



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGD

**FALHAS SISMOGÊNICAS NO GRANITO MERUOCA, SOBRAL, CEARÁ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 288

**ANA CATARINA DE ALMEIDA MOURA**

**ORIENTADOR: REINHARDT A. FUCK**

**CO-ORIENTADOR: FRANCISCO HILÁRIO REGO BEZERRA**

Brasília, 2012.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGD

**FALHAS SISMOGÊNICAS NO GRANITO MERUOCA, SOBRAL, CEARÁ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 288

**ANA CATARINA DE ALMEIDA MOURA**

**Área de Concentração:** Geologia Regional

**Orientador:** REINHARDT A. FUCK

**Co-Orientador:** FRANCISCO HILÁRIO REGO BEZERRA

**Membros da Banca Examinadora:**

Ticiano José Saraiva dos Santos – UNICAMP

Reinhardt Adolfo Fuck – UnB

Elton Luiz Dantas - UnB

06 de fevereiro de 2012

Brasília, DF.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a receptividade de todos do Laboratório de Geocronologia, em especial ao Murilo, Jaqueline, Kátia, Giana e Marina.

Aos amigos Aureliano Nóbrega, pela ajuda em campo, Mariana Ferreira e Caroline Gomide pela ajuda com a preparação das seções delgadas, à Lindaray Sousa pelas dúvidas tiradas nas descrições das lâminas delgadas e Alan Constantino pela ajuda nas figuras.

Ao meu marido, Ângelo Pinheiro, pelo incansável estímulo e apoio incondicional à minha condição de estudante, sempre engrandecendo minhas atividades sem qualquer cobrança.

Aos Projetos Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Tectônicos - INCT-ET e Transbrasiliano, pelo financiamento de análises realizadas e viagens de campo.

Ao meu co-orientador, professor Hilário Bezerra, pela disponibilidade, pela energia e bom-humor no campo, além de paciência infinita. Mais do que co-orientador, Hilário se mostrou envolvido com minhas questões pessoais, o que fez dele mais do que “pai geológico”.

Ao meu orientador, professor Fuck, pela honra em ter me aceito como orientanda e pela acessibilidade, simplicidade e disponibilidade, embora sempre ocupado, em todas as conversas que tivemos. Seu gosto pelo que faz contagia os que a ele têm acesso e foi imprescindível para me manter motivada para a carreira acadêmica.

À Universidade de Brasília, pela estrutura e pelo corpo docente que ajudou na minha formação e ao CNPq pela bolsa concedida.

Aos demais familiares, amigos e colegas que participaram de forma direta ou indireta no dia-a-dia durante este percurso.

## RESUMO

Esta dissertação apresenta dados de mapeamento estrutural no Granito Meruoca, região de Sobral, Ceará. A integração de dados sismológicos, geofísicos e geoquímicos com o mapeamento estrutural traz maior confiabilidade complementando os dados simológicos registrados na região de estudo entre os anos de 2008 e 2010.

A região nordeste do Brasil, apesar de se encontrar na porção estável da plataforma Sul-Americana, registra importantes eventos sísmicos com relevante frequência, se tornando a porção mais sísmicamente ativa do Brasil. Dentro deste contexto, houve um aumento de estudos nas áreas de ocorrência de sismos, integrando principalmente dados sismológicos e estruturais afim de produzir maior quantidade de dados aprofundando os conhecimentos sobre os mecanismos focais existentes e a respeito dos modelos de sismicidade conhecidos.

Este trabalho traz dados sismológicos de hipocentros e mecanismos focais para os sismos registrados no período de monitoramento, correlacionando-os com dados de campo. Os resultados mostram que a falha sismogênica responsável pelos sismos ocorridos recentemente é a Falha Riacho Fundo, de direção E-W que corta o Granito Meruoca. Ao contrário do esperado, considerando a bibliografia internacional, a grande estrutura regional de orientação NE, Lineamento Transbrasiliano, não tem história de reativação recente e não tem relação direta com os sismos registrados.

O trabalho encaixa o caso estudado à classificação de falhas ativas no nordeste do Brasil, realizado por Bezerra *et al.*, (2011). Diferindo do caso do Lineamento Pernambuco, onde a grande estrutura é reativada e se comporta como uma grande zona de fraqueza, e do caso de Augusto Severo e Palhano, onde a falha sismogênica não coincide com estruturas pre-existentes, a Falha Riacho Fundo no Granito Meruoca se assemelha ao caso da falha de Samambaia, na Bacia Potiguar, onde estruturas frágeis possuem mesma orientação das falhas sismogênicas.

Estudos de neotectônica são de extrema importância para monitorar os casos já estudados e completar lacunas necessárias para o entendimento de falhas ativas na região nordeste como um todo.

## ABSTRACT

This thesis presents a structural mapping in Meruoca Granite, Sobral, Ceará. Joining seismological, geophysical and geochemical data, the structural mapping provides greater reliability complementing seismological data recorded in the study area between 2008 and 2010.

The northeastern of Brazil, despite being in a stable portion of the South American platform, records significant seismic events in a significant frequency, becoming the most seismically active portion of Brazil. Because of this, increased the number of studied in seismic areas, especially integrating structural and seismological data in order to increase the data to get to know better about seismicity models.

This work brings seismological data of hipocenters and focal mechanisms of the earthquakes recorded in the monitoring period and associate them with field and geophysical data. Build in an article model for periodics, the results shows that the seismogenic fault that has been causing earthquakes is the E-W trending Riacho Fundo fault that cuts the Meruoca Granite. Contrary to expectations, the main shear zone NE trending called Transbrasiliano lineament has no recent reactivation record, so it does not have a link with recent earthquakes.

This work put the case studies in the classification context of active faults in northeastern Brasil (Bezerra et al., 2011). Unlike the Pernambuco lineament case where the main regional structure is active and correspond to the local weak zone, and Augusto Severo and Palhano cases where the seismogenic fault does not coincide with pre-existing structures, the Riacho Fundo seismogenic fault in the Meruoca granite is similar to the Samambaia fault case, in Potiguar Basin, where local brittle structures has the same trend of the seismogenic fault.

