) oriundas da Unidade 3 do Complexo Rio Una (Osako, 2005) (Tabela 3).

O diagrama de Ni vs TiO₂ (Figura 3.10), é frequentemente empregado para a caracterização entre anfibolitos orto e paraderivados a partir de rochas vulcânicas. A disposição desses elementos no diagrama apresentado indica origem ígnea para o anfibolito do Complexo Inhapi, tendo o mesmo resultado para os metabasitos do Complexo Rio Una.

O anfibolito do Complexo Inhapi apresenta caráter sub-alcálico com saturação em sílica e assinatura toleítica exibidas nos diagramas Na₂O+K₂O vs SiO₂ (Irvine & Baragar, 1971) (Figura 3.11A) e V vs Co vs Ni de Ishikawa (1968) (Figura 3.11B), assim como os metabasitos bandados que também se caracterizam por sua afinidade sub-alcálica toleítica (Osako, 2005). No entanto, esses resultados devem ser tratados com cautela, por causa da possibilidade de mobilidade elementar durante o metamorfismo. Uma abordagem melhor é examinar o conteúdo de HFSE (*high-field-strength elements*) que em muitos casos, são relativamente imóveis durante a alteração e metamorfismo. Para isso, diagramas de discriminação com base no HFSE foram utilizados para avaliar a afinidade magmática do protólito para os anfibolitos. Segundo o diagrama de classificação Zr/TiO₂ vs Nb/Y de Winchester e Floyd (1977) (Figura 3.12A), a composição do protólito do anfibolito e dos metabasitos correspondem ao basáltico, com tendências andesíticas, plotando no campo de transição andesito/basalto. Além disso, as amostras projetam-se no campo dos basaltos continentais, quando no diagrama discriminante K₂O vs TiO₂ vs P₂O₅ de Pearce *et al.*, (1975) (Figura 3.12B).

De acordo com os diagramas de Pearce & Cann (1973) (Figura 3.13 A e B), utilizado para distinguir basaltos gerados em ambiente de arco de ilhas, de *back-arc*, de cadeia meso-oceânica e de interior de placas, tanto o anfibolito quanto os metabasitos tendem a ocupar o campo dos toleitos de arco de ilhas, basaltos calcio-alcálicos e basaltos de cadeias meso-oceânicas.

A disposição dos elementos traços quando normalizados ao manto primitivo podem ser observadas no diagrama de Sun & McDonough (1989) (figura 3.14A), onde os LILE (*large ion litophile elements*) como Cs, Rb e Ba, aparecem dispersos e com leve enriquecimento confirmando processos de alterações metamórficas, enquanto que, alguns terras raras e HFSE (*high field strenght elements*) a exemplo de Zr, Sm, Eu, Ti, Dy, Y, Yb e Lu ocorrem mais consistentes possivelmente refletindo composições pre-metamórficas. O anfibolito é caracterizado por anomalias negativas de Th, Nb, Ce, Pr e P e anomalias positivas de U, K, Pb e Nd. Esses dados sugerem forte semelhança quando comparado aos metabasitos do Complexo Rio Una, exibindo anomalias positivas de Sr e negativas de Nb.

O diagrama distribuição dos elementos terras raras normalizados em relação ao condrito por Boynton (1984) (Figura 3.14B) exibe, para o anfibolito investigado um ligeiro enriquecimento dos Elementos Terras Raras Leves (ETRL) (La, Ce, Pr e Nd), leve empobrecimento dos Elementos Terras Raras Pesados (ETRP) (Yb e Lu). Já para os metabasitos do Complexo Rio Una, os padrões de distribuição fracionados exibem significativo enriquecimento de ETRL, e um leve empobrecimento em ETRP. Uma leve anomalia positiva do Eu presente no anfibolito, em contraste com leves anomalias negativas do Eu nos metabasitos.

De acordo com a razão $(La/Yb)_n$ o anfibolito é a amostra menos fracionada apresentando valor de 1,80, a $\log 56$ apresenta um valor um pouco maior de 2,31, e a $\log 43$ é a mais fracionada com valor de 7,65.

O diagrama Miyashiro (1975), para discriminação de rochas que sofreram modificações químicas por processos pós-magmáticos, mostra que o anfibolitos do complexo Inhapi e os metabasitos do complexo Rio Una se encontram inalterados.

Tabela 3: Dados geoquímicos dos anfíbolitos do Complexo Inhapi (SI407) e Complexo Una (log43 e log56).

