



Caracterização Geológica, Geofísica e Geoquímica do U-Th-K dos Corpos Ígneos da Borda da Sub-Bacia Olinda, Bacia Paraíba, NE Brasil

Geological and Geophysics Description of Igneous Bodies from the Edge of Olinda Sub-Basin, Paraíba Basin, NE Brazil

João Gabriel de Oliveira Topan¹; Mário Lima Filho¹; Natália Gomes Alves de Souza¹;
João Aduino Souza Neto¹; José Victor Antunes de Amorim¹;
Diogo Vinícius Santos da Silva² & Matheus Henrique Silveira de Lima²

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Sala 325 do Edifício Escolar do CTG Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, 50740-550, Recife-PE.

² Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Geologia, 5º andar do Edifício Escolar do CTG Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, 50740-550, Recife-PE.

E-mails: gabrieltopan@gmail.com; mfff@ufpe.br; nataliagas@gmail.com;

adauto@ufpe.br; zehantunes@gmail.com; diogogeosilva100@gmail.com; matheuslima3103@gmail.com

Recebido em: 19/09/2018 Aprovado em: 07/10/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_639_657

Resumo

O Nordeste do Brasil abrange uma importante parte geotectônica da formação do Brasil, a Província Borborema. Esta província é composta por um conjunto de bacias sedimentares do Cretáceo ao Terciário relacionadas às zonas de cisalhamento do embasamento cristalino e a abertura do paleocontinente Gondwana. Dentre estas está a Bacia Paraíba (BPb). Essa descrita até o momento como uma bacia meramente sedimentar e fortemente carbonática, pode ter um vulcanismo associado. A presença de corpos ígneos é descrita desde o início dos anos 90. O presente trabalho tem como objetivo o mapeamento dos corpos ígneos próximos a borda da Sub-Bacia Olinda, BPb, utilizando dados aerogeofísicos e petrografia, o mapeamento litogeofísico da área de estudo, assim como o entendimento das estruturas lineares desta sub-bacia, que podem estar relacionadas ao alojamento destes corpos ígneos. Foram descritos diques de direções NE-SW de dacitos pórfiros e diabásios e diques de direção E-W de basaltos. As estruturas lineares indicam dois esforços compressivos principais, um WNW-ESE e outro N-S. A relação estratigráfica dos diques encontrados é compreendida como anterior à deposição da Formação Beberibe.

Palavras-chave: Bacia Paraíba; Magmatismo; Geofísica; SRTM

Abstract

The Northeast of Brazil covers an important part of the geotectonics of the formation of Brazil, a Borborema Province. This province is composed of a set of sedimentary basins from the Cretaceous to the Tertiary related as shear zones of the crystal basement and an opening of the paleocontinent Gondwana. Among these are the Paraíba Basin (BPb). This described so far as a merely sedimentary basin and strongly carbonate, can have an associated volcanism. The presence of igneous bodies and description of the beginning of the 1990s. The present work has the objective of mapping the igneous bodies near the edge of the Olinda Subbasin, BPb, data aerogeophysics and petrography, the litogeophysical mapping of the study area, as well as such as the understanding of the linear structures of this sub-basin, which may be related to the fitting of these igneous bodies. Have been described dikes with NE-SW direction compound of porphyry dacite and diabase and E-W directions compound of basalts. Linear structures indicate two major compressive stresses, one WNW-ESE and another N-S. The stratigraphic relationship of the dikes found is similar to the one before the deposition of the Beberibe Formation.

Keywords: Paraíba Basin; Magmatism; Geophysical; SRTM

1 Introdução

O magmatismo associado a bacias sedimentares é considerado um fator controlador da geração de bacias rifte, quando este é ativo (associado a pluma mantélica). No entanto o magmatismo também é considerado como um fator que controla o preenchimento de bacias rifte (White & McKenzie, 1989) propõe uma modificação no modelo primário de cisalhamento puro, onde este é associado a plumas mantélicas, o qual explica a ocorrência de vulcanismo em bacias rifte. A dinâmica tectônica, assim como os padrões de preenchimento, sistemas deposicionais e modelos de fácies são diferentes quando ocorrem eventos vulcânicos intercalados com rochas sedimentares (Buono, 2004; Azevedo, 2004; Kuchle, 2010). Antigas classificações de bacias riftes evidenciaram intensa relação do vulcanismo com seus modelos. Como Pollard *et al.* (1983), classifica os riftes como rifte com preenchimento vulcânico, rifte com preenchimento Vulcano-sedimentar e rifte com preenchimento sedimentar.

A Bacia Paraíba (BPb), outrora considera uma bacia única juntamente com a Bacia Pernambuco (BPe), possui atualmente o *status* de uma bacia de margem passiva limitada a norte pelo Alto de Mamanguape e a sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, essa zona de cisalhamento separa a BPb e a BPe. Como a BPe possui um magmatismo já conhecido de idade Ar-Ar 102 ± 1 Ma (Nascimento, 2003). Tenta-se compreender a evolução da Bacia Paraíba e de possíveis magmatismo que ocorrem na borda desta bacia como os descritos por, Moraes (2005), Vila Nova (2005) e Brito Neves *et al.* (2008).

A problemática do estudo se dá devido ao grande número de intrusões nos terrenos do embasamento cristalino de idades variadas desde o Proterozóico até o Cenozóico (Oliveira, 2008). Assim como a urbanização e agricultura em praticamente toda a bacia, dificultando a localização de afloramentos e conservação dos poucos encontrados.

Este trabalho tem como objetivo o mapeamento geológico dos corpos ígneos da borda da Sub-Bacia Olinda, Bacia Paraíba e sua correlação com as zonas de cisalhamento, através de geofísica, sensoriamento remoto, petrografia e geoquímica do U-Th-K avaliada a partir dos dados aerogamaespec-

trométricos. Afim de colaborar para o entendimento da evolução tectono-estratigráfica das bacias litorâneas da borda leste da Província Borborema.

2 Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região Nordeste do Brasil (Figura 1 A). Esta área possui 387,2 km² e seus limites diagonais abrangem as coordenadas geográficas 7°37'30" – 7°45'00" de latitude sul e 35°00'00" – 35°15'00" de longitude oeste. Englobando as porções centro-leste e centro oeste das folhas, 1:100.000, Limoeiro e Itamaracá, respectivamente. O acesso à área saindo da cidade de Recife-PE, ocorre através da rodovia federal BR-408 até o município de Tracunhaém-PE onde tem-se acesso à rodovia estadual PE-042 a partir de Nazaré da Mata-PE encontra-se na área. O principal sistema fluvial encontrado na área faz parte do Rio Tracunhaém e seus afluentes. (Figura 1 C).

3 Materiais e Métodos

O Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) requisitou a realização do levantamento aerogeofísico no projeto Borda Leste do Planalto da Borborema. O levantamento aerogeofísico é caracterizado por espaçamento entre as linhas de voo (N-S) e de controle (E-W) de 500 e 1000m, respectivamente. O projeto foi executado por um consórcio entre as empresas LASA Engenharia e Prospecções S.A. e Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. no ano de 2008 para a CPRM. Com os *grids* cedidos foram aplicados métodos de interpolação bidirecional e células de 125m. Através do *software Oasis Montj 6.3* foram utilizados os seguintes processamentos: campo magnético total, primeira derivada vertical do campo magnético (Dz), reduzido ao polo do campo magnético residual, reduzido ao polo do campo magnético, sinal analítico do campo magnético e derivada tilt ou inclinação do sinal analítico (tilt).

Através dos mapas de relevo sombreado interpretou-se os lineamentos superficiais associados a drenagens e quebras positivas e negativas. Com os mapas de Dz e Tilt foram interpretadas estruturas lineares de subsuperfície rasa (Dz) e de subsuperfície intermediária (tilt). O mapa de redução ao polo do campo magnético, utilizado para delimitar corpos

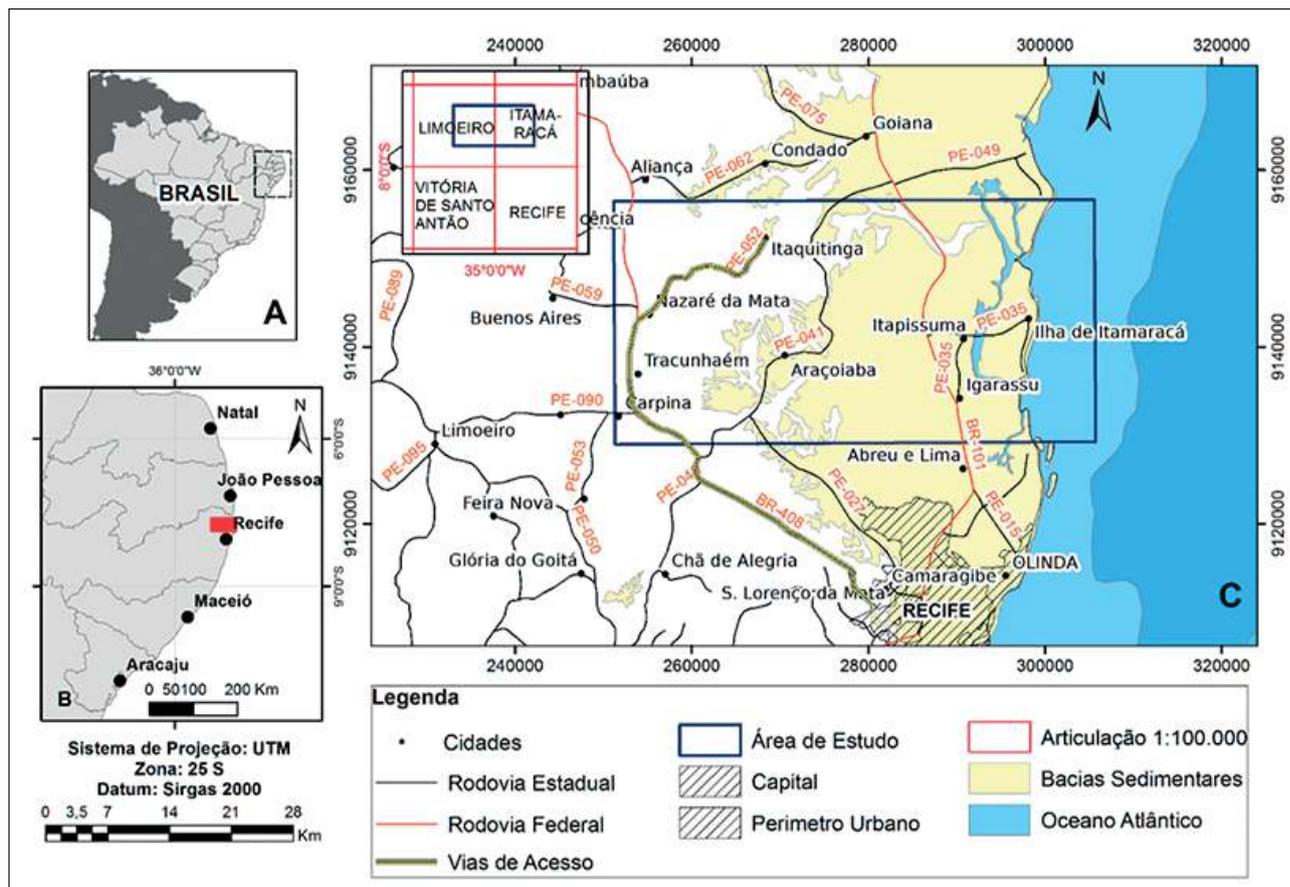


Figura 1 (A) Mapa do Brasil e América do sul com destaque no NE brasileiro. (B) Mapa do NE brasileiro onde destaca-se a área de trabalho. (C) Mapa de localização da área de estudo e vias de acesso à área. Assim como relação da área de estudo com as folhas cartográficas na escala de 1:100.000.