Neotectonic studies are extremely important to study the seismic zones and answer the questions about the understanding of active faults in the northeast region of Brazil.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	01
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	02
A SISMICIDADE EM ÁREAS CONTINENTAIS ESTÁVEIS.....	02
OBJETIVOS.....	04
ÁREA DE ESTUDO.....	04
METODOLOGIA.....	05
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	07
<b>GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	08
PROVÍNCIA BORBOREMA.....	08
DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ.....	10
BACIA JAIBARAS.....	13
GRANITO MERUOCA.....	14
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	16
<b>Seismogenic faulting in the Meruoca Granite, Borborema Province, Brazil</b> .....	17
Abstract.....	17
Introduction.....	17
Sismotectonic Setting.....	19
Methods.....	23
Results.....	24
Discussion and Conclusion.....	30
References.....	31
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	36
<b>DISCUSSÃO E CONCLUSÕES</b> .....	37
<b>Referências</b> .....	40
<b>Anexos</b> .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<p>Figura 1.1 – Em A, mapa do Brasil tendo em destaque o Estado do Ceará. Acima, em amarelo, a porção representada na figura B. Em B, mapa de estradas do noroeste do Ceará, mostrando em azul o trajeto de Fortaleza (A) a Sobral (B). Fonte: Google Maps.....</p> <p>Figura 2.1 – Mapa da Província Borborema dividida em domínios e terrenos tectono-estratigráficos. Modificado de Santos e Medeiros (1999) e Santos (2000). DMC - Domínio Médio Coreaú, TAC – Terreno Acaraú, TCC – Terreno Ceará Central, TBN – Terreno Banabuiú, TOJ – Terreno Orós-Jaguaribe, ZCP – Zona de Cisalhamento Portalegre TJC – Terreno São José do Campestre, TGJ – Terreno Granjeiro, TRP – Terreno Rio Piranhas, TSD – Terreno Seridó, TBP – Terreno Piancó Alto-Brígida, TAP – Terreno Alto Pajeú, TAM – Terreno Alto Moxotó, TRC – Terreno Rio Capibaribe, TBS – Terreno Brejo Seco, TSE – Terreno Sergipano, TMO – Terreno Monte Orebe, TPO – Terreno Riacho do Pontal, TCM – Terreno Canindé-Marancó, TPA – Terreno Pernambuco Alagoas, LT, Lineamento Transbrasiliano, LJT – Lineamento Jaguaribe-Tatajuba, LP – Lineamento Patos, LPE – Lineamento Pernambuco, CSF – Cráton São Francisco.....</p> <p>Figura 2.2 – Domínio Médio Coreaú mostrando zonas de cisalhamento e unidades litológicas. Modificado de Oliveira e Mohriak (2003).....</p> <p>Figura 2.3 – Imagem SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) do Granito Meruoca e entorno.....</p> <p>Figure 1 - Stable continental South-American platform with earthquake occurrences. Modified from Assumpção (1998) and Cordani (2009). BP- Borborema Province; SFC-São Francisco Craton; SLC- São Luiz Craton; PaB- Parnaíba Basin; AB- Andes Belt.....</p> <p>Figure 2 - Borborema Province with structural compartments. Simplified from Bizzi <i>et al.</i> (2003).....</p> <p>Figure 3 - Médio Coreaú Domain with lithological and structural compartments. After: CPRM 2011. <a href="http://www.geobank.sa.cprm.gov.br">www.geobank.sa.cprm.gov.br</a>.....</p> <p>Figure 4 – (A) SRTM map of hypocenter location (yellow circles), (B) parallel and (C) perpendicular to fault plane. The origin of B and C graphics is the intersection of black arrows in A. Red triangles are seismographic stations. Modified from Oliveira <i>et al.</i> (2010).....</p> <p>Figure 5 – Map of gammaspectrometric anomaly showing low values in the Boqueirão valley.....</p> <p>Figure 6 – Photos and sketches of faults in Boqueirão valley. A, B and C, D represent NE faults intersected by NW faults, both filled with opaque material/iron oxide. E, F show an E-W-trending basalt dike.....</p>	<p>05</p> <p>09</p> <p>11</p> <p>14</p> <p>19</p> <p>20</p> <p>21</p> <p>25</p> <p>26</p> <p>27</p>
---	---

Figure 7 - Paleostress diagrams for the most frequent faults, E-W and NW-SE faults.....	28
Figure 8 – Photos of thin sections showing sharp contact between the rock and the vein (Fe oxide) and angular clasts of quartz and feldspar of NW faults – N//. K-F- feldspar, Qz-quartz.....	29
Figure 9 – Texture of thin sections in microprobe BSE photos. The red narrow indicates de sense of flow. K-F- feldspar, Qz- quartz.....	29



## **CAPÍTULO 1**

## INTRODUÇÃO

### A SISMICIDADE EM ÁREAS CONTINENTAIS ESTÁVEIS

Apesar de se encontrar na porção estável da Plataforma Sul-Americana, o nordeste do Brasil registra importantes eventos sísmicos com relatos históricos a partir do século XVII. Na região ocorrem desde tremores de terra imperceptíveis à população, até eventos da ordem de 5.2  $m_b$  que ocasionam danos nas construções e fuga em massa da população das regiões epicentrais.

Com uma frequência bastante relevante de registros sísmicos, a região nordeste é considerada a mais sismicamente ativa do Brasil (Berrocal *et al.*, 1984; Bezerra *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 1998, 2008). Atualmente monitorada desde a sua porção noroeste (Granito Meruoca) até o centro-sul (Lineamento Pernambuco), os registros obtidos tem ajudado os pesquisadores a classificar padrões de sismicidade com diferentes contextos tectônicos e estruturais.

Os relatos históricos (Ferreira *et al.*, 2008) indicam que sismicidade é conhecida na região desde 1666, quando um possível tsunami ocorreu na região do Recôncavo, próximo a Salvador, Bahia. Existe dúvida, entretanto, sobre a origem deste evento. A mesma região sofreu tremores no dia 4 de janeiro de 1724, configurando o primeiro registro sísmico confirmado no Brasil. Outro evento histórico ocorreu em 1808 na região de Açú, Rio Grande do Norte, com magnitude estimada em 3,8  $m_b$  (Ferreira, 1983; Berrocal *et al.*, 1984). A região de Caruaru em Pernambuco também registra atividade sísmica antiga. Datando de 1967, um tremor de terra provocou pânico na população, e um tremor mais importante (3,8  $m_b$ ) ocorreu em 1984.

Nos anos 1980 iniciou-se monitoramento instrumental sistemático que tornou-se cada vez mais abrangente com o passar dos anos. No período de 1986 a 1994 ocorreu o primeiro monitoramento de dados sismológicos na região de João Câmara (magnitude máxima de 5,1  $m_b$ ). Este é o mais completo monitoramento sismológico da porção intraplaca da América do Sul (Ferreira *et al.*, 2008). Estes estudos, realizados na região de João Câmara (RN), proveram importantes características dos eventos ocorridos na região, como: enxames de tremores podem durar vários anos, podem ocorrer a até 12 km de profundidade e em muitos casos os pontos epicentrais coincidem com os planos nodais provenientes dos mecanismos focais.