Elementos	Complexo Inhapi		Complexo Una	
	SI407	log43	log56	
SiO ₂	55,47	44,1	46,5	
Al ₂ O ₃	12,8	13,3	12,1	
Fe ₂ O ₃	9,74	13,3	8,98	
MgO	7,48	9,6	9,5	
CaO	8,41	13,6	16,5	
Na ₂ O	2,71	1,7	0,8	
K ₂ O	1,18	1,34	1,2	
TiO ₂	0,64	0,5	0,86	
P ₂ O ₅	0,05	0,21	0,11	
MnO	0,16	0,23	0,16	
Cr ₂ O ₃	0,108	-	-	
LOI	1	-	-	
Total	99,76	97,61	96,71	
Ni	27,4	29	44	
Co	37,7	54	37	
Cr	-	271	208	
Mb	0,4	0,4	0,6	
Sc	27	-	-	
Cu	25,6	29	48,1	
Ga	13,6	15,2	15,2	
W	2,8	2,1	3,6	
Pb	2,1	6,1	5,6	
Zn	7	46	23	
Cs	1	1,9	1,2	
Rb	29,6	45,2	53	
Sn	<1	1	2	
Sr	321,5	321	268	
Ba	232	166	384	
Zr	58,4	41,2	88	
Hf	1,6	1,3	3	
Nb	4,2	2,1	7,8	
Ta	0,2	0,1	0,7	
Th	0,3	1,9	2,8	
U	0,3	0,8	1,4	
V	187	351	170	
Y	14,4	16,1	25,3	
La	4,4	16,2	9,2	
Ce	9	41	20,4	
Pr	1,24	5,73	2,72	
Nd	5,6	26,5	12,5	
Sm	1,61	6	3,4	
Eu	0,64	1,54	0,96	
Gd	2,19	4,27	3,65	
Tb	0,4	0,6	0,76	
Dy	2,48	2,94	4,09	
Hb	0,59	0,52	0,85	
Er	1,63	1,48	2,67	
Im	0,26	0,21	0,33	
Yb	1,66	1,44	2,7	
Lu	0,26	0,21	0,35	

Figura 3.10: Diagrama discriminante de protólito a partir de rochas vulcânicas proposto por Winchester *et al.*, 1980: a) Ni vs TiO₂. Simbologia: (i) círculo vermelho corresponde ao anfibólito do Complexo Inhapi (SI-407); (ii) triângulo azul, metabasito bandado do Complexo Rio Una (log-43); (iii) quadrado azul, metabasito foliado do Complexo Rio Una (log-56).

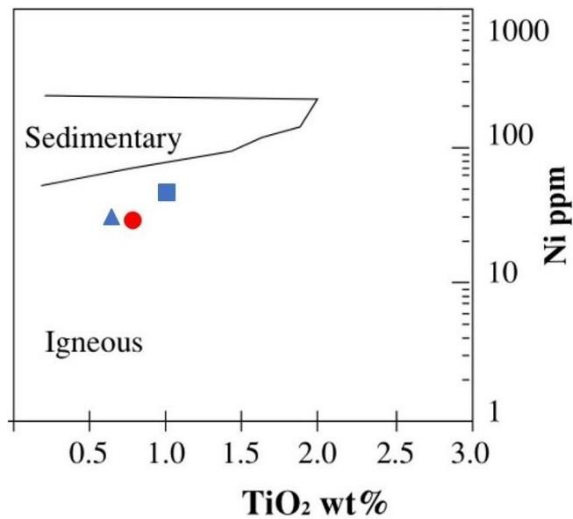


Figura 3.11: A) Diagrama Na₂O+K₂O vs SiO₂ (Irvine & Baragar, 1971) B) Diagrama V vs Co vs Ni (Ishikawa, 1968). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior.

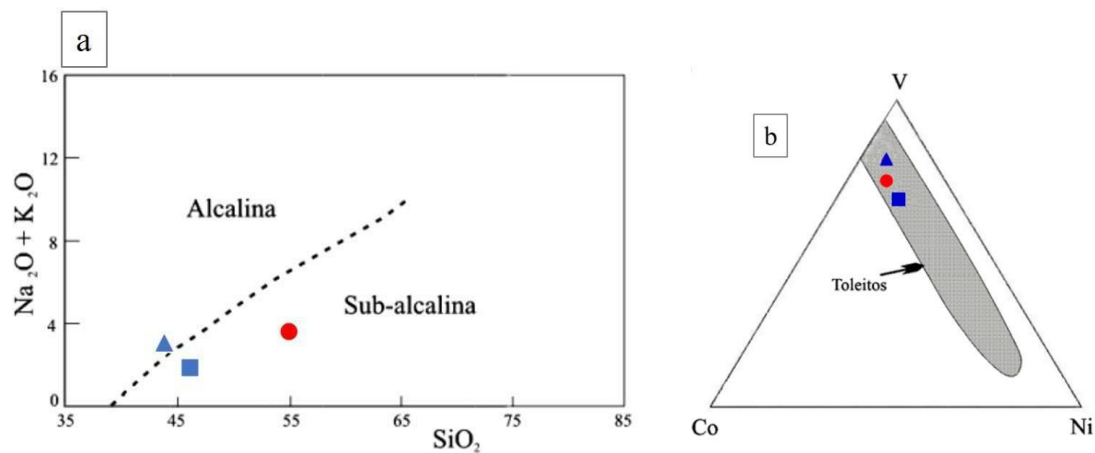


Figura 3.12: A) Diagrama de classificação Zr/TiO₂ vs Nb/Y (Winchester e Floyd, 1977). B) Diagrama discriminante K₂O vs TiO₂ vs P₂O₅ (Pearce *et al.*, 1975). Campo para basaltos oceânicos (1) e basaltos continentais (2). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior.