ígneos próximos à bacia. Com os mapas de Ternário (K, Th, U), canal K, canal Th e canal U, interpretou-se limites e unidades litogeofísicas para a comparação de mapas geológicos já existentes.

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi levado a bordo do ônibus espacial *Endeavour* em 2000. O SRTM 1 *Arc-Second* possui dados de elevação global que oferecem cobertura mundial de dados preenchidos com uma resolução de 1 segundo de arco (30 metros) e fornecem distribuição aberta deste conjunto de dados globais de alta resolução, obtido no site earthexplorer.usgs.gov. Em posse foram processados no *software Envi 5.0* o relevo sombreado, utilizando os ângulos azimutais de iluminação do sol de 0°, 270° e 315° e o ângulo de inclinação de incidência sola de 45°, devido as angulações citadas destacar as estruturas geológicas da área.

A metodologia é baseada nos conceitos da Geomorfologia Tectônica, Keller & Pinter (1996) em que princípios geomórficos são aplicados como ferramenta para avaliar a história, a magnitude e a taxa de processos tectônicos atuais ou pré-atuais (Salamuni *et al.*, 2004).

Os dados de gamaespectrometria foram processados os canais de potássio (K), urânio (U), tório (Th) e K, eTh e eU em RGB. O uso da gamaespectrometria visa a contribuição para o melhor entendimento da geologia local, já que não existe uma vasta quantidade de afloramentos e a leste a área é muito urbanizada.

O potássio é um elemento alcalino comum na crosta terrestre (2,35%), e pode ser encontrado em minerais como feldspatos potássicos e micas, logo, abundante em rochas félsicas. Esse elemento

geralmente é ausente em minerais máficos e pouco abundante em dunitos e peridotitos (Fertl, 1983). O urânio é um elemento traço encontrado na crosta terrestre em concentrações de aproximadamente 3 ppm. Ele ocorre dois estados de oxidação: U^{4+} e U^{6+} , e pode ser observado em minerais como monazita, xenotima, zircão, além de ser encontrado como elemento traço em outros minerais formadores de rocha (Dickson e Scott, 1997). O tório também é um elemento traço com baixa concentração natural na crosta terrestre (aproximadamente 12 ppm) e ocorre apenas no estado de valência Th^{4+} (França *et al.*, 2016).

Para o estudo petrográfico foram analisadas 15 (quinze) lâminas delgadas, 12 (doze) dos corpos ígneos e três de milonitos com tendência estrutural próxima aos diques dos corpos ígneos estudados.

4 Contexto Geológico

A porção *onshore* da Bacia da Paraíba está localizada no litoral do nordeste brasileiro, mais especificamente no litoral do estado da Paraíba e parte do litoral do estado de Pernambuco, na Província Borborema. A bacia é limitada a norte da Zona de Cisalhamento Pernambuco e ao sul do Alto de Mamanguape, esse seria um prolongamento da Zona de Cisalhamento Patos (Lima Filho, 1998; Lima Filho *et al.*, 2005, 2006; Barbosa *et al.*, 2004, 2005, 2007, 2008). A BPb é sobreposta a rochas supracrustais, graníticas e ortognaisses, do Paleo- ao Neoproterozóico do Terreno Rio Capibaribe, Terreno Alto Moxotó e Terreno Alto Pajeú. A bacia tem sua evolução originada do rifteamento entre os continentes Sul-Americano e Africano. Este primeiro grande evento tectônico reativou as zonas de cisalhamento com *trending* NE-SW e E-W, entre o Jurássico Inferior e o Eo-Cretáceo, durante o início da quebra do Pangea (Castro *et al.*, 2008; Matos, 1992, 1999, 2000; Rossetti *et al.*, 2011). As zonas de cisalhamento foram reativadas no Cretáceo e no Terciário (Nóbrega *et al.*, 2005).

O Terreno Rio Capibaribe (TRC) (Santos & Medeiro, 1999; Medeiros, 2004) foi individualizado no sul-sudeste do Domínio Transversal da Província da Borborema. O limite norte é convencionalizado como o Lineamento Congo-Cruzeiro do Nordeste, com direção geral de NE-SW para E-NE, separan-

do o TRC do Terreno Alto Moxotó (ao norte), a sul pelo Lineamento Pernambuco, de direção geral E-W, caracterizado como uma zona de cisalhamento dextral, que separa o TRC dos domínios graníticos-migmatíticos do Terreno/Maciço Pernambuco – Alagoas (PEAL).

Litologicamente a BPb é dividida em Formação Beberibe, composta de um sequência arenosa, de granulação grossa à fina, mas selecionada, com coloração variando de cinza clara a creme, tendo, na base o predomínio de leitos arenosos conglomeráticos (Dantas *et al.*, 1980). A Formação Beberibe é sobreposta pela Formação Itamaracá, definida primeiramente como uma sequência de calcarenitos (Kegel, 1953), em contato interdigitado. De idade neo-campaniana-eo-maastrichtiana (Beurlen, 1967a, b; Tinoco, 1971; Barbosa, 2004, 2007; Souza, 2006), a Formação Itamaracá corresponde a um pacote sedimentar bem estratificado, formado por arenitos finos de coloração creme, além de siltitos cinza esverdeados, com manchas avermelhadas, e ricamente fossilífero (incontáveis conchas de bivalves mal preservados), caracterizando um ambiente lagunar (Barbosa *et al.*, 2008). Subindo na estratigrafia encontra-se a Formação Gramame. Depositada pela transgressão marinha durante o Cretáceo superior (Maastrichtiano), é caracterizada por calcários margosos e margas sem influência siliciclástica, depositados em plataforma rasa com baixa ou moderada energia e sob a ação periódica de tempestades (Nascimento, 2003). A Formação Maria Farinha repousa diretamente sobre a Formação Gramame, sem nenhuma discordância ou hiato, mergulhando para leste e mostrando uma suave ondulação no sentido N-S (Oliveira & Ramos, 1956). Litologicamente possui, na base, calcários pseudolitográficos, seguindo-se calcários detríticos finos, bem estratificados, bastante dolomitizados, passando, na porção superior, para calcários detríticos argilosos e margas calcárias (Oliveira, 1978). O Grupo Barreiras tem idade de formação interpretada de forma geral como plio-pleistocênica (Mabesoone & Alheiros, 1988, 1993). De origem predominantemente continental sotoposto em falésias junto ao mar, ao longo de extensos trechos da costa brasileira (Feijó, 1994). A maioria das camadas são constituídas de material silico-argilosos, com grande predominância de areias quartzosas, arcoseanas e argilas, às vezes, com ocorrência de seixos. Existe o predomínio de tonalidades roxas, vermelhas, acinzentadas e amareladas (Kegel, 1955).

5 Interpretação de Estruturas Lineares

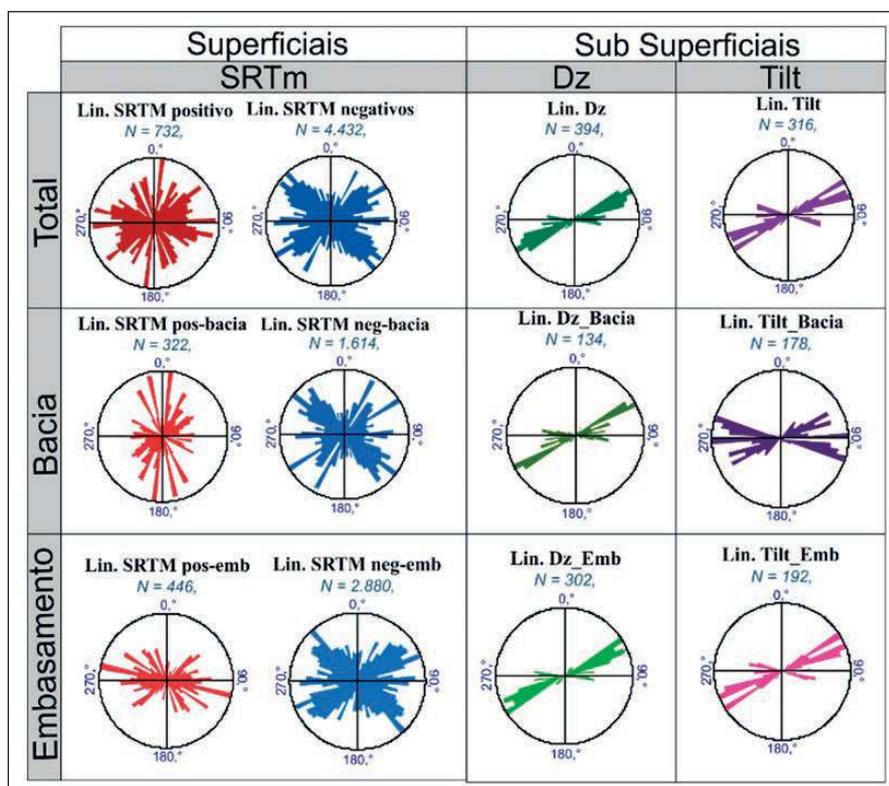
A interpretação de estruturas lineares, (falhas, juntas e fraturas) utilizando os dados de SRTm e processamento de Dz e Tilt dos dados aeromagnéticos foi possível observar as tendências de lineamentos locais. Desta forma, foram interpretados lineamento no SRTm onde foram diferenciados entre quebras positivas e negativas, além de separados entre totais, referentes a bacia e referentes ao embasamento. Para os dados de aeromagnetometria foram divididos em totais, referentes à bacia e referentes ao embasamento.