Em seu recente trabalho de revisão das falhas ativas na Província Borborema, Bezerra *et al.* (2011) classificam as falhas ativas no nordeste associadas a sismicidade natural em três categorias: (1) falhas que reativam estruturas pré-existentes, como zonas de cisalhamento; (2)

falhas que coincidem com a foliação regional ou remobilizações como veios de quartzo; e (3) falhas que truncam estruturas pré-existentes. Na primeira categoria se encontra o Lineamento Pernambuco, o único caso de reativação de zona de cisalhamento até então comprovado. A sismicidade ao longo do lineamento é conhecida desde 1811 e dados instrumentais têm sido registrados desde 1967 (Ferreira e Assumpção, 1983). Os mecanismos focais para os eventos registrados são coerentes com a compressão E-W e extensão N-S, conforme o padrão regional. No segundo padrão de classificação está incluída a falha de Samambaia, na porção leste da Bacia Potiguar. A falha é representada por veios de quartzo e calcedônia de direção NE, coerente com a foliação do embasamento migmatítico regional (Bezerra *et al.*, 2011). A atividade sísmica ocorre desde o início do século XX, tendo sido registrada em 1950-1954 e 1983. A sequência de tremores ocorridos entre 1986-1994 gerou 14 sismos de  $m_b > 4,0$  e dois deles de 5,1 e 5,0  $m_b$  (Takeya *et al.*, 1989). Dados mais precisos sobre a sismicidade em questão foram publicados por Bezerra *et al.* (2007) a partir de registros realizados entre maio de 1987 e abril de 1988 com erros horizontais e verticais menores que os estudos anteriores, possibilitados por melhor arranjo da rede sismográfica. A sequência de tremores de Augusto Severo também se encaixa nesta classificação, sendo porém relacionada a uma falha menos investigada. O terceiro caso de sismicidade é classificado como resultante de falhas que não coincidem com as estruturas pré-existentes. Neste caso está a sismicidade da região de Cascavel (CE), na porção oeste da Bacia Potiguar, onde o evento máximo registrado foi de 5,2  $m_b$  em novembro de 1980. Outro caso é o de Palhano, também na porção oeste da Bacia Potiguar, onde o maior evento ocorreu em março de 1989, com magnitude de 4,5  $m_b$  (Assumpção *et al.*, 1989).

O caso aqui estudado é o da serra da Meruoca, na borda da Bacia Jaibaras, onde o maior evento registrado foi de 4,2  $m_b$  em maio de 2008, atribuído a uma falha E-W, identificada por mecanismos focais e alinhamento dos sismos (Oliveira *et al.*, 2010). Desde então ainda ocorrem tremores na região.

De forma geral, nas regiões até então estudadas no nordeste do Brasil, não foram documentadas falhas de superfície que tenham relação com os eventos históricos ou instrumentais conhecidos (Ferreira *et al.* 1998). Ainda, em muitos casos, a atividade sísmica registrada não tem correlação com falhas mapeadas na superfície (Bezerra *et al.*, 2006), o que vem sendo comprovado por trabalhos que trazem dados de mecanismos focais. Porém, mostraremos no Capítulo 3 que a falha sismogênica Riacho Fundo tem uma correlação com o vale do rio Boqueirão que corta o Granito Meruoca na direção E-W, contrariando o modelo de falhas ativas até então estudadas na Província Borborema.

Neste contexto, o presente trabalho traz contribuições para dois grandes projetos de pesquisa em execução. O projeto do INCT-ET - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Tectônicos investiga a natureza e a deformação da litosfera na Província Borborema, realizando estudos de sismicidade e perigo sísmico, além de neotectônica, que abrangem a

região de Sobral, no Ceará, área de estudo do presente trabalho. O Projeto Transbrasiliiano, por sua vez, financiado pela Petrobras, investiga em diversos aspectos este Lineamento de expressão continental para entender sua gênese e evolução.

A partir dos estudos realizados na Província Borborema, foi possível encontrar diferentes tipos de padrões tectônicos/estruturais relacionados às áreas de frequente sismicidade. Na Província Borborema há um caso de sismicidade relacionado à reativação de lineamento, há casos de estruturas sismogênicas que coincidem com estruturas regionais pré-existentes e muitos casos de falhas sismogênicas que truncam importantes lineamentos (Bezerra *et al.*, 2011). Com o intuito de contribuir para o entendimento da sismicidade regional, foi investigado o caso do Granito Meruoca, visando caracterizar a sismicidade em sua área e classificá-lo em um dos padrões acima referidos.

## OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é caracterizar a sismicidade na região de Sobral (CE) e relacioná-la às estruturas geológicas mapeáveis no Granito Meruoca e seu entorno. Os objetivos específicos são os seguintes:

- o mapeamento das estruturas rúpteis no Granito Meruoca;
- a identificação dos tensores atuantes na principal família de falhas;
- a correlação dos dados de campo com os dados sismológicos já produzidos;
- a determinação da falha sismogênica causadora dos sismos;
- análise geoquímica e de microsonda.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no noroeste do Ceará (Figura 1.1), na região de Sobral. Em uma distância de aproximadamente 230 km, o percurso de Fortaleza a Sobral é iniciado pela BR – 020, seguindo pela BR – 222, por aproximadamente 200km.

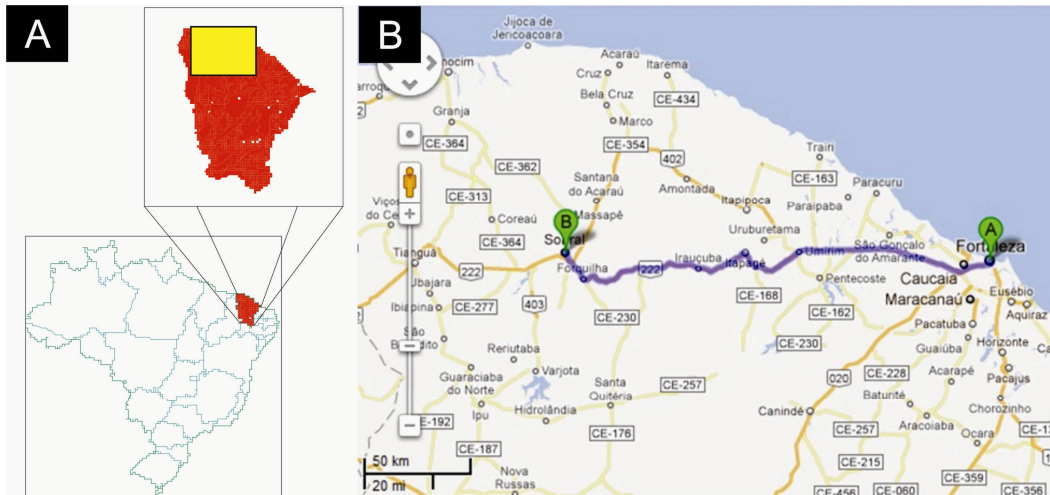


Figura 1.1 – Em A, mapa do Brasil tendo em destaque o Estado do Ceará. Acima, em amarelo, a porção representada na figura B. Em B, mapa de estradas do noroeste do Ceará, mostrando em azul o trajeto de Fortaleza (A) a Sobral (B). Fonte: Google Maps.