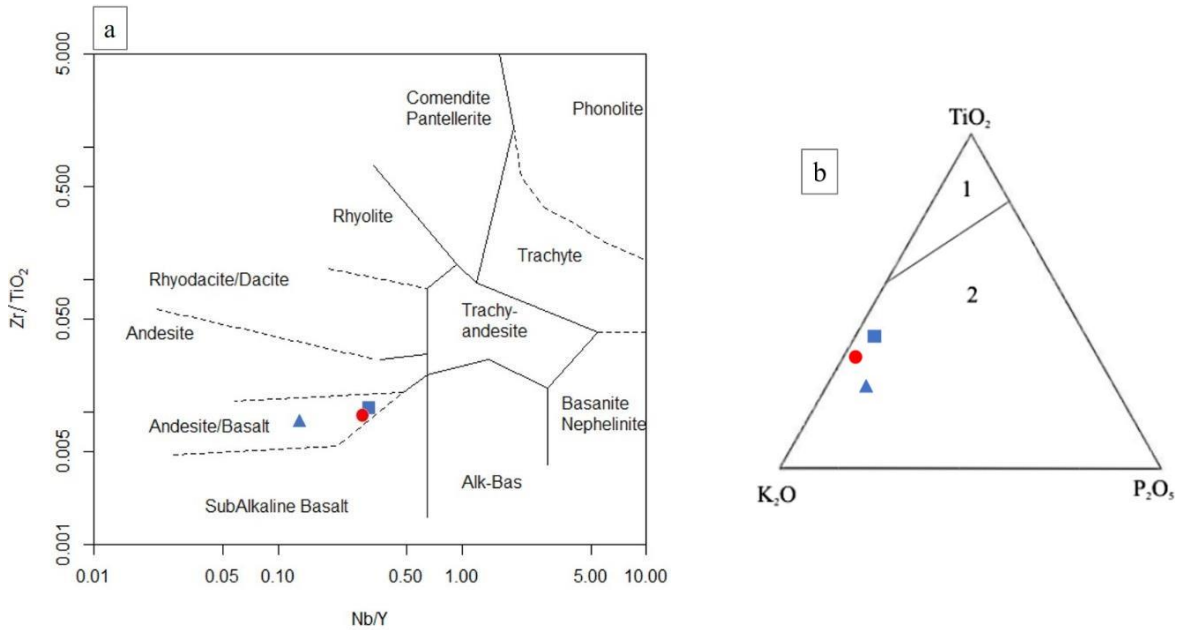


Figura 3.13: Diagramas discriminantes do ambiente geotectônico de posicionamento dos anfibolitos (Pearce & Cann 1973): A) Ti/100 vs Zr vs 3*Y; B) Ti/100 vs Zr vs Sr/2; C) Ti vs Zr. Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior. IAT = *Island arc tholeiites*, MORB = *Mid Oceanic Ridge Basalt*, CAB = *Calc-alkali basalt*, WPB = *Within plate basalt*.

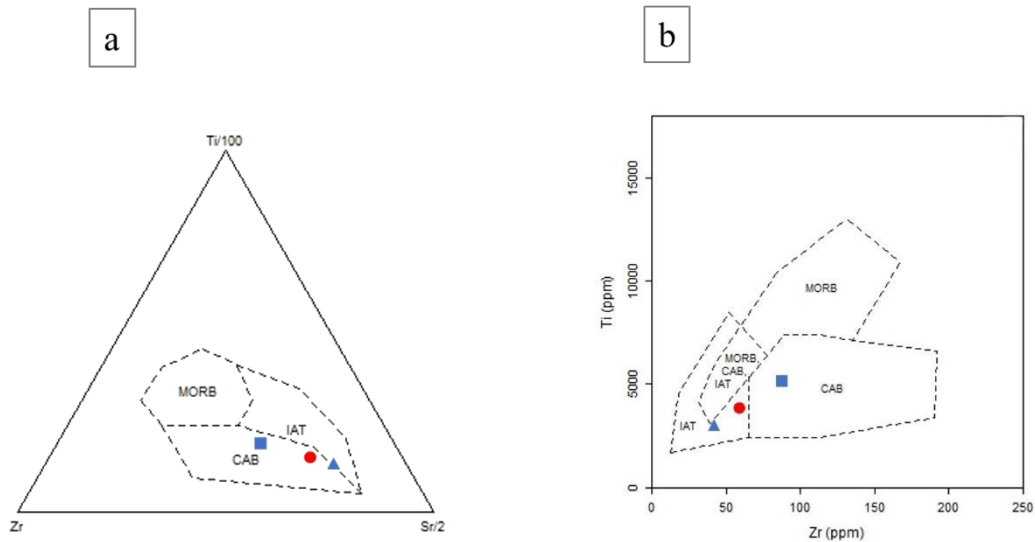


Figura 3.14: A) Diagrama multielementar de elementos-traço normalizado pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). B) Diagrama de elementos terras raras normalizados pelo condrito (Boynton, 1984). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior.