Como pode-se observar na Figura 2, as rosetas dos lineamento do produto dos sombreamento em 0°, 210° e 315° obteve-se de forma total rosetas de quebras positivas e quebras negativas. A utilização da divisão entre bacia sedimentar e embasamento cristalino, deu-se utilizando unidades do Cretáceo até o recente para os limites da bacia. A primeira possui tendências principais N-S e E-W e secundárias NE-SW e WNW-ESSE, as quebras negativas possuem tendências principais com grande número de medidas NW-SE e NE-SW e secundárias E-W. Nos lineamentos superficiais referentes à bacia, observa-se nas positivas principal tendência

N-S a NW-SW e secundária NE-SW. Nas quebras negativas observa-se tendência principal NW-SE e NE-SW e secundárias com direção E-W. Os lineamentos referentes aos terrenos do embasamento cristalino as quebras positivas possuem tendência WNW-ESSE, enquanto que os lineamentos de quebras negativas apresentam forte tendência NE-SW e NW-SE e secundárias E-W.

Para as rosetas dos dados de subsuperfície foram interpretados lineamentos nos altos magnéticos. Para melhor compreensão das estruturas optou-se pela divisão entre bacia sedimentar e terreno do embasamento, como também rosetas totais de lineamentos estruturais. Nos dados de processamento da primeira derivada vertical do sinal magnético os dados totais indicam tendência principal NE-SW e secundária E-W, na bacia e no embasamento esta tendência se repete. Nos dados de inclinação do sinal analítico observa-se que os dados totais possuem tendência principal NE-SW e secundária WNW-ESE. Dentro da bacia a principal tendência dos lineamentos é de direção E-W e secundárias ENE-WSW e WNW-ESE. Já no embasamento estas tendências são diferentes apresentando direção principal NE-SW e secundária WNW-ESE.

Figura 2 Quadro com os diagramas de rosetas dos lineamentos interpretados da área de estudo, divididos primeiramente em total, onde estão as interpretações de SRTM, Dz e Tilt. Em seguida as interpretações da bacia dividida nos mesmos dados de sensor remoto e filtros geofísicos e por fim as interpretações dos lineamentos do embasamento.



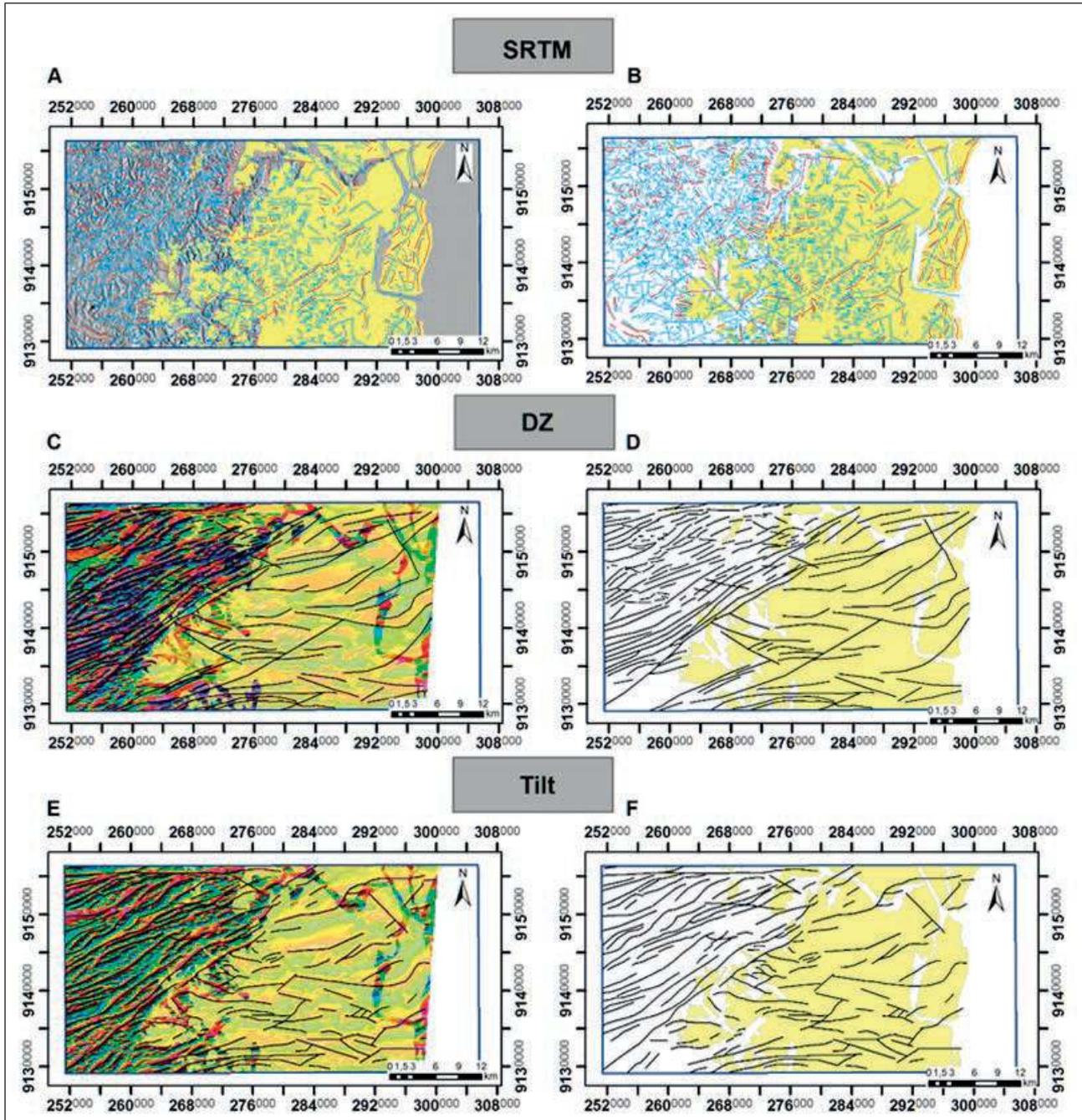


Figura 3 (A) Estruturas lineares traçadas utilizando dados de sensor remoto (SRTM), com a imagem SRTM com relevo sombreado como *background*, (B) sem a imagem SRTM como *background*. Processamento de dados aeromagnetométrico como primeira derivada do sinal magnético (Dz) em (C) utilizado como *background* para a interpretação de estruturas lineares de subsuperfície e (D) sem o dados de primeira derivada vertical (Dz) e em (E) dados aeromagnéticos utilizando o processamento de inclinação do sinal magnético (Tilt) para a interpretação de estruturas lineares também de subsuperfície e em (F) os lineamentos traçados.

A integração dos dados supracitados observa-se que o embasamento localmente sofreu um esforço maior WNW-ESE levando-se em conta os dados de sub superfície, observa-se de forma mais

generalizada na borda da bacia que o embasamento sofreu um esforço maior WNW-ESE mais próximo a NW-SE. Por isso é comumente encontrado lineamentos de direção NE-SW a ENE-WSW. Nos da-

dos superficiais observa-se reativações com esforços N-S, E-W e NE-SW. Estudos mais gerais mais englobando a borda da Sub-Bacia Olinda indicam que nos dias atuais a BPb é caracterizada por compressão E-W e extensão N-S, possuindo movimentações de NE-SW e NW-SW. Isso se dá pela movimentação das zonas de cisalhamento dúcteis na região e reativação de falhas rúpteis (Bezerra *et al.*, 2014). Outra explicação seria a reativação dos cinturões miloníticos da PB durante a abertura do rifte que formaria a bacia no Necomiano (Bezerra *et al.*, 2011; Kirkpatrick *et al.*, 2013). Uma terceira explicação foi provada por Bezerra *et al.* (2007, 2011), onde apresentam-se evidências que mostram que a reativação ocorreu sob pressão de alto fluido nas zonas de falha. Assim acredita-se que a reativação de zonas de cisalhamento dúctil em regime rúptil desde o Cretáceo e continuamente reativada do Cretáceo ao Quarternário (Bezerra *et al.* 2014, Topan & Lima Filho, 2017).

6 Mapeamento Litogeofísico

A aerogamaespectrometria pode ser utilizada para mapear a variação do potássio (K) e dos elementos da família do tório (Th) e urânio (U), alcançando profundidades de até 30 cm na superfície terrestre. A distribuição dos radioelementos está sujeita a alterações causadas pelo intemperismo. A intensidade dessa alteração depende de muitos fatores, como, por exemplo, do tipo de rocha que está sendo alterada e do tipo de erosão. Rochas intermediárias e básicas alteram pouco suas concentrações de radioelementos durante intemperismo inicial, mas a pedogênese pode resultar em solos com até três vezes o teor de U e Th da rocha fonte (Dickson & Scott, 1997).

A composição desse mapa tem por objetivo apresentar de forma direta os principais resultados obtidos a partir da interpretação dos dados aeroradiométricos, facilitando a comparação desses com o mapa geológico da área de estudo e ajudar no mapeamento dos corpos ígneos da borda da Sub-Bacia Olinda.

A mapa do ternário (Figura 4) foi utilizado como base principal para a delimitação dos domínios, já que o mesmo possui contribuição relativa de

cada radioelemento. A contagem de cada elemento foi classificada para cada domínio em baixa (b), média (m) ou alta (a) concentração, e assim cada um dos domínios foi devidamente classificado e em seguida foram numerados para melhorar a visualização do mapa. Dentro das dificuldades possíveis de serem encontradas na interpretação, deparou-se com a lixiviação provocada pelos rios e a urbanização. A junção desses fatores naturais e antrópicos, aumentou a dificuldade na interpretação dos dados, porém o resultado da interpretação foi satisfatório, evidenciando a heterogeneidade entre o embasamento e a bacia, entre as unidades do embasamento, entre algumas unidades da bacia e ainda pode ser observadas algumas zonas de cisalhamento.

Com base na assinatura gamaespectrométrica, foi possível identificar 16 domínios litogeofísicos na área de estudo (Figura 5), caracterizados da seguinte forma:

Domínio 1: localizado à oeste da área e de grande extensão, é caracterizado por elevados valores dos três radioelementos.

Domínio 2: localizado na porção central da área e de pequena dimensão, possui valores de potássio e tório elevado e urânio médio.

Domínio 3: localizado à noroeste da área de estudo, é caracterizado por elevado elevado valor de potássio, e valores de tório e urânio baixo.

Domínio 4: de área pequena e localizado no centro da área, apresenta valor elevado de K, Th baixo e valor médio de U.

Domínio 5: ocorre no centro da área e é caracterizado por elevado valor de K, valor médio de Th e valor alto de U.

Domínio 6: localizado na porção centro-leste da área é caracterizado por baixo valor de potássio e altos valores de tório e urânio.

Domínio 7: ocorrendo na porção leste da área e caracterizado por valores baixos em todos os três elementos é referente à resposta de área com água. No caso o Oceano Atlântico.

Domínio 8: ocorre na porção mais a leste da área e possui valores baixos de K e Th e valor médio de U.