A partir de Sobral, o trajeto até o granito Meruoca se dá pela saída a norte da cidade, por via asfaltada que leva à Serra da Meruoca. A partir da via asfaltada, uma estrada de terra à esquerda permite o caminhamento pela fratura E-W que corta o granito na sua porção centro-sul, onde se localiza a grande maioria dos afloramentos.

## METODOLOGIA

A metodologia do trabalho inicia-se pela escolha de imagens de satélite e fotografias aéreas para a delimitação da área de estudo e conhecimento dos caminhamentos a serem percorridos e lineamentos a serem verificados. Foram confeccionados mapas de lineamentos e caminhamentos para facilitar o trabalho de campo.

Foi levado em consideração o trabalho de Oliveira *et al.* (2010) como ponto de partida para a análise e comparação dos dados de localização dos sismos e mecanismos focais com a realidade encontrada em campo, afim de determinar ou não, a reativação do Lineamento Transbrasileiro na localidade em questão.

Em campo foram realizadas estações em afloramentos para descrição das estruturas e tomados os parâmetros de bússola. Foram realizadas duas campanhas de uma semana cada, em abril e novembro de 2010, totalizando 79 afloramentos.

Como trabalho de escritório foram preparadas amostras para confecção de seções delgadas para descrição em microscópio óptico e de varredura e para a melhor caracterização das falhas em escala de detalhe e determinação da química dos veios de preenchimento das falhas.

O equipamento utilizado para a análise semi-quantitativa realizada no Centro de Tecnologia do Gás em Natal, RN foi SEM SSX – 550 SHIMADZU, empregando o método EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*), sendo obtidos gráficos demonstrativos de proporção dos elementos químicos. Análises de microsonda, realizadas na Universidade de Brasília com o equipamento JEOL Superprobe JXA-8230, possibilitaram determinar a composição química e mineralógica dos pontos escolhidos para análise.

## **CAPÍTULO 2**

## GEOLOGIA REGIONAL

### PROVÍNCIA BORBOREMA

A Província Borborema (Almeida *et al.*, 1981), localizada no nordeste da Placa Sul-Americana, compreende uma área de 450.000 km<sup>2</sup> (Brito Neves *et al.*, 2000). Sua configuração atual é devida à colisão dos crátons São Luis-Oeste África, São Francisco-Congo e Amazônico, durante o amálgama de Gondwana Ocidental, por volta de 600 Ma, em consequência da orogenia Brasileira/Pan-Africana (Brito Neves e Cordani, 1991) e à ruptura de Pangea e abertura do Oceano Atlântico Sul no Cretáceo.

A geologia da Província Borborema é caracterizada por embasamento gnáissico-migmatítico, rochas supracrustais metamorizadas e deformadas, plutons graníticos brasileiros e bacias sedimentares costeiras e interiores. Zonas de cisalhamento de extensão continental compartimentam a Província Borborema em três domínios principais (Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves *et al.*, 2000): Sul, localizado a sul do Lineamento Pernambuco; Transversal, entre os lineamentos Pernambuco e Patos; e Norte, localizado a norte do Lineamento Patos. Este, por sua vez, é subdividido em três subdomínios: Rio Grande do Norte, localizado a leste, limitado com o Domínio Ceará Central pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (Brito Neves *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2004) ou pela zona de cisalhamento Portalegre (Arthaud *et al.*, 2008); o limite entre o Ceará Central e o Domínio Médio Coreaú se dá pelo Lineamento Transbrasiliano, tido como sutura (Arthaud *et al.*, 2008), que se estende ao continente Africano, onde é denominado Kandi ou 4°50.

A figura a seguir (Figura 2.1) mostra os três domínios da Província Borborema e os subdomínios subdivididos em terrenos tectono-estratigráficos. Esta figura apresenta como divisão dos subdomínios Ceará Central e Rio Grande do Norte a Zona de Cisalhamento Portalegre.