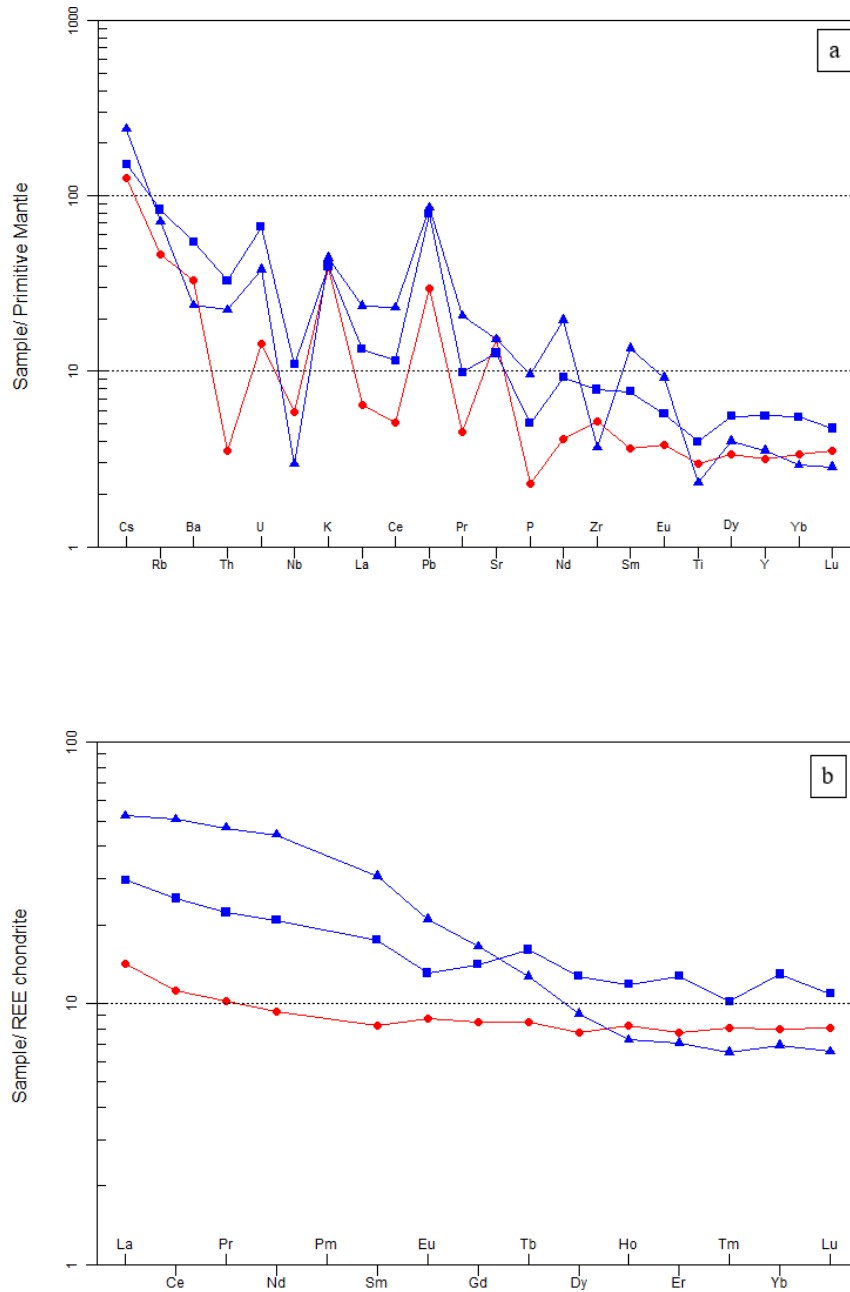
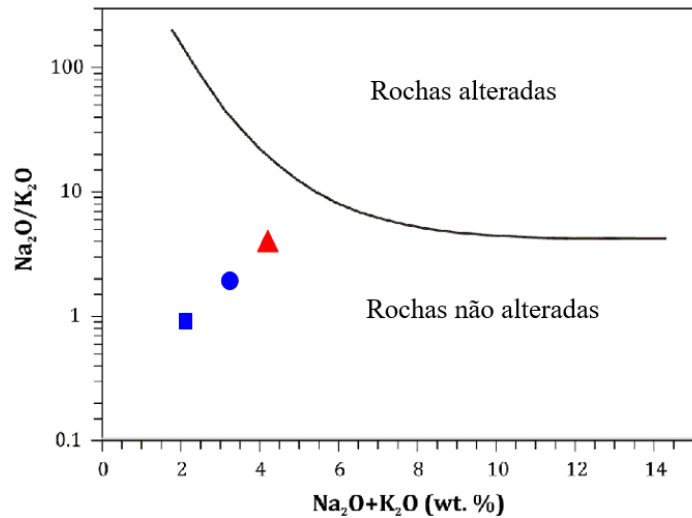


Figura 3.15: Diagrama discriminante de rochas que sofreram modificações químicas por processos pós-magmáticos (Miyashiro, 1975). Simbologia é a mesma utilizada na figura anterior.