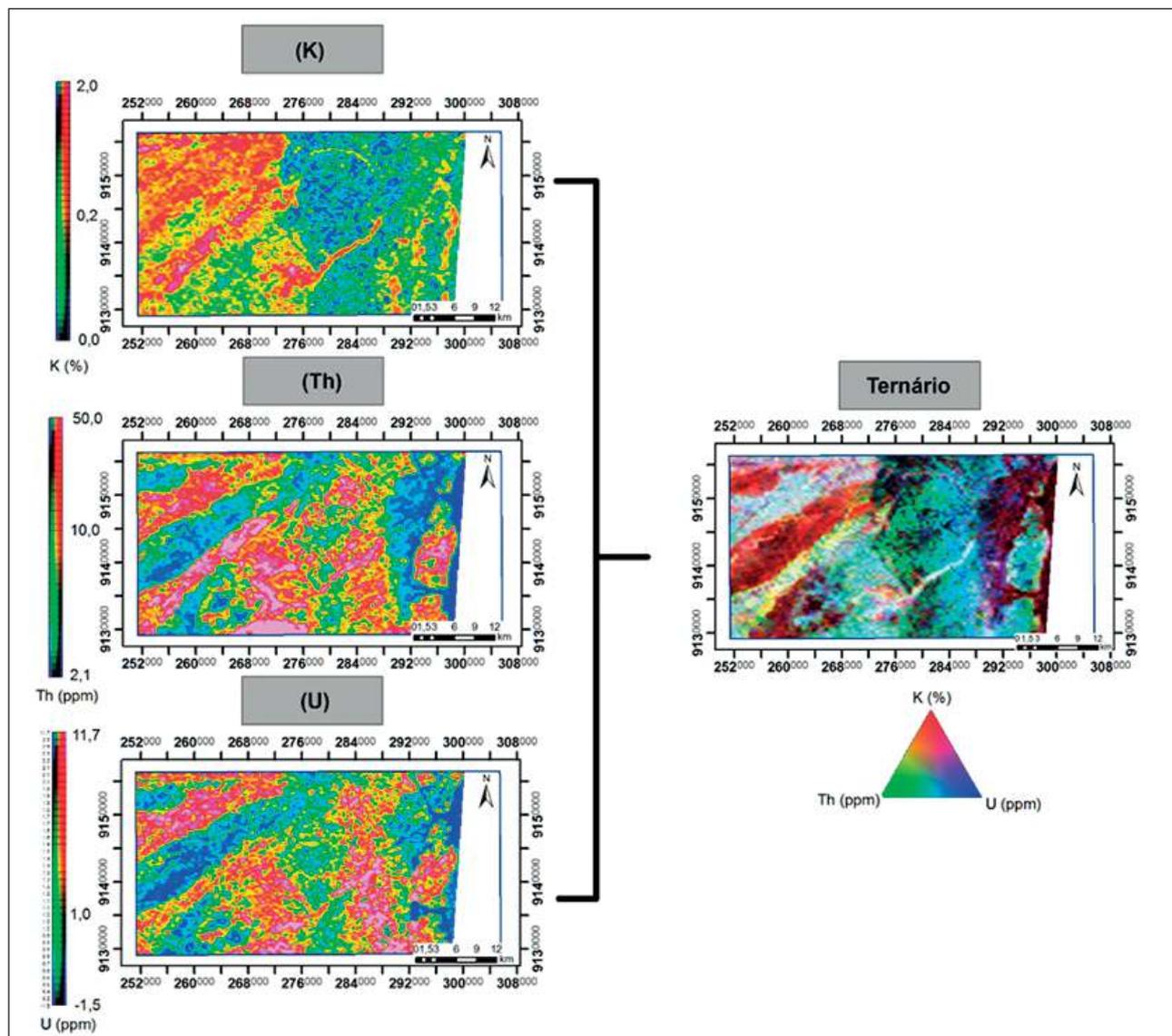


Figura 4 Mapas dos canais de potássio, tório e urânio da área de pesquisa acompanhados do mapa de distribuição ternária destes três elementos radioativos.

Domínio 9: localizado na porção leste superior da área, caracterizado por valor baixo de potássio, médio de tório e elevado de urânio.

Domínio 10: localizado na parte central da área com e pequenas porções na parte leste, é caracterizado por baixo valor de K e valor médio de Th e U.

Domínio 11: ocorre na porção centro-oeste sendo caracterizado por valor médio de K e elevado valor de Th e U.

Domínio 12: ocorre na parte superior leste da área e possui valor elevado de Th e valor médio de K e U.

Domínio 13: localizado na parte superior-leste da área e possui valores médio de potássio, baixo de tório e elevado de urânio.

Domínio 14: localizado na porção oeste de área é caracterizado por valor médio de K e baixo de Th e U.

Domínio 15: disperso na área de estudo em pequenos corpos é caracterizado por valores médios de potássio e tório e elevado de urânio.

Domínio 16: localizado na porção central da área é caracterizado por valor médio no três radioelementos.

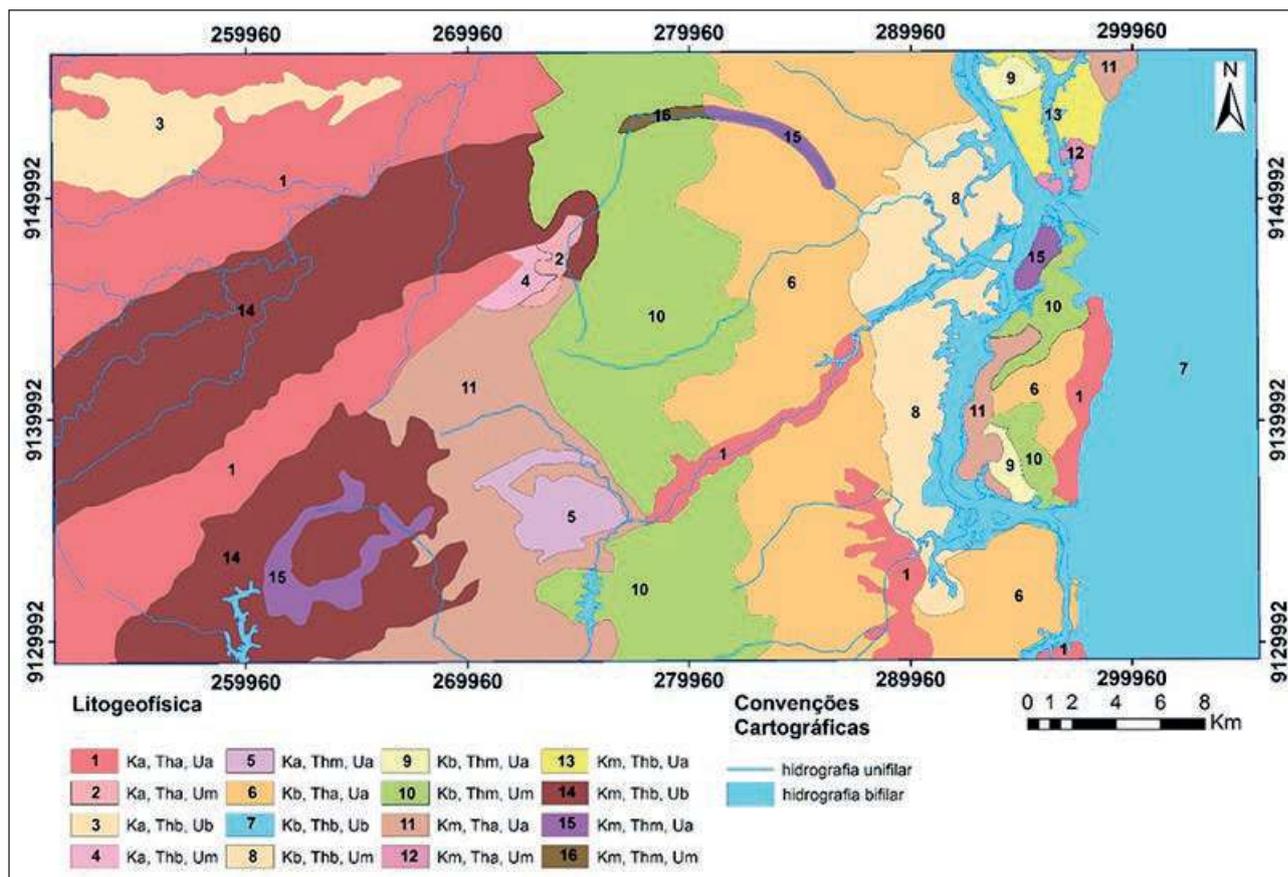


Figura 5 Mapa litogeofísico interpretado através das contagens dos radioelementos potássio (K), tório(Th) e urânio(U). A legenda apresenta Za, Zm e Zb e são referentes às contagens altas, médias e baixas do elemento a frente, respectivamente.

O mapa litogeofísico mostra claramente a divisão entre o domínio da Bacia Paraíba e do Embasamento cristalino, comparados aos mapas mais recentes (Santos *et al.*, 2016; Valença *et al.*, 2014), assim como os demais domínios que serão citados adiante. A partir da maior porção do domínio 10 para leste faz parte da Bacia da Paraíba. O próprio domínio 10 é interpretado como a porção do Grupo Barreiras sobre as rochas sedimentares. O domínio 6 é interpretado como a Formação Beberibe, caracterizada por conglomerados e arenitos, onde espera-se uma contagem elevada em tório e urânio e baixa e potássio que já foi retirado dos sedimentos. Os domínios 8, 9, 12 e 13 são interpretados como depósitos quaternários, como: depósitos de mangue, aluvionares, litorâneos e marinhos. O domínio 1 corresponde ao Complexo Salgadinho, são ortognaisses de composição variada desde tonalítica até granítica, logo espera-se a contagem alta dos três elementos. Este domínio também foi interpretado dentro da bacia sedimentar, onde pode ocorrer devido às respostas de

K, Th e U de areias quartzosas. O domínio 14 e 11 ocorre onde espera-se encontrar o Complexo Surubim-Caroalina caracterizado por paragneisses logo a resposta de K é intermediária e possui baixa contagem de Th e U. Assim a aerogamaespectrometria com a interpretação do mapa litogeofísico fornece uma caracterização inicial das unidades já mapeadas e qual tipo de relação entre as unidades geológicas esperar em um mapeamento geológico concluído após a etapa de campo.

7 Mapeamento de Corpo Ígneos

O questionamento de ter existido algum tipo de atividade vulcânica na Bacia Paraíba é decorrente desde Barbosa (1990). Esse autor relata a existência de diques ácidos e diques básicos. Sendo os diques ácidos nomeados como quartzo-monzonito porfírico que ocorre em forma de blocos *in situ* que ocorrem em meio aos gnaisses em direção geral NE-SW. Os diques básicos caracterizados por micro-

quartzodiorito ocorrem em corpos arrasados preenchendo fraturas de direção geral de NE-SW.