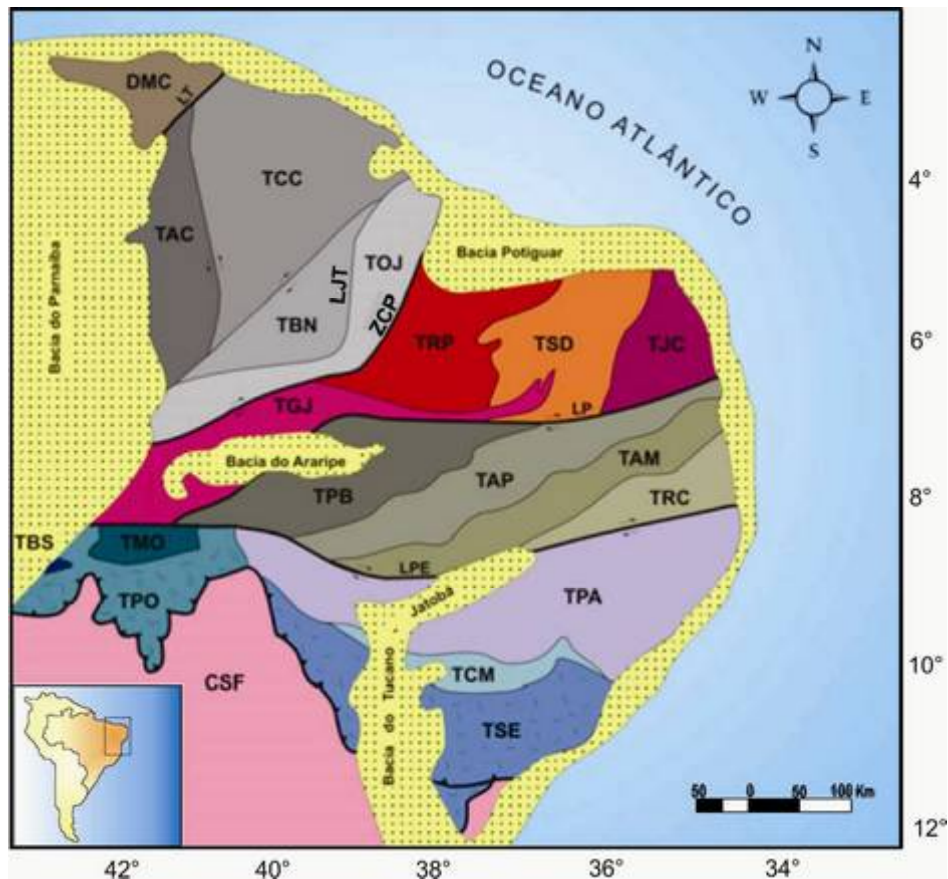


Figura 2.1 – Mapa da Província Borborema dividida em domínios e terrenos tectono-estratigráficos. Modificado de Santos e Medeiros (1999) e Santos (2000). DMC - Domínio Médio Coreaú, TAC – Terreno Acaraú, TCC – Terreno Ceará Central, TBN – Terreno Banabuiú, TOJ – Terreno Orós-Jaguaribe, ZCP – Zona de Cisalhamento Portalegre TJC – Terreno São José do Campestre, TGJ – Terreno Granjeiro, TRP – Terreno Rio Piranhas, TSD – Terreno Seridó, TBP – Terreno Piancó Alto-Brígida, TAP – Terreno Alto Pajeú, TAM – Terreno Alto Moxotó, TRC – Terreno Rio Capibaribe, TBS – Terreno Brejo Seco, TSE – Terreno Sergipano, TMO – Terreno Monte Orebe, TPO – Terreno Riacho do Pontal, TCM – Terreno Canindé-Marancó, TPA – Terreno Pernambuco Alagoas, LT, Lineamento Transbrasiliiano, LJ – Lineamento Jaguaribe-Tatajuba, LP – Lineamento Patos, LPE – Lineamento Pernambuco, CSF – Cráton São Francisco.

A atividade tectônica ao longo dos lineamentos ocorreu em profundidades rasas durante o Cambriano-Ordoviciano e até mesmo durante o Devoniano, que é o caso do Lineamento Transbrasiliiano (Destro *et al.*, 1994, Arthaud *et al.*, 2008). Essas reativações são fortes candidatas à geração de sismos.

Há vários tipos de bacias sedimentares na Província Borborema, e vários modelos explicam sua origem e evolução. Entre eles tem-se grabens com preenchimento molássico ou

vulcanossedimentar, bacias *pull-apart*, de extrusão ou ativadas por processo de rifteamento. Recentemente foram reconhecidas duas fases transtensionais, uma responsável pela formação e outra pela modificação das bacias acompanhadas ou não por vulcanismo bimodal, permitindo a sua classificação em bacias de transtensão ou transcorrência com movimentação/deslocamento oblíquo. (ver Arthaud *et al.*, 2008 e referências ali contidas).

## DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ

Uma grande revisão de trabalhos publicados sobre a geologia desta porção da Província Borborema realizada por Torquato (1995), traz desde publicações mais antigas até o ano de sua publicação, relatando trabalhos de diversos autores e atualizando de forma cronológica a estratigrafia e tectônica por eles descritas. O trabalho traz o surgimento, desaparecimento e fusão de unidades geológicas, assim como quadros comparativos que ilustram muito bem a evolução cronológica das mudanças na estratigrafia e tectônica. Para uma melhor clareza e objetividade, segue abaixo as publicações mais recentes, e as antigas que não sofreram alterações, sobre a geologia regional.

O Domínio Médio Coreaú consiste em embasamento cristalino composto por gnaisses, migmatitos e granulitos paleoproterozóicos sobrepostos por sequências supracrustais *tardi* paleoproterozóicas e neoproterozóicas e intrudidos por plutons graníticos brasileiros e anorogênicos (Figura 2.2).

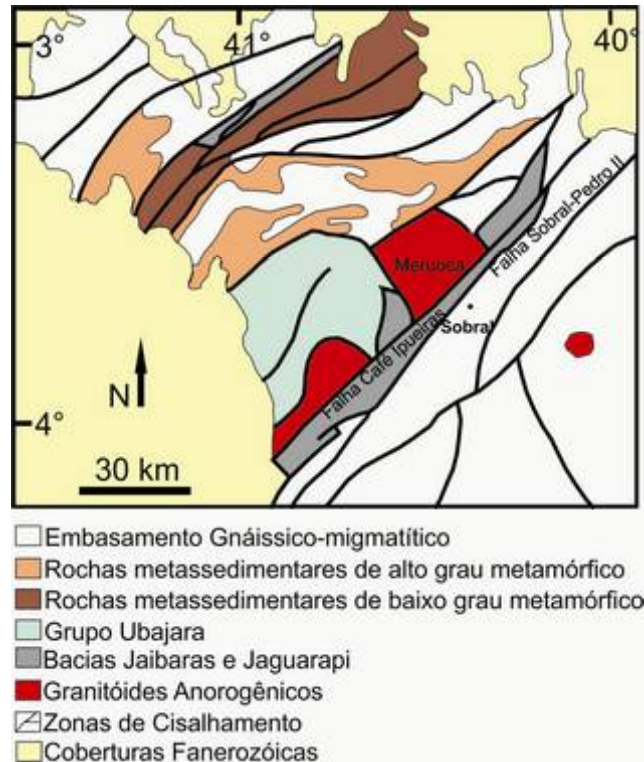


Figura 2.2 – Domínio Médio Coreaú mostrando zonas de cisalhamento e unidades litológicas.

Modificado de Oliveira e Mohriak (2003).

Os gnaisses do embasamento são incluídos no Maciço Granja, um complexo de alto grau metamórfico composto principalmente por ortognaisses com afinidade TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito), além de gnaisses de fácies anfíbolito, anfíbolitos, leucogranitos, granulitos máficos e enderbitos, leptinitos, kinzigitos e migmatitos (Santos *et al.*, 2001). Dados isotópicos U-Pb e Sm-Nd dessas rochas comprovam que os gnaisses têm idade paleoproterozóica e representam formação de crosta juvenil em 2,3-2,4 Ma (Fetter *et al.*, 1995, 2000; Santos, 1999).