3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição química mineralógica do anfibolito do Complexo Inhapi indicou notável semelhança com o metabasito log-56, com anfibólios predominantemente cálcicos, classificados como magnésio-hornblenda. Essa semelhança ente os anfibólios são vistos desde os elementos maiores até seus constituintes atômicos. A tabela 1 exhibe os valores para o anfibolito, caracterizado por composição de Si (6,62-6,76 a.p.f.u), relação $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_2)$ (0,65-0,69), Aliv (1,24-1,38 a.p.f.u) e Alvi (0,42-0,56 a.p.f.u). O metabasito log-56 por composição de Si (6,43-7,50 a.p.f.u), relação $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_2)$ (0,65-0,73), Aliv (1,42-1,59 a.p.f.u) e Alvi (0,38-0,49 a.p.f.u), dados estes que podem ser encontrados em Osako (2005). O plagioclásio presente no anfibolito varia entre andesina a oligoclásio em sua maioria (%An29-31), e os feldspatos alcalinos quando presentes, apresentaram composição média $\text{Or}_{97}\text{An}_0\text{Ab}_3$, (Tabela 2). Já o plagioclásio do metabasito log-56 é mais cálcico, variando entre teores (%An86-92), por outro lado, o plagioclásio do metabasito log-43 é constituído por andesina (%An46-51) (Osako, 2005).

O anfibolito do Complexo Inhapi possui características geoquímicas que indicam uma origem ígnea e, provavelmente, suas rochas precursoras constituíram basaltos subalcalinos de afinidade toleítica a andesítica. Sua composição química assume afinidade com os basaltos continentais e os diagramas classificatórios de ambiência tectônica demonstram posicionamento variacional plotando nos campos dos basaltos de arco de ilhas, cálcio- alcalinos.

Sobre o ambiente gerador, os dados são insuficientes em número e projetados de forma

dispersa dificultando a sua interpretação. Wang & Glover (1992) mostraram que esses diagramas devem ser utilizados com cautela quando relacionado a basaltos continentais, pois podem plotar erroneamente no campo MORB.

A existência de uma anomalia negativa de Nb, leve enriquecimento dos elementos terras raras leves (Figura 3.14A), sugere fontes oriundas de um ambiente de subdução. Segundo Silva Filho et al., (2010b e 2015b) dados geoquímicos e isotópicos de vinte corpos intrusivos do batólito Águas Belas-Canindé, também indicaram um magmatismo que teve como fonte, uma zona de subducção.

Os resultados geotermobarométricos mostram-se consistentes e estimam o último pico metamórfico experimentado pelo anfibolito entre pressões de 5,41 a 6,02 Kbars, com o gradiente de temperatura variando de 641,68° a 672,13°C em uma interface de profundidade em torno de 20 km (Figura 3.9). Esses valores se mostram compatíveis em termos de temperatura, condicionados, entretanto, a maiores pressões exibidos pelos metabasitos do Complexo Una (607° a 628°C / 8,1 a 8,9 Kbars; Osako, 2005) e ao Plúton Maravilha que apresenta valores de temperatura 706,3 a 803,6°C e pressão 5,4 Kbars (Dátoli, 2017).

A presença iminente do Plúton Maravilha provavelmente, entre outras, serviu como fonte de fluidos hidrotermais liberados da cúpula granítica de forma tardia, responsáveis por produtos de alteração observado em lâmina como saussuritização no plagioclásio e percolação de veios de epidoto que truncam os minerais de magnésio-hornblenda (Figuras 3.6 B e D). A ação desses fluidos foi de baixa intensidade provocando pouca alteração hidrotermal, confirmado em composição química de rocha total por um valor baixo de L.O.I (*loss on ignition*) (Tabela 3). Estes fatores associados indicam que os teores dos resultados aqui apresentados se aproximam dos valores magmáticos. Em adicional, condições retrometarmórficas em pequenas porções minerais nos anfibólios indicam transformação de hornblenda em biotita exibidas por contatos serrilhados (Figuras 3.6 E e F).