Tanto Morais (2005) quanto Vila Nova (2005) também observaram a existência de rochas vulcânicas a subvulcânicas na área. Caracterizadas como dique de dacito de matriz afanítica, máfica englobando vários fenocristais arredondados de plagioclásio e quartzo, com dimensões de aproximadamente 0,5 cm.

Com base nos estudos supracitados foram diferenciados grupos. Primeiramente foram observados um dacito porfirítico, descrito por Barbosa (1990) como quartzo-monozodiorito. Ocorrem em blocos *in situ* de dimensões métricas entre os municípios de Nazaré da Mata e Itaquitinga, orientados na direção NE-SW, como pode ser observado na (Figura 6 A e B). Macroscopicamente descrito como rocha de matriz máfica, holocristalina, porfirítica, com fenocristais de K-feldspato, que variam de 0,2 a 6 cm. Sua matriz possui granulação fina, onde 60% é composto de minerais escuros, sendo assim melanocrática. Observa-se presença rara de óxido de ferro e observa-se magnetismo.

O segundo grupo de rochas foram diabásio que se encontram na forma de blocos arrasados a SE do município de Itaquitinga, são os diques de dacito observados por Morais (2005) e Vila Nova (2005) e o microquartzodiorito descrito por Barbosa (1990), (Figura 6 C e D). São rochas melanocráticas de granulação menor que 0,3mm, fina, afanítica, hipocristalina, cristais inequigranulares. Possui amígdalas preenchidas por material vítreo e alguns fenocristais de plagioclásio. A rocha é pouco magnética.

Outro grupo de rochas encontrado foram diques com 30 cm de largura de basaltos intrudidos em ortognaisse, são mais difíceis de serem encontrados devido ao tamanho dos diques. Estes diques apresentam direção E-W, (Figura 6 E e F). São rochas melanocráticas, hipovítrea, afanítica, de granulação densa. Apresentam amígdalas com material vítreo e pequenos xenólitos do ortognaisse encaixante no interior e magnetismo fraco.

Para o mapeamento dos corpos encontrados além da pesquisa de campo foi utilizado o filtro de redução ao polo do campo magnético. O filtro de re-

dução ao polo do campo magnético parte importante do processamento de dados geofísicos magnéticos. Este filtro é aplicado no domínio de Furier e migra o campo observado da inclinação e da declinação magnética observadas, tais que o campo pareça tal como no pólo magnético. Isto ajuda na interpretação, visto que qualquer assimetria do campo reduzido ao pólo pode ser atribuída à geometria da fonte e/ou às suas propriedades magnéticas.

Assim, o processamento de redução ao polo do campo magnético possibilitou a observação e delimitação de anomalias positivas que foram investigadas em campo e observadas como os corpos de dacito porfirítico e diabásio. Observa-se na Figura 7, que os corpos são diques orientados segundo as zonas de cisalhamento da área. Nos afloramentos estudados não foram observados relação de truncamento com formações da bacia. Este fato deve-se possivelmente à uma significativa diferença de idade entre a abertura das fraturas com o alojamento dos diques e a deposição da Formação Beberibe. O mesmo indica que os diques de dacito porfirítico sejam mais antigos que a abertura da bacia, Coniaciano – Santoniano, 89,8 a 86,3 Ma. (Beurlen, 1967).

8 Petrografia

Para a caracterização petrográfica dos corpos ígneos mapeados no embasamento adjacente à Sub-Bacia Olinda, foram utilizadas 15 lâminas. Destas 5 são de dacito pórfiro, 5 de diabásio, 5 de basalto.

Os resultados das análises petrográficas foram comparadas às petrografias anteriormente descritas por outros pesquisadores (Barbosa, 1990; Morais, 2005; Vila Nova, 2005)

8.1 Diabásio

Rocha com textura subofídica com articulação entre os cristais aparentando irregularidade, onde os cristais de plagioclásio preenchem os espaços deixados por outros minerais. Holocristalina, sub-afanítica, com cristais sub milimétrico a milimétricos, onde o tamanho relativo dos cristais é caracterizado como equigranular. São observados anfíbólios muito alterados para biotita, quantidade de aproximadamente 3% de apatita, 1% de epidoto, 65% de plagioclásio, 15% de quartzo, 15% de anfíbólios e piroxê-

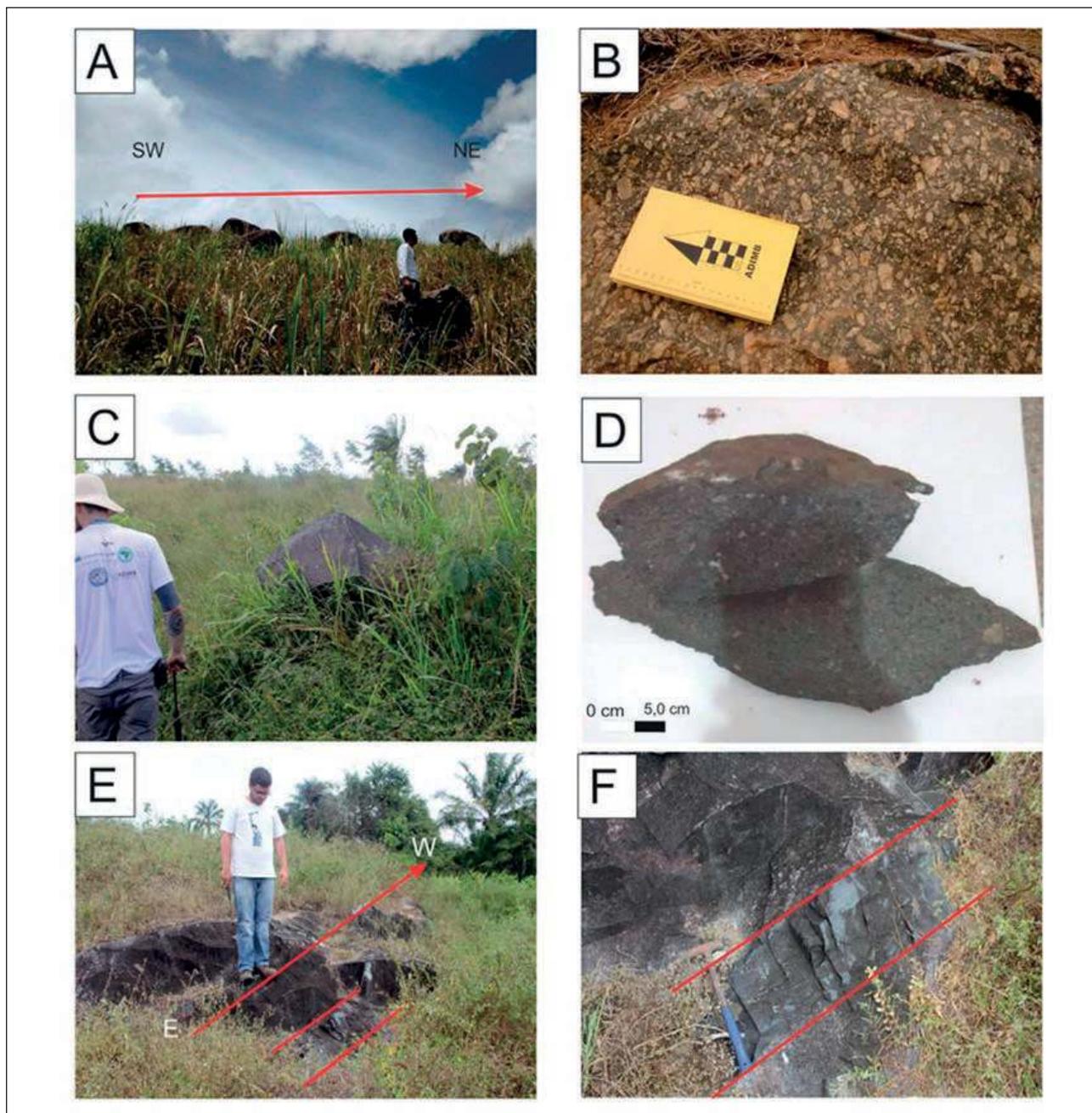


Figura 6 (A) Foto dos blocos de dacito pórfiro no afloramento T10, onde observa-se claramente o alinhamento NE-SW; (B) Bloco *in situ* de dacito porfirítico com; (C); (D); (E) e (F).

nios e 5% de minerais opacos. Quando normalizado ocupa o espaço dos quartzo-monzodiorito. Devido à presença dos anfibólios sugere-se que essa rocha foi cristalizada em profundidade subvulcânica e com água no sistema. (Figura 8 A, B, C)

Vila Nova (2005) descreve uma rocha constituída por fenocristais de quartzo e plagioclásio de

dimensões milimétricas envoltos por uma matriz máfica fina composta por quartzo, plagioclásio e biotita. Os fenocristais de quartzo são fracamente alongados. Barbosa (1990) descreve como um microquartzodiorito, caracterizado por textura porfirítica constituída de plagioclásio (andesina), biotita, quartzo e epidoto, como pode ser observado na Figura 8 D.