Sobre o Maciço Granja expõem-se as rochas supracrustais do Grupo Martinópolis que compreende principalmente rochas metassedimentares de granulometria fina (Santos *et al.*, 2009). A idade deposicional do Grupo Martinópolis foi estabelecida em  $777 \pm 11$  (U-Pb em zircão, Fetter *et al.*, 2003). O Grupo Ubajara, Neoproterozóico, é uma bacia metamorfizada em fácies xisto verde que compreende ardósia, siltito, arenito, carbonato e gravaca. Adjacente a unidades do Grupo Ubajara, a Sequência Vulcânica Saquinho, datada em  $1785 \pm 2$  Ma, compreende rochas vulcânicas intermediárias a félsicas. Ela é interpretada como um evento extensional ocorrido em toda a América do Sul em 1.7-1.8 Ga (Santos *et al.*, 2002, 2009).

Quatro eventos deformacionais foram identificados nas rochas do Domínio Médio Coreaú (Santos *et al.*, 2004). O evento D1 afetou as rochas do Maciço Granja e se

desenvolveu durante o Paleoproterozóico (2.2 – 2.0 Ga). O *fabric* D1 está impresso como foliação de baixo ângulo, mergulhando para SE, subparalela a S2 e dobrada por F2. O evento D2, por sua vez, foi desenvolvido em facies anfíbolito e está impresso nas rochas do Maciço Granja, nos grupos Martinópole e Ubajara e na Sequência Vulcânica Saquinho, sendo no Grupo Ubajara e na Sequência Saquinho em condições metamórficas mais baixas que nas unidades anteriores. O evento é caracterizado por foliação de médio a baixo ângulo, mergulhando para SE e lineação de estiramento com caimento para NE ou SE. A compressão NW atuante neste evento formou dobras com orientação NE-SW e texturas miloníticas a ultramiloníticas. A tectônica de empurrão foi responsável pelo empilhamento da base para o topo do Maciço Granja e grupos Martinópole e Ubajara. O evento deformacional D3, tido como continuação de D2 (Santos *et al.*, 2004), consiste basicamente em tectônica tangencial que gerou foliação S3, subvertical, com direção NE-SW a E-W e lineação L3 de mesma direção e baixo mergulho. Esta foliação é bem marcada nos filitos e xistos das formações Santa Terezinha e Covão. Importantes zonas de cisalhamento desenvolvidas durante o evento D3 mostram indicadores de cinemática dextral. O último evento deformacional, D4, é uma fase ductil-rúptil referente a movimentos transpressionais. Sua melhor visualização se dá em quartzito do Grupo Martinópole onde é caracterizado por fraturas espaçadas (Santos *et al.*, 2004).

Com base em datações de algumas unidades e principalmente de plutons graníticos realizadas por Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2000; 2003), Santos *et al.* (2004) atribuíram ao evento deformacional D2 o período de tempo entre 620 e 590 Ma. A datação de plutons graníticos que se alojaram durante a tectônica transcorrente evidenciam o período do evento deformacional D3. Levando em consideração essas datações (Fetter, 1999; Guimarães *et al.*, 2000), o evento D3 perdurou entre 590 e 560 Ma. Se considerado o evento D4 de transpressão, o evento pode ter durado até ca. 565 – 555 Ma (Santos *et al.*, 2004). No entanto, idades de resfriamento de minerais obtidas por Monié *et al.* (1997) sugerem que a movimentação das zonas de cisalhamento tenha cessado antes de 532 Ma, idade de alojamento dos plutons pós-tectônicos ao longo do Lineamento Transbrasiliano.

Quatro plutons graníticos são expostos no Domínio Médio Coreaú. Os granitos Chaval e Tucunduba foram afetados pela orogenia Brasileira. O granito Chaval ocorre na porção NW do DMC e é coberto por sedimentos da Bacia do Parnaíba. Sua idade de cristalização é  $591 \pm 10$  Ma (Fetter *et al.*, 2000). O granito Tucunduba apresenta um padrão de deformação transcorrente orientado NE-SW e seu alojamento foi sin-D3 ( $563 \pm 17$  Ma, Santos *et al.*, 2007). Os granitos Mucambo e Meruoca estão intimamente ligados à Bacia Jaibaras. A idade de cristalização do Granito Mucambo (U-Pb em zircão) foi determinada em  $532 \pm 7$  Ma (Santos *et al.*, 2008), enquanto o Granito Meruoca foi datado em  $523 \pm 9$  Ma (Archanjo *et al.*, 2009).

## BACIA JAIBARAS

A Bacia Jaibaras, com sedimentos siliciclásticos imaturos e rochas vulcanoclásticas de idade eopaleozóica foi gerada pela reativação do Lineamento Transbrasiliano em estágio de rifteamento atribuído ao desenvolvimento da Bacia do Parnaíba (Oliveira e Mohriak, 2003).

O preenchimento da Bacia tem início com o Grupo Ubajara, composto por rochas carbonáticas metamorfizadas, constituindo a sequência pré-rifte. Provavelmente o preenchimento axial da bacia deu-se pela sedimentação de folhelhos e arenitos, enquanto na borda ocorreram conglomerados típicos de leques aluviais das unidades sin-rift (Oliveira e Mohriak, 2003).

As unidades sin-rift da Bacia são:

- Formação Massapê: unidade basal composta por conglomerados polimíticos e arenitos grossos com estruturas de fluxo de detrito depositadas em leques aluviais (Mabesoone *et al.* 1971, Danni 1972, Costa *et al.* 1979, Mello 1978).
- Formação Pacujá: representa a porção distal da Formação Massapê (Gorayeb *et al.*, 1988). Consiste em arenitos marrom-avermelhados de granulação fina a grossa, siltitos e folhelhos. Na porção central da bacia predominam fácies pelíticas.
- Formação Aprazível: representa o topo da sequência e consiste em conglomerados polimíticos com a presença de clastos dos plutons Mucambo e Meruoca e da Suíte Parapuí, além de fragmentos das Formações Massapê e Pacujá.