Os resultados aqui discutidos apontam uma relação entre a amostra SI407 da rocha anfibolítica do Complexo Inhapi e a amostra log-56 de metabasito do Complexo Rio Una, sugerindo correlação cogenética para esses termos litológicos. Assim, não somente uma correlação cronológica pode ser estabelecida entre esses dois complexos (Brito Neves & Silva Filho, 2019), mas também tectônica. Abordagens sobre a química mineral, geoquímica e integração dos novos dados gerados com os presentes na bibliografia propostos neste trabalho, trazem uma modesta contribuição com intuito de aprimorar o conhecimento da história petrogenética relacionada ao Complexo Inhapi. Ainda permanecem muitas questões em aberto e a necessidade de mais levantamentos geológicos, geofísicos e isotópicos na região são indispensáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 7, p. 349-364.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B. 1976. The upper Precambrian of South America. *Bol. Inst. Geoc., USP*, 7: 45-80
- Almeida, F.F.M.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17: 1-29.
- Boynton, W. V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite studies. *Rare Earth Elements* (Henderson, P., ed.), 63–114, Elsevier.
- Brito Neves, B. B. de. 1975. Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Livre Docência 198p.
- Bucher, K., Grapes, R. 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 441p.
- Brito Neves, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campo, D. A. *Tectonic evolution of the South America*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, p. 151-182.
- Brito Neves, B.B. & Silva Filho, A.F. 2019. Superterreno Pernambuco-Alagoas na Província Borborema: ensaio de regionalização tectônica. *Geologia USP. Série Científica*, 19(2), 3-28.
- Caxito F.A., Uhlein A., Dantas E.L., Stevenson R., Salgado S.S., Dussin I.A., Sial A.N. 2016. A complete Wilson Cycle recorded within the Riacho do Pontal Orogen, NE Brazil: implications for the Neoproterozoic Evolution of the Borborema Province at the heart of West Gondwana. *Precambrian Research*, 282:97-120.
- Brongniart, A. 1813. Essai d'une classification minéralogique des roches mélangées. - *J. des Mines*, 34, No.199, 5-48
- Cannon, R. T., 1963. Classification of amphibolites. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 74, 1087-1088.
- Ciullo, P. A., Ed. *Industrial minerals and their uses: a handbook and formulary*. New Jersey, Noyes Publications, 1996.
- Coutinho J., Kräutner H., Sassi F., Schmid R., Sem S. 2007. Amphibolite and Granulite. In: Fettes D. & Desmons J. (eds.) *Metamorphic rocks. A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. Cambridge, Cambridge University Press, 51-57.

Dátoli, L.C. 2017. Geologia, petrologia e geoquímica do Ortognaisse Maravilha, domínio Pernambuco-Alagoas. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. 123 p

Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2. ed. Harlow, Longman. 696 p.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. An Introduction to The Rock Forming Minerals, 3rd Ed, 2013.

Ebert, H. (1962). Tectônica e Metamorfismo Regional no Escudo Brasileiro. *SUDENE, Divisão de Geologia*, 39. (circulação restrita, mimeografado).

Eskola, P. 1915. On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijavi region, Bulletin de la Commission Geologique de Finlandie, n 44.

Fišera, M., 1968. Problémy geneze amfibolitů. MS (unpubl.), Charles University, Prague.

Fritsch, W., Meixner, H. and Wieseneder, H., 1967. Zur quantitativen Klassifikation der kristallinen Schiefer. N. Jb. Miner. Mh., 1967, No. 12, 364-376.

Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. J. Earth Sci., 8: 523-548.

Ishikawa, H. 1968. Some aspects of geochemical trends and fields of the ratios vanadium, nickel and cobalt. Geochim. Cosmochim. Acta, 32: 913-917.

Klein, C.; Dutrow, B. 2012. Manual de ciência dos minerais. 23a ed., Porto Alegre, Artmed Editora S.A. 706 p.

Klein, C.; Hurlbut, C.S., JR. 1993. Manual of Mineralogy, 21st Edition: New York, John Wiley and Sons, 681p. Juliani, C.; Szabó, G. A.; Benevides, T.; Freitas, F. C.; Aguilar, A. P. GMG 332 - Petrologia Metamórfica - Versão preliminar. 2002. Departamento de Mineralogia e Geotectônica – GMG.

Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D, Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, 61, 295_321.

Leake, BE., Wooley, AR., Birch, WD., Burke, EAJ., Ferraris, G., Grice, JD., Hawthorne, FC., Kisch, HJ., Krivovichev, VG., Schumacher, JC., Stephenson, NCN., & Whittaker, EJW. (2004). Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. American Mineralogist, 89, 883 - 887.

Lira, L.H; Neves, G.A. 2013. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 8.3. 110-117 ISSN 1809-8797, Brasil, 22 nov.

Lorenz, W. 1980. Petrographische Nomenklatur metamorpher Gesteine. I. Grundlagen, Konzeption, Systematik. *Z.geol.Wiss.*, 12, 1479-1509. Berlin.

McDonough, W.F. & Sun, S.S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.

Matthes, S., and Krämer, A. 1955. Die Amphibolite und Hornblendegneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre petrogenetische Stellung. *Neu. Jb. Mineral.*, 88, 225-272. Stuttgart.

Medeiros, V. C.; Santos, E. J. 1998. Folha Garanhuns (SC.24-X-B, escala 1:250.000). Integração Geológica (Relatório Interno), CPRM. Recife-PE, Brasil.

Miyashiro A 1975 Classification, characteristics, and origin of ophiolites; *J. Geol.* 83(2) 249 - 281.

Neves S.P. 2018. Comment on “A preserved early Ediacaran magmatic arc at the northernmost part of the transversal zone - central domain of the Borborema Province, Northeast of South America”, by B. B. de Brito Neves *et al.* 2016. *Brazilian Journal of Geology*, 48(3):623-630.

Osako, Liliana Sayuri. 2005. Caracterização geológica da região entre as localidades de Paranatama e Curral Novo, PE, porção centro-norte do Complexo Pernambuco- Alagoas, Província Borborema. Tese de doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

Pearce, J. A. & Cann, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290–300.