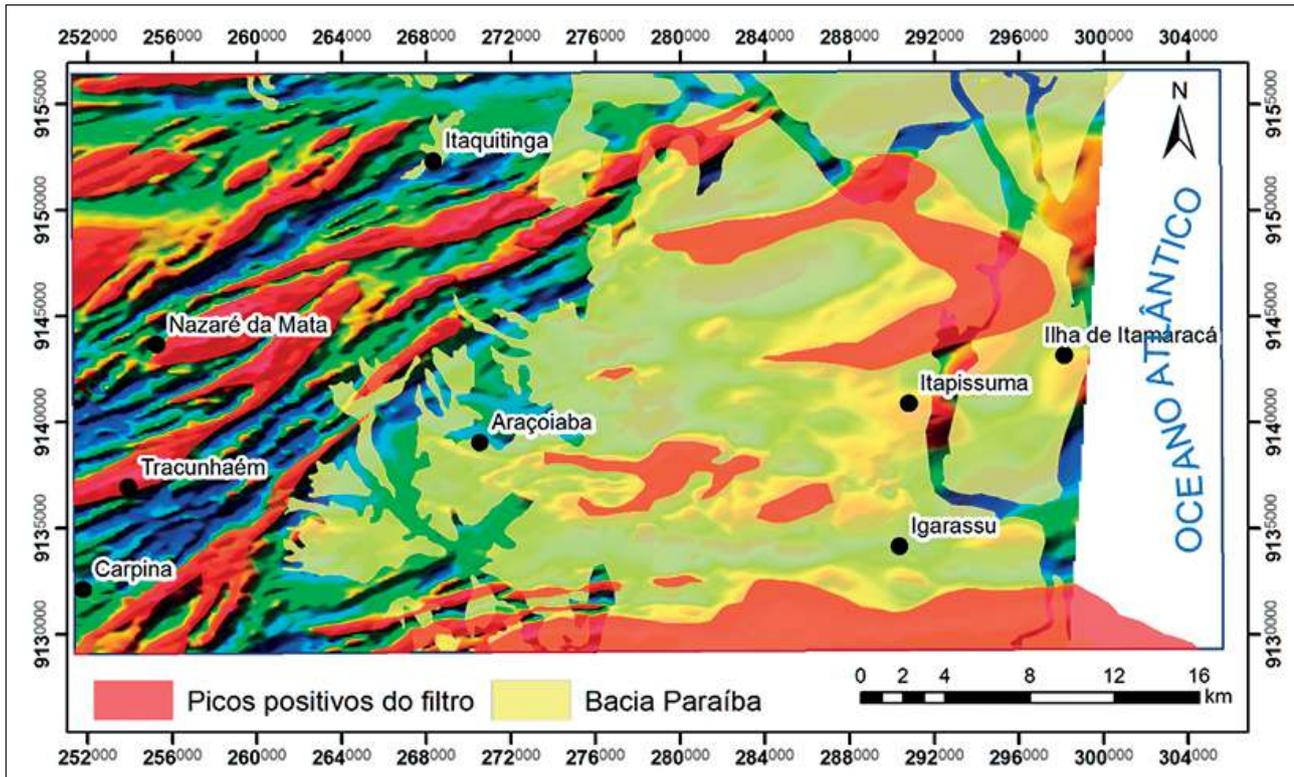


Figura 7 Mapa de picos do filtro de redução ao pólo, onde várias dessas anomalias foram mapeadas em campo e encontrados blocos *in situ* de dacitos porfíricos e diques de diabásio.

As diferenças entre as descrições anteriores indica uma diferença composicional fraca, observa-se apatita, anfibólios e epidotos. Quando as porcentagens são normalizadas e inseridas no diagrama de classificação de rochas plutônicas de Streckeisen (1976), esta é identificada como um quartzo monzodiorito. Devido à textura observada, o tamanho dos grãos indetificou-se como um diabásio.

8.2 Dacitos Pórfiros

Rocha porfírica, com matriz afanítica, hipocrystalina, com fenocristais de quartzo, K-feldspatos e plagioclásios (Figura 9 A, B). Os fenocristais de plagioclásio são de tamanhos centimétricos e em sua maioria são euédricos (Figura 9 E, F). Os fenocristais de quartzo e K-feldspato possuem tamanhos métricos, anhedrais e subhedrais, respectivamente. Os K-feldspatos são mais raros fazendo parte de 3% da rocha. Os plagioclásios são 30% da rocha e os fenocristais quartzos são aproximadamente 10%. São observados minerais como allanita e epidotos,

e minerais de alteração como a clorita e biotita. A presença de anfibólios de difícil identificação devido ao estado de alteração, indica a presença de água no sistema e isso pode indicar um resfriamento hipoabissal (Figura 9 C, D). Observa-se bordas de corrosão indicam uma reação com o magma, acredita-se que houve uma mistura de magmas devido à diferença entre os fenocristais e a matriz muito fina. Pode ter ocorrido uma possível mistura de magmas devido primeiramente a matriz ser muito fina e ser observados cristais de K-feldspato e plagioclásio grande e bem formados e posteriormente pela zonação de alguns plagioclásios.

Os dacitos pórfiros são descritos por Morais (2005), como granodioritos. Possuindo fenocristais essencialmente de plagioclásio e muito raramente de microclina. Feldspatos potássicos (perita) aparecem circundando os plagioclásios, formando uma textura anti-rapakivi, Os minerais acessórios presentes são alanita, monazita, apatita e epidoto, este em quantidades muito pequenas. Com matriz afanítica

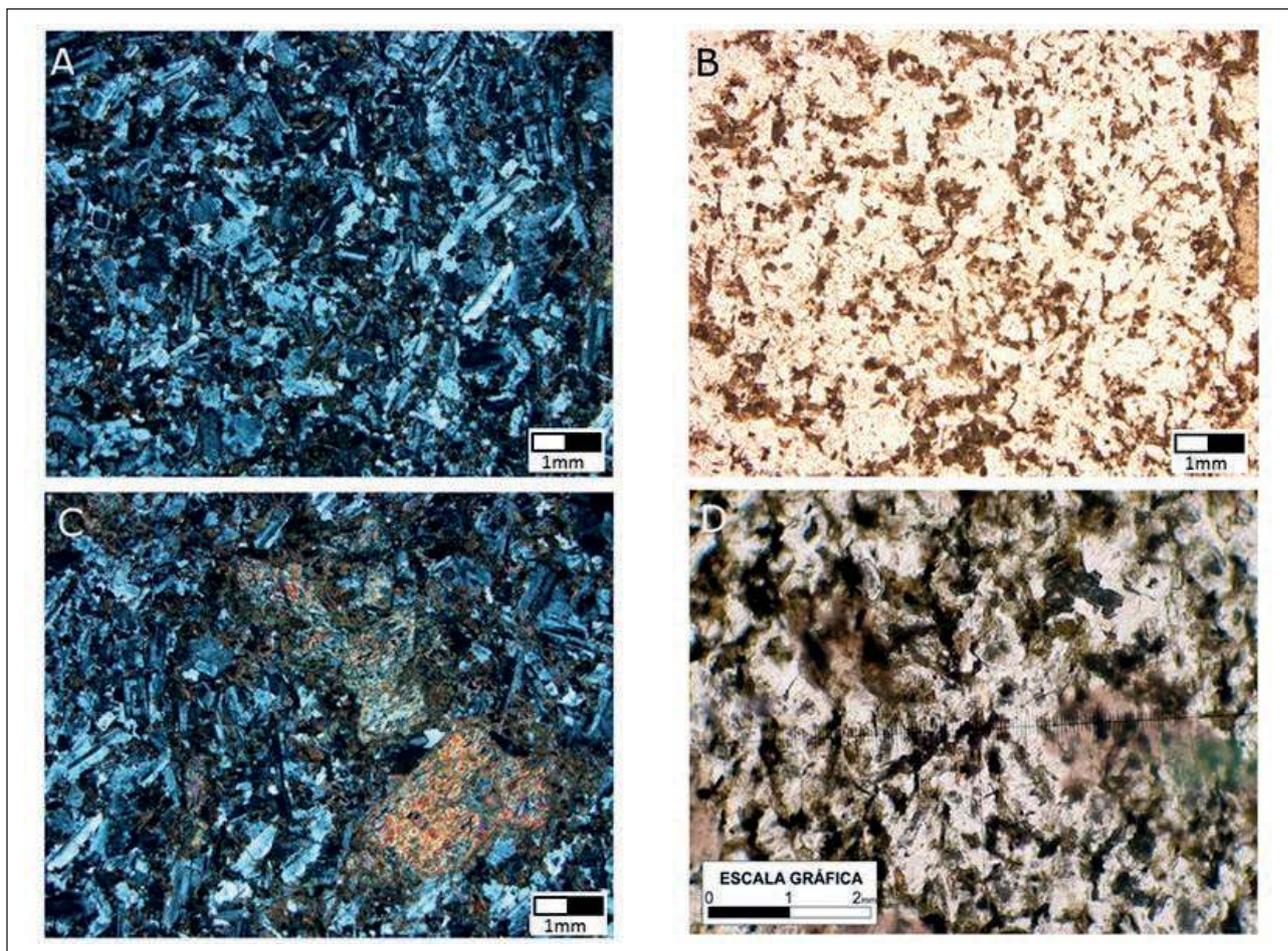


Figura 8 (A) e (B) Fotomicrografia de amostras dos blocos de diabásio, onde observa-se muitos plagioclásios, em uma textura sub-ófidica, com formatos ripiforme, biotita, anfibólios e piroxênios; nicóis cruzados e nicóis paralelos, respectivamente. (C) Nesta fotomicrografia podem ser observados os anfibólios, sofrendo biotitização, nicóis cruzados. (D) Composição mineralógica da matriz da extrusão sub-vulcânica, composta de quartzo, plagioclásio e biotita, com nicóis paralelos, fotomicrografia apresenta por Vila Nova (2005).

de coloração escura caracterizado por quartzo micrométrico, biotita, anfibólio e piroxênio. Algumas características evidenciam que houve uma mistura de magmas durante a cristalização do dacito pórfiro, como a granulometria muito fina da matriz, a presença de apatita, cristais de mica alongados, textura anti rapakivi, e plagioclásio com textura tipo esponja e borda de corrosão (esta formada no encontro de magmas). Os magmas provavelmente têm duas origens, sendo um basáltico (máfico) e outro riolítico (félsico). Assim, o dacito pórfiro seria uma rocha sub-vulcânica, cristalizada bastante próxima da superfície (Figura 9 G, H)

Devido às porcentagens de minerais observados e quando classificados e inseridos no diagrama

de classificação de rochas vulcânicas de Streckeisen (1979), fica no campo dos dacitos. Onde utilizando-se o diagrama de classificação de rochas plutônicas de Streckeisen (1976), estaria no campo dos granodioritos, como optou Moraes (2005). Porém como a matriz observada é menor que 0,25mm optou-se por utilizar o diagrama de rochas vulcânicas. Não foram observados texturas anti-rapakivi, porém confirmase que esta rocha possui uma mistura de magmas, interação do magma com os fenocristais e cristalização próxima à superfície.