As atividades magmáticas reconhecidas na Bacia Jaibaras são representadas pelo Enxame de diques Coreaú, plutons Mucambo e Meruoca e derrames basálticos, sills e diques da suíte Parapuí (Oliveira e Morhiak, 2003):

- O Enxame de diques Coreaú é caracterizado por diques paralelos de orientação ENE-WSW que penetram rochas metassedimentares do Grupo Ubajara, aflorando próximo ao pluton Meruoca, a oeste da Bacia Jaibaras. Os diques são compostos por microgranitos e riolitos/dacitos com textura porfirítica.
- O pluton Mucambo localiza-se a sudoeste da bacia e seu contato com as rochas que o circundam é abrupto e discordante. A oeste apresenta auréolas de contato junto às rochas metassedimentares do Grupo Ubajara e, a leste, uma falha representa o contato com as rochas da Bacia Jaibaras.
- O pluton Meruoca se localiza mais a nordeste que o anterior, tem forma quadrada e seu contato com as rochas vizinhas se dá por falhamentos e zonas de cisalhamento.
- As rochas vulcânicas da suíte Parapuí afloram como derrames basálticos e alcançam até 350 metros de espessura. Podem também ocorrer em forma de diques, sem orientação preferencial e em forma de sills intercamadados com rochas siliciclásticas

das Formações Massapê e Pacujá, o que as caracteriza como típica sequência vulcanossedimentar.

A evolução dos eventos magmáticos se deu em quatro fases distintas: o enxame de diques Coreaú representa a fase de abertura do rifte, como primeiro pulso tectônico. Com a continuação do rifteamento, a reativação de profundas zonas de cisalhamento permitiu o alojamento do pluton Mucambo em  $532 \pm 7$  Ma (Fetter et al., 1997). O alojamento do pluton Meruoca ocorreu em  $523 \pm 9$  Ma (Archanjo et al., 2009), que pode ter sido alojado após ou pode ser considerado contemporâneo ao Mucambo. Em seguida ocorreu vulcanismo em grande volume, composto por derrames basálticos, diques e sills da Suíte Parapuí.

### GRANITO MERUOCA

O pluton Meruoca, descrito desde 1978 por Sial e Long com análise petrográfica, isotópica e tentativa de datação, vem sendo estudado com enfoque petrográfico, econômico e tectônico até os dias atuais (Figura 2.3).

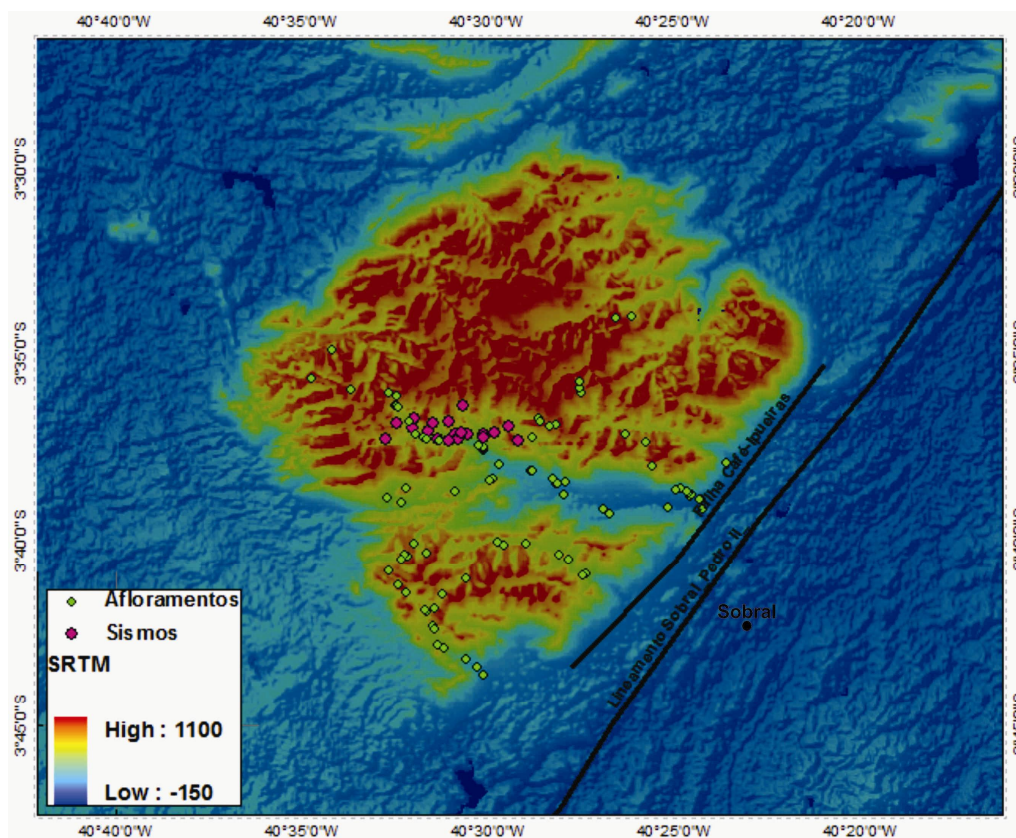


Figura 2.3 – Imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Granito Meruoca e entorno.

Meruoca é um pluton granítico, alcalino a peralcalino. Entre os tipos petrográficos ocorrem alcali-feldspato granitos, na borda leste e sudeste, sienogranitos na porção central e faialita-hornblenda-biotita granito na porção norte (Parente *et al.*, 2011). Sial e Long (1981) sugerem que grandes áreas caracterizadas por feldspato vermelho tijolo são resultado de alteração hidrotermal. Ocorrem ainda gabros na porção centro-sul do granito (Gonçalves, 2006, Pedroza *et al.*, 2011).

A porção afetada pela alteração hidrotermal localiza-se no centro-sul do pluton e é mais acentuada na porção SE, onde o mesmo faz contato com a falha Café-Ipueira, adjacente ao Lineamento Transbrasiliano. Nessa porção é encontrada a maioria das estruturas rúpteis existentes no pluton, sendo, portanto, o foco deste estudo.

As estruturas mapeadas são falhas ocorridas em eventos rúpteis e profundidades diferentes. Grande parte das estruturas mapeadas e descritas no Capítulo 3 é representada por falhas preenchidas por material escuro, caracterizado por Parente *et al.* (2011) como brechas hidrotermalizadas ricas em hematita e magnetita pobres em Ti, configurando um depósito do tipo IOCG (*Iron Oxide-Copper-Gold*), além de serem coerentes com a orientação de compressão WNW-ESE relatado por Destro *et al.* 1994.

## CAPÍTULO 3



## Seismogenic faulting in the Meruoca granite, Borborema Province, Brazil

Ana C. A. Moura<sup>1\*</sup>, Paulo H. S. Oliveira<sup>2</sup>, et al.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade de Brasília

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

[\\*anacatarina@unb.br](mailto:anacatarina@unb.br), (61) 3307-1113.