Pearce, J.A., Gorsman, B.E., Bickert, T.C. 1975. The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: A method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 24: 419-426.

Pešková J. 1973. Amfibolitové horniny moldanubika z oblasti Dolní Rožínky. MSc thesis (unpubl.), Charles University, Prague. 124pp. Rosenbusch, H., 1898. *Elemente der Gesteinslehre*

Richter, A. J., Ponte, F. C. 1964. Reconhecimento Geológico da parte central e norte do “Horst” que separa as bacias do Recôncavo Tucano e Jatobá da Bacia Sergipe-Alagoas. SERDESTE-PETROBRAS-MACEIÓ, Divisão Regional de Exploração, rel. 316 (relatório interno, inédito).

Santos, E.J. dos. 1995. O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. São Paulo, 219p. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Santos, E.J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39., 1996. Salvador. Anais. Salvador: SBG, 6: 47-50.

Santos E.J., Van Schmus W.R., Kozuch M., Brito Neves B.B. 2010. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 29:61-76.

- Schobbenhaus, C. e Brito Neves, B.B. 2003. Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana In: Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves J. H. (eds.) Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. p. 5-54.
- Shervais, J. W. 1982. Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 101–118.
- Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., Van Schmus, W.R. 2002. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema province, NE Brazil: Nd isotopic data from neoproterozoic Gneiss. *Gondwana Research*, 5(2): 409-422.
- Silva Filho, A. F., Guimarães, I. P., Ferreira, V. P., Armstrong, R., Sial, A. N. 2010b. Ediacaran Águas Belas pluton, Northeastern Brazil: evidence on age, emplacement and magma sources during Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, 17(4), 676-687. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.10.002>
- Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., Van Schmus, W.R., Armstrong, R.A., Da Silva, J. M.R., Osako, L.S.; Concentino, L.M. 2014. SHRIMP U–Pb zircon geochronology and Nd signatures of supracrustal sequences and orthogneisses constrain the Neoproterozoic evolution of the Pernambuco–Alagoas domain, southern part of Borborema Province, NE Brazil. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 103(8): 2155–2190.
- Silva Filho, A. F., Guimarães, I. P., Silva, J. M. R., Armstrong, R. A., Rufino, E. 2015b. Geocronologia U-Pb em zircão por SHRIMP da Sequência Palmares, domínio PE-AL. XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste, Resumos Sessão Temática Geocronologia, Geologia Isotópica e Evolução Crustal. Natal: SBG/Núcleo NE.
- Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., Santos, L., Armstrong, R., Van Schmus, W.R. 2016. Geochemistry, U-Pb geochronology, Sm-Nd and O isotopes of ca. 50 Ma long Ediacaran High-K Syn-Collisional Magmatism in the Pernambuco Alagoas Domain, Borborema Province, NE Brazil, 68: 134-154.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London Special Publication*, 42: 313-345.
- Tonika, J. 1969. Survey of classification and terminology of metamorphosed amphibole-bearing rocks.(in Czech). *Čas.Mineral. Geol.*, 14, 373-377. Prague.
- Vaucher, A., Neves, S., Caby, R., Corsini, M., Egydi-Silva, M., Arthau, M., Amaro, V. 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil, *Journal of South American Earth Sciences.*, 8: 247-266.
- Van Schmus, W.R., Oliveira, E.P.; Silva Filho, A.F., Toteu, F.S.; Penaye, J.; Guimarães, I. P. 2008. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. In: Pankhurst, R. J., Trouw, R. A., Brito Neves, B. B., De Wit, M. J. (eds) *West Gondwana: pre-cenozoic correlations across the South Atlantic.*, 294: 69-99.
- Van Schmus W.R., Kozuch M., Brito Neves B.B. 2011. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(2-3):227-252.
- Kocak, Kerim & Kurt, Hüseyin & Zedef, Veysel & Ferre, E. (2007). Characteristics of the amphibolites from Nigde metamorphics (Central Turkey), deduced from whole rock and mineral chemistry. *Geochemical Journal*. 41. 241-257. 10.2343/geochemj.41.241.

Winchester, J. A. and Floyd, P. A. 1977. Geochemical distributions of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 20, 325–343.

Winchester, J. A., Park, R. G. and Holland, J. G. 1980. The geochemistry of Lewisian semipelitic schists from the Gairloch District, Wester Ross. *Scott. J. Geol.* 16, 165–179.

Winter J.D. 2014. *Principles of igneous and metamorphic petrology*. Pearson New International Edition, 739p.

Yardley, B.W.D., 1989, *An Introduction to Metamorphic Petrology*: New York, John Wiley and Sons, Longman Earth Science Series, 248.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEONORDESTE. SÉRIE CIENTÍFICA

DIRETRIZES PARA AUTORES

A Comissão Editorial da GEONORDESTE, Revista da Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe, torna público aos interessados que receberá, de forma contínua, artigos, resenhas, textos de entrevistas, traduções de documentos, textos clássicos e relatórios de trabalho de campo, de caráter inédito, cujas matérias tratem das teorias, objetos e metodologias da Geografia resultantes ou não de pesquisas empíricas que compreendam discussões no âmbito geográfico.