8.3 Basaltos

Rocha afanítica, com fenocristais de ortopiroxênio (OPX), clinopiroxênio (CPX) e plagioclá-

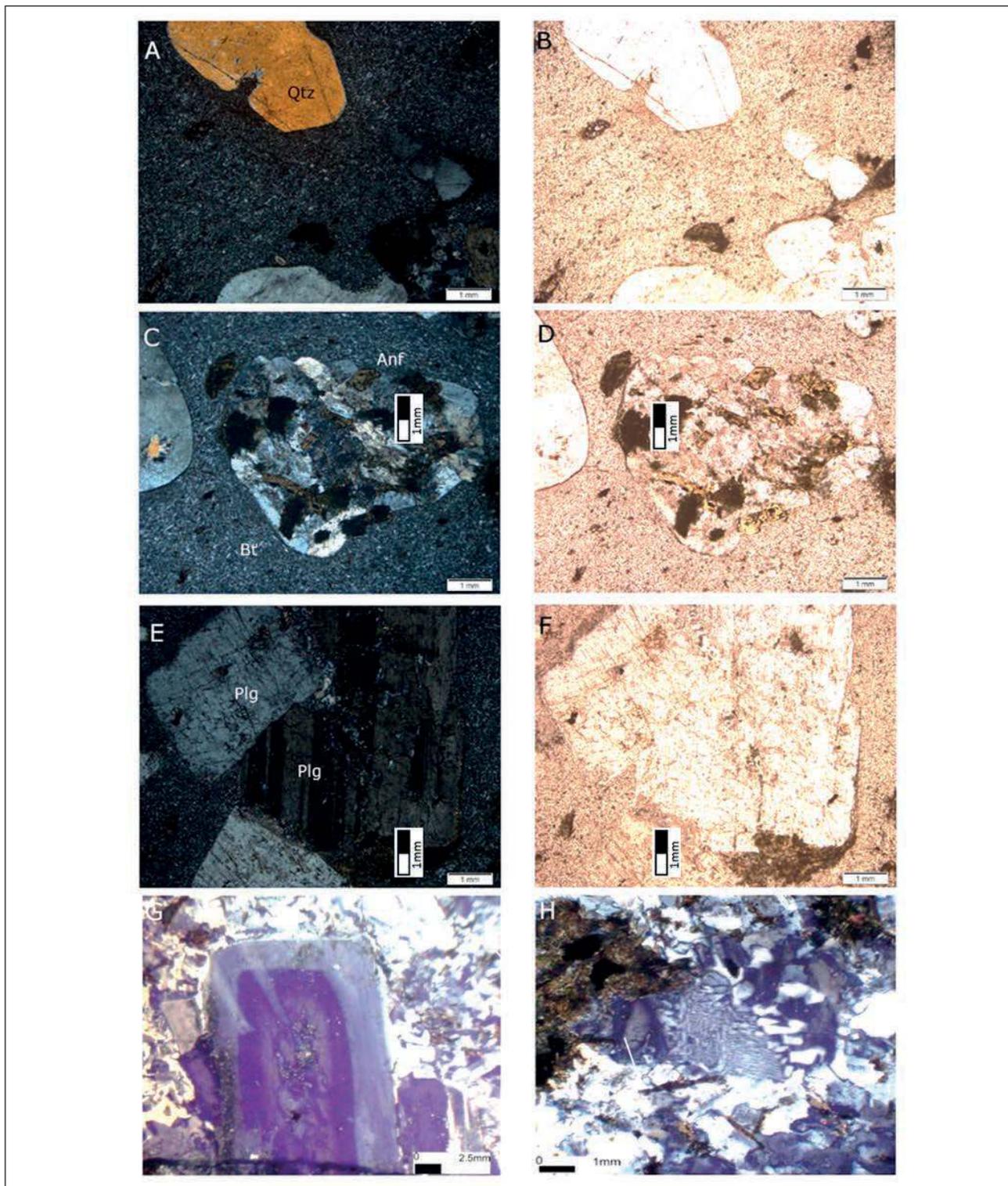


Figura 9 (A) e (B) Fotomicrografia das bordas de embainhamento nos quartzos indicando a reação entre o magma e os cristais já formados, nicóis cruzados e paralelos, respectivamente. (C) e (D) Observa-se a relação da biotita alterando os anfibólios e piroxênios, nicóis cruzados e paralelos, respectivamente. (E) e (F) Pode-se observar como os plagioclásios são grandes e bem formados, nicóis cruzados e paralelos, respectivamente. (G) Observa-se a zonação dos plagioclásios e (H) o intercrescimento mimerquítico, estes últimos observados por Morais (2005).

sio. Apresenta grau de cristalinidade hipocristalina, granulação fina, inequigranular e de forma geométrica xenomórfica. A articulação entre os cristais se dá de forma irregular, com arranjo intergranular. Os plagioclásios de forma angulosa são típicos de resfriamento rápido, os fenocristais de plagioclásio e os piroxênios apresentam bordas de alteração. Os clinopiroxênios foram identificados como variando de egerina-augita a titano-augita. Figura 10 A, B, C.

Basaltos como diques cortando o gnaise, composto por matriz afanítica, composta de aegirina-augita alterando para clorita, olivinas e ripas de plagioclásio, são descritos por Morais (2005), (Figura 10 D).

Não foram observados olivinas nas lâminas analisada porém não se descarta esta descrição. Ainda sim devido à textura descrita e os minerais observados a rocha ainda pode ser classificada como um basalto. Utilizando o tetraedro basáltico (Yoder & Tilley, 1972), classificou-se como um olivina toleíto.

9 Conclusão

O processamentos de dados sensor remoto e da aeromagnetometria foi possível fazer a correlação entre as estruturas lineares de superfície e subsuperfície. Onde obteve-se a confirmação em maior detalhe das fases de reativação de estruturas dúcteis afetando a bacia de forma rúptil. Foi diagnosticado nesta porção menor da Sub-Bacia Olinda um esforço



Figura 10 (A) e (B) Fotomicrografia dos basaltos onde podem ser observados clots de titano-augita (Px), sofrendo cloritização (Cl), a relação dos plagioclásios dispersos na matriz de diferentes tamanhos, porém a maioria ripiforme, e matriz afanítica; nicóis cruzados e paralelos, respectivamente. (C) Fotomicrografia, onde observa-se a variação dos tamanhos de plagioclásios (Plg) e suas bordas indicando resfriamento rápido. (D) Fenocristal de plagioclásio em matriz afanítica,

compressivo maior WNW-ESE, com resposta em estruturas ENE-WSW, outra fase com um esforço compressivo N-W com respostas em estruturas E-W, e ainda uma possível fase onde houve um esforço compressivo ENE-WNW, de mesma intensidade que o primeiro citado. A utilização de um mapa litogeofísico intentificou locais para a melhoria de mapeamentos e novas perspectivas na exploração geológica. Assim como o filtro de redução ao pólo aplicado à aeromagnetometria que foi essencial para o mapeamento dos diques de dacito pórfiro.

Observa-se que a direção os diques de dacito pórfiro e diabásio são coincidentes com a direção de *trends* de estruturas lineares tanto da bacia quanto do embasamento. Fazem parte da fase de compressão ENE-WSW, com o *sigma* 3 na vertical *sigma* 2 na direção WNW-ESE. Enquanto que os basaltos fizeram parte de uma outra fase de compressão N-W, também observada nos diagramas de roseta.

A partir dos dados obtidos e das interpretações feitas são possíveis algumas interpretações relacionadas:

1) Os dacitos pórfiros podem ser relacionados a algum vulcanismo na forma de diques (de direção NE-SW), que se formou pela mistura de um magma onde já haviam sido cristalizados os fenocristais, provavelmente mais profundo, com outro magma mais máfico. Quando misturados terminaram de cristalar-se na superfície ou muito próximo à mesma, de provável idade Paleozóica, devido às relações estratigráficas. Estes teriam utilizado a fraqueza das zonas de cisalhamento para se instalarem. Neste caso os diabásios seriam diques sin a tardi contemporâneos aos dacitos e os basaltos seriam tardi-contemporâneos, já que são diques em na direção E-W.

2) A presença dos dacitos pórfiros, diabásio, basaltos, também podem ser associadas à abertura da BPb. Já que estes corpos estão associados as zonas de cisalhamento e as principais estruturas lineares da Bacia Paraíba. Logo não seria possível a observação da relação estratigráfica com a Formação Beberibe que tem idade Neo-Campaniano (83,6 Ma.) e o vulcanismo seria de idade Albiana (103 Ma.), idade da Suíte Magmática Ipojuca. Neste caso, os dacitos pórfiros seriam correlacionados aos traquitos e traque-andesitos, os basaltos e diabásios relacionados a

um magma mais máfico, identificando um magmatismo bimodal.

3) Ainda tem-se a hipótese de os dacitos pórfiros serem de idade Neoproterozóica e os diabásios e basaltos serem um vulcanismo mais recente no Terreno Rio Capibaribe.

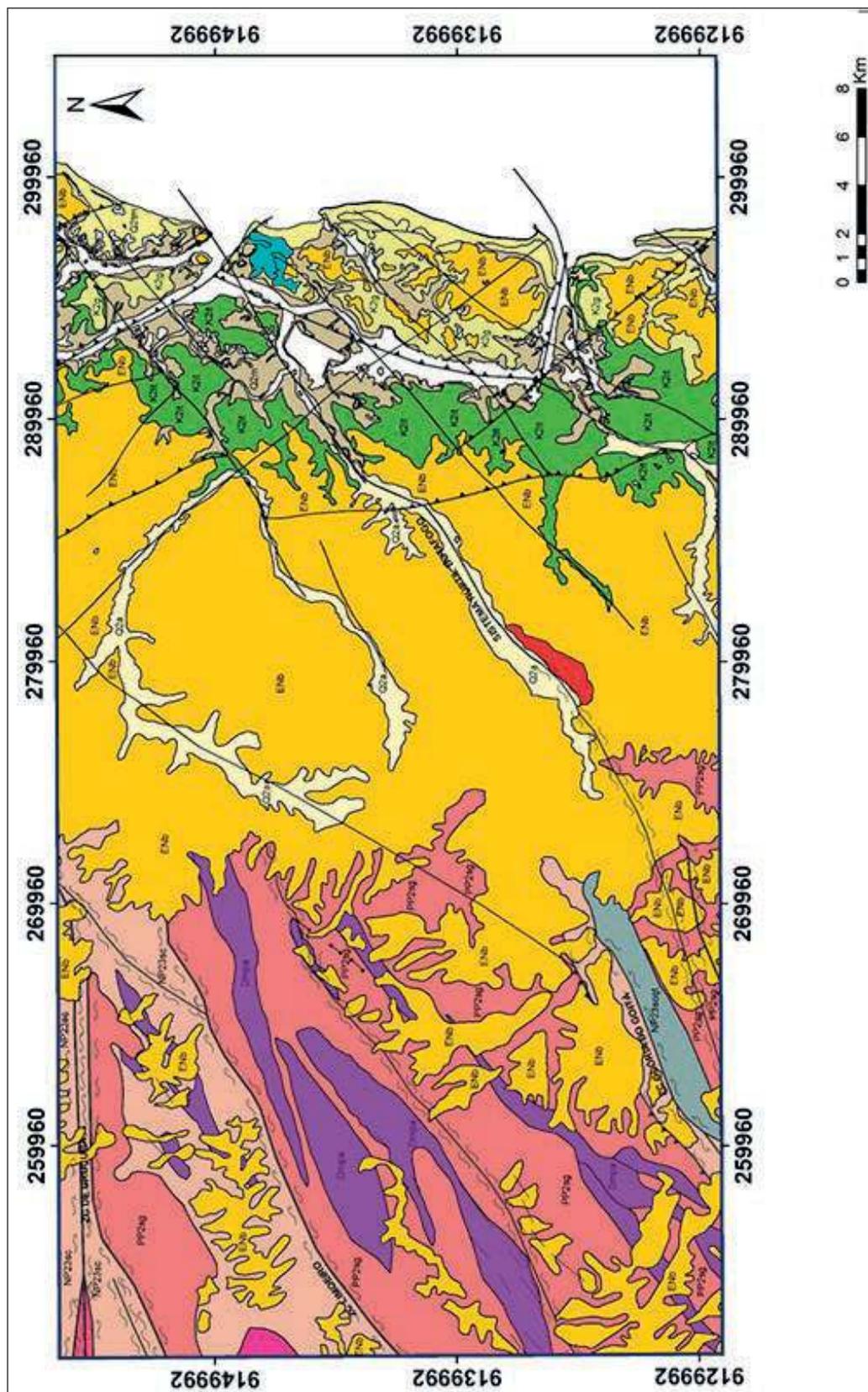
Porém o presente artigo trata-se apenas de uma caracterização, para uma idéia da gênese destes corpos e a prosposta de uma suíte extrusiva ou sub-vulcânica na Bacia Paraíba. Seriam entretanto interessantes análises geoquímicas, geocronologia e química mineral.