### Abstract

A large number of earthquakes of up to 5.2  $m_b$  have occurred in the last 200 years in the Borborema Province, northeast Brazil. This geological province is a mosaic of folded inliers deformed at 750–540 Ma. The region is now a stable continental region. A swarm of earthquakes occurred in 2008 in the Meruoca pluton, located in the northwestern part of Borborema Province. A seismological study defined the seismic activity occurring along the Riacho Fundo fault, a 081-trending, 8 km deep structure. The objective of this study is to analyze the correlation between this seismic activity and geological structures in the Meruoca granite. We carried out geological mapping at the epicentral area, analyzed the mineralogy of fault rocks, and compared the Riacho Fundo fault with the aeromagnetic anomalies in the region. We concluded that the seismogenic fault coincides with E–W-trending faults observed at the outcrop scale and a swarm of Cretaceous basalt dikes. These structures are marked by low amplitude aeromagnetic anomalies. We propose that seismicity reactivated brittle structures in the Meruoca granite.

### Introduction

The mechanisms of seismicity in stable continental interiors are not as well understood as those of plate boundaries. One of the most common explanations for earthquakes in stable continental regions is the reactivation of preexisting zones of weakness (Sykes, 1978; Scholz,

1998). Several studies show that structural reactivation plays an important role in the seismogenic faulting, but others indicate that reactivation is not the main cause and propose other explanations such as thermal effect (e.g., Sandiford and Egholm, 2008). Therefore, the understanding of the relationship between seismicity and major structures in stable continental interiors is still pending in many areas.

The relation between seismicity and preexisting structures is complex in the Borborema Province, northeast Brazil, the most seismically active area in the South American stable continental interior, the so-called South American platform. Seismogenic faults either reactivate or cut across preexisting structures (Bezerra *et al.*, 2011). For example, Ferreira *et al.* (2008) and Lopes *et al.* (2010) concluded that the seismicity in the Caruaru and Belo Jardim areas reactivated the Pernambuco lineament, a continental-scale ductile shear zone, established at the end of the Neoproterozoic Brasiliano orogeny (Brito Neves *et al.*, 2000). By contrast, seismicity at the Palhano area cuts across the NE-trending Precambrian fabric (Bezerra *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 1998).

The present study investigates the relationship between the seismogenic Riacho Fundo fault (Oliveira *et al.*, 2010) and tectonic structures in the Meruoca granite area. An earthquake swarm struck this region in 2008, with a maximum event of 4.2  $m_b$ . The region is affected by the Transbrasiliano lineament, a ca. 6,000 km long shear zone reactivated several times in the Phanerozoic. The relationship or lack of one between the seismicity and those structures is not known. We present a detailed structural map of the area, which includes faults and a swarm of basalt dikes. In addition, we present the geometry, kinematics, mineralogy, and chronology of the brittle structures and their relationship with aeromagnetic anomalies. We conclude that the Riacho Fundo fault cuts across the Transbrasiliano Lineament, but reactivates basalt dikes and faults along the Boqueirão valley, an E–W-trending structure that splits the Meruoca granite. The present study highlights the importance of detailed structural mapping of epicentral zones in intraplate seismic areas.

## Seismotectonic Setting

### Tectonic features of the Borborema Province

The Borborema Province is a complex mosaic-like folded region located in northeastern Brazil. It comprises basement gneiss and migmatite complexes, deformed and metamorphosed supracrustal sequences, and a number of granite plutons (Figs. 1 and 2). The whole province was deformed during the Brasiliano–Pan African orogeny at 750–540 Ma (Almeida *et al.*, 1981; Brito Neves *et al.*, 2000).

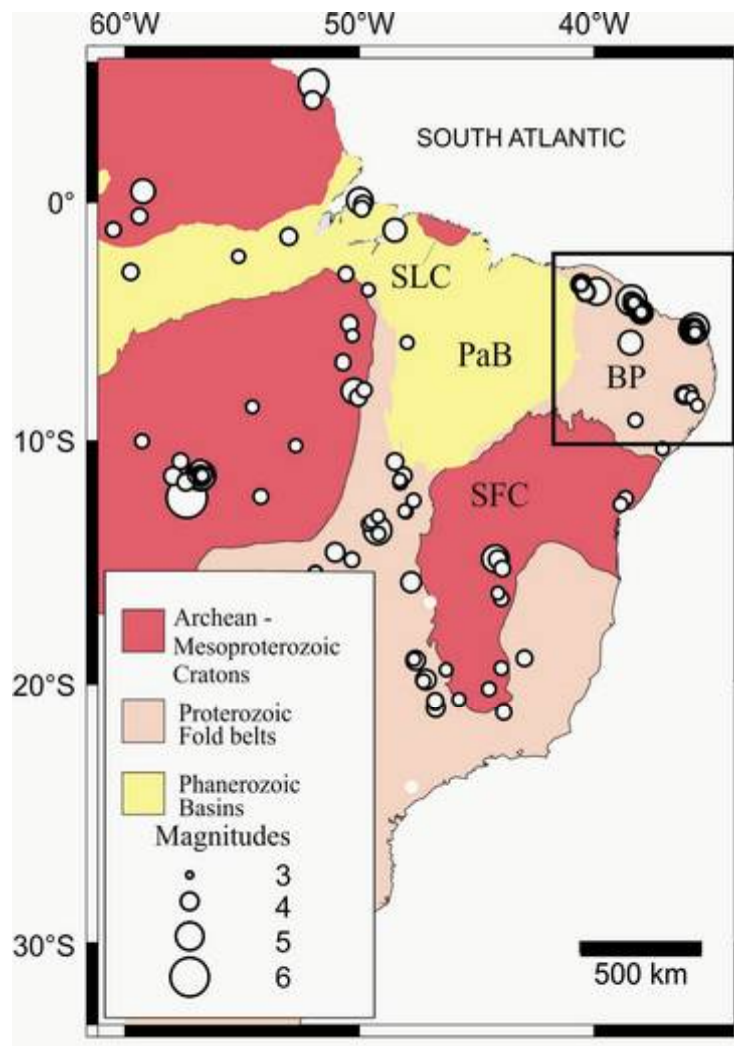


Figure 1 - Stable continental South-American platform with earthquake occurrences. Modified from Assumpção (1998) and Cordani (2009). BP- Borborema Province; SFC-São Francisco Craton; SLC- São Luiz Craton; PaB- Parnaíba Basin; AB- Andes Belt.

Limited to the north and east by the Atlantic Ocean, to the west by the Phanerozoic Parnaíba basin and to the south by the São Francisco craton, the Borborema structural province is comprised of three sub-provinces, bounded by the Patos and Pernambuco lineaments: the northern and southern sub-provinces, and the intervening Transversal zone. The study area is in the northern sub-province, which is formed of several tectonic domains. The tectonic domains are bounded by Neoproterozoic