Os referidos textos deverão seguir as cláusulas:

1. Os textos encaminhados à Comissão Editorial da GEONORDESTE serão apreciados por 02 (dois) pareceristas indicados pela comissão, que poderão aceitá-los integralmente, propor reajuste ou recusá-los, com base em critérios técnicos e deverão obedecer às normas de FORMATAÇÃO DOS TRABALHOS, estabelecidos nesta Revista.
2. Os textos que não observarem os padrões aqui estabelecidos não serão publicados.
3. O conteúdo dos textos deve ser analisado criteriosamente por um profissional de gramática e é de responsabilidade exclusiva de seus autores realizarem a tarefa de enviar a GEONORDESTE.
4. Os artigos deverão conter entre 15 e 20 laudas, as resenhas máximo de 5 (cinco) e as notas técnicas (relatórios de trabalho de campo), máximo de 10 (dez).
5. O(s) autor(es), ao enviar o artigo, deve explicitar a áreas temáticas que o mesmo se encaixa: Epistemologia da Geografia, Análise Regional, Dinâmica Ambiental, Campo – Rural, Cidade – Urbano, Educação e Ensino de Geografia e Representação da Terra, email, número do orcid e instituição de ensino.
6. Serão aceitos somente artigos com até 4 (quatro) autores.

7. É obrigatória inserção do código ORCID dos autores no momento da submissão

8. É obrigatória a inserção de uma declaração assinada pelos autores evidenciando o caráter inédito do trabalho.

Formatação dos Trabalhos

Configuração da página: formato A4; orientação retrato (em todo o trabalho); margens: superior e esquerdo 3,0 cm; inferior e direita 2,0 cm; cabeçalho e rodapé 1,5 cm.

Formatação: Fonte Times New Roman; tamanho 12, justificado; recuo inicial de parágrafo 1,25 cm, espaçamento entre linhas de 1,5; sem espaço entre os parágrafos; sem paginação.

Estrutura do Trabalho: Título do trabalho: todo em maiúsculo, negrito, centralizado, tamanho 12. Autores: centralizados, tamanho 12, espaçamento simples; abaixo do nome colocar informações referentes à(s) instituição(ões) a que pertence(m), grupo de pesquisa que participa bem como endereço postal do(s) autor(es) e o(s) correio(s) eletrônico(s).

Textos e Ilustrações: Apresentar o texto em um único arquivo com ilustrações (figuras, fotografias, desenhos, gráficos, mapas, quadros, tabelas etc.), centralizados na página e inseridas em seus devidos lugares (conferir normas ABNT). Todas as ilustrações apresentadas no texto deverão ser gravadas também numa “pasta” em separado, no formato.JPG. Os mesmos deverão conter identificação de sequência conforme a ordem do texto.

Título: deve ser em português, e com versão em duas línguas estrangeiras (inglês, espanhol ou francês).

Resumo: dois espaços abaixo dos nomes dos autores com espaçamento simples e em língua portuguesa com no máximo 200 palavras, acompanhado de versão em duas línguas estrangeiras (abstract, para inglês, resumen, para espanhol e résumé, para francês).

NOTA: Recomenda-se passar por revisão de profissional especializado. Não utilizar tradutor automático.

Palavras-chave: Entre três e cinco e devem representar o conteúdo do texto, em português e línguas estrangeiras escolhida (keywords, para inglês, palabras clave, para espanhol e mots- clé, para francês).

Citações: com mais de 3 (três) linhas devem ser destacadas com recuo de 4,0 cm da margem esquerda, justificado, espaçamento simples, mesma fonte, tamanho menor que a do texto utilizado e sem aspas, sem parágrafo e sem itálico. (ver normas ABNT).

Notas de rodapé: devem ser apresentadas em ordem crescente e em algarismos arábicos em chamadas na mesma página, com fonte Times New Roman, tamanho 10, justificado.

Referências: devem seguir as normas da ABNT NBR 6023/2002, e relacionados somente os autores citados. Exemplos:

Livro: LA BLACHE, Vidal de. Princípios de Geografia Humana. 2 ed. Lisboa: Cosmos, 1954.

Parte de Livro: PEET, Richard. O Desenvolvimento da Geografia Radical nos Estados Unidos. In Perspectivas da Geografia. São Paulo: DIFEL, 1982. p. 225 – 254.

Artigo: ANDRADE, Manuel Correia de. Tendências Atuais da Geografia Brasileira. In: Geonordeste, Ano II, n. 2. São Cristóvão: UFS, 1985.

Endereço Eletrônico: KAYSER, Bernard. La cultura, un incentivo para el desarrollo local. In: Cultura y Desarrollo. Revista Leader Magazine. Bruxelas, 1994. n. 8. Disponível em: <<http://europa.eu/comm/archives/leader2/rural-es/biblio/culture/art03.htm>>. Acesso em: 12 maio 2006.

Dissertações/Teses: SILVA, José Borzacchiello da. Movimentos sociais populares em fortaleza: uma abordagem geográfica. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1986. 268p. (Tese, doutorado em Ciências: Geografia Humana).