10 Agradecimentos

Agradecemos primeiramente à Fundação de Comissão de Aperfeiçoamento Pessoal do Nível Superior (CAPES), à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) no nome do Programa de Recursos Humanos 26 (PRH-26) e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), todas pelos auxílios financeiros prestados ao projeto, ao Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental da UFPE (LAGESE-UFPE) e ao Núcleo de Estudos de Granitos no nome do Laboratório de Isótopos Estáveis (NEG-LABISE-UFPE), pelo auxílio nas análises e infraestrutura de trabalho, a CPRM por ter cedido os dados aerogeofísicos e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE.

11.Referências

- Azevedo, R.L.M. 2004. Paleocyanografia e a evolução do Atlântico Sul no Albiano. *Boletim de Geociências Petrobras*, 12 (2): 231-249.
- Barbosa, J. 1990 - Folha Limoeiro - Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - 1:100.000, Recife. CPRM/DNPM 124p il
- Barbosa, J.A. & Lima Filho, M.F. 2005. Os domínios da bacia da paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, Salvador, 2005. *Resumos expandidos*, Salvador, p. 10-16.
- Barbosa, J.A. 2004. *Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil*. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 230 p.
- Barbosa, J.A. 2007. *A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e*



Anexo 1. Mapa geológico compilado e modificado de Santos et al., 2016 e Valença et al., 2014.

- paleontológicos*. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 114p.
- Barbosa, J.A.; Lima Filho, M.; Neumann, V.H.; Neto, J.C.J. & Araújo, J.A.A. 2008. Potencial exploratório das bacias da Paraíba e da Plataforma de Natal. In: RIO OIL & GAS CONFERENCE, Rio de Janeiro, 2008. *Boletim de Trabalhos Técnicos*, p. 1-8.
- Beurlen, K. 1967a. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 43-53.
- Beurlen, K. 1967b. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim de Geologia da Universidade Estadual de São Paulo*, 16(1): 73-79.
- Bezerra, F.H.R.; do Nascimento, A.F.; Ferreira, J.M.; Nogueira, F.C.; Fuck, R.A.; Brito Neves, B.B. & Sousa, M.O.L. 2011. Review of active faults in the Borborema Province, intraplate South America—Integration of seismological and paleoseismological data. *Tectonophysics*, 510: 269-290.
- Bezerra, F.H.R.; Rosseti, D.F.; Oliveira, R.G.; Medeiros, W.E.; Brito Neves, B.B.; Balsamo, F.; Nogueira, F.C.C.; Dantas, E.L.; Andrades Filho, C. & Góes, A.M. 2014. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, 614: 78-90.
- Bezerra, F.H.R.; Takeya, M.K.; Sousa, M.O.L. & Nascimento, A.F. 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault. *Tectonophysics*, 430: 27-39.
- Brito Neves, B.B.; Mantovani, M.S.M.; Moraes, C.F. & Sigolo, J.B. 2008. As anomalias geológicas e geofísicas localizadas ao norte de Itapororoca (PB), Folha Guarabira. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1): 01 - 23.
- Bueno, G. V. 2004. Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 12: 203-229.
- Castro, D.L.; Bezerra, F.H.R. & Castelo Branco, R.M.G. 2008. Geophysical evidence of crustal-heterogeneity control of fault growth in the Neocomian Iguatu Basin, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 26: 271-285.
- Dantas, J.R.A. 1980. *Mapa geológico do Estado de Pernambuco*. DNPM, Brasília, 112p.
- Dickson, B. L. & Scott, K. M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics*, 17(2): 187-200.
- Feijó, F. P. 1994. Bacia Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1): 143 - 148.
- França, R. H. M.; Ferreira, V. P.; Bezerra, J. P. S. & Bionda, V. R. 2016. Contribuição da gamaespectrometria ao estudo da geologia do Batólito Águas Belas – Canindé: Região a norte de Santana do Ipanema, Alagoas. *Estudos Geológicos*, 26 (1): 38 - 50.
- Kegel, W. 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba. DNPM. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, 141: 1-41. (Publicação Interna, 141).
- Kegel, W., 1955. Geologia do fosfato de Pernambuco. DNPM. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, 157, (Publicação Interna 54).
- Keller, E.A. & Pinter, N. 1996. *Active Tectonics: earthquakes uplift and landscape*. New Jersey, Prentice Hall, 338 p.
- Kirkpatrick, J.D.; Bezerra, F.H.R.; Shipton, Z.K.; do Nascimento, A.F.; Pytharouli, S.I.; Lunn, R.J. & Soden, A.M. 2013. Scale-dependent influence of pre-existing basement shear zones on rift faulting: a case study from northeast Brazil. *Journal of Geologic Society*, 170: 237-247.
- Küchle, J. 2010. *Análise tectono-estratigráfica de bacias rifte*. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 186 p.
- Lima Filho, M.F. 1998. *Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco*. Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 139 p.
- Lima Filho, M.F.; Barbosa, J.A.; Neumann, V.H.M.L. & Souza, E.M. 2005. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, 2005, Curitiba. *Boletim de Resumos Expandidos*, Curitiba, SBG, p. 45-47.
- Lima Filho, M.F.; Barbosa, J.A. & Souza, E.M. 2006. Eventos tectônicos e sedimentares nas Bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a Bacia do rio Muni. *Revista de Geociências*, 25 (1): 117-126.
- Mabesoone, J.M. & Alheiros, M.M. 1988. Origem da bacia Sedimentar Costeira Pernambuco - Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, 18(4): 476-482.
- Mabesoone, J.M. & Alheiros, M.M. 1993. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw*, 71: 351-362
- Matos, R.M.D. 1999. History of the Northeast Brazilian Rift System: Kinematic implications for the breakup Brazil and West Africa. The oil and gas habitats of the South Atlantic. *Geological Society Special Publication*, 153: 55-73.
- Matos, R.M.D. 1992. The Northeastern Brazilian rift systems. *Tectonics*, 11: 766-791.
- Matos, R.M.D. 2000. Tectonic evolution of the equatorial South Atlantic. Atlantic Rifts and Continental Margins. In: Mohriak, W., Talwani, M. (Eds.), *Geophysical Monograph*, 115: 331-354
- Medeiros, V.C. 2004. *Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos Terrenos Piancó-Alto Brigida e Alto Pajeú, domínio estrutural da zona transversal, NE do Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 199 p.
- Morais, D.M.F. 2005. *Geologia da porção central da Sub-bacia de Olinda, Bacia da Paraíba*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Monografia de graduação, 55 p.
- Nascimento, M.A.L. 2003. *Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da província magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 235 p.
- Nóbrega, M.A.; Sá, J.M.; Bezerra, F.H.R.; Hadler Neto, J.C.; Iunes, P.J.; Guedes, S.; Tello Saenz, C.A.; Hackspacher, P.C. & Lima-Filho, F.P. 2005. The use of apatite fission

- track thermochronology to constrain fault movement and sedimentary basin evolution in northeastern Brazil. *Radiation Measurements*, 39: 627–633.
- Oliveira, M.M.F. 1978. *Estudos faciológicos da Formação Maria Farinha*. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 113 p.
- Oliveira, P.E. & Ramos J.R.A. 1956. *Geologia das quadriculas de Recife e Ponta das Pedras*. Rio de Janeiro, DNPM. 59 p. (Publicação Interna).
- Oliveira, R. G. 2008. *Arcabouço Geofísico, Isostasia e Causas do Magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de Sua Margem Continental (Nordeste do Brasil)*. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 411 p.
- Pollard, D.D.; Delaney, P.T.; Duffield, D.A.; Endo, E.T. & Okamura, A.T. 1983. Surface deformation in volcanic rift zones. *Tectonophysics*, 94: 541-584.
- Rossetti, D.F.; Bezerra, F.H.R.; Góes, A.M.; Valeriano, M.M.; Andrades-Filho, C.O.; Mittani, J.C.R.; Tatum, S.H. & Neves, B.B.B. 2011a. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: Landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 300: 191–204.
- Salamuni, E.; Ebert, H.D. & Hasui, Y. 2004. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, 34: 469-478.
- Santos E.J.; Fernandes P. R.; Pereira C. S.; Brito M. F. L.; Domingos N. R. R.; Silva E. P.; Oliveira R. G.; Araújo J. M. F.; Dantas C. E. O. & Silva R. C. 2016. *Carta Geológica Preliminar Projeto Rio Capibaribe 1:250.000* - Programa Geologia do Brasil, Projeto Rio Capibaribe. Estados de Pernambuco e Paraíba. Recife, Pernambuco.
- Santos, E. J. & Medeiros, W. C. 1999. Constraints from granitic plutonism on Proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (1): 73-84.
- Souza, E.M. 2006. *Estratigrafia da sequência clástica inferior (andares Coniaciano- Maastrichtiano Inferior) Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas*. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 350 p.
- Strecheisen A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12: 1-33.
- Strecheisen A.L. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. *Geologisches Rundschau*, 69: 194-207.
- Tinoco, I. M. 1971. *Foraminíferos e a passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco*. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 147 p.
- Topan, J. G. O. & Lima Filho, M. F. Estudo Aeromagnetométrico e Morfotectônico da Sub-Bacia Olinda, Bacia Paraíba, e do Embasamento Adjacente. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(3): 281-293
- Valença, L.M. 2014. -Folha Itamaracá SB.25-Y-C-VI, 1:100.000- Programa Geologia do Brasil, Contrato CPRM-UFPE-FADE N° 060/PR/08. 2014.
- Vila Nova, F. 2005. *Mapeamento geológico e estrutural da porção sul da Sub-bacia Olinda, Bacia da Paraíba*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Monografia de Graduação, 55 p.
- White, R. & McKenzie, D.P. 1989. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94: 7685-7729.
- Yoder, H.S. & Tilley, C.E. 1962. Origin of basalt magmas; an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Journal of Petrology*, 3(3): 342-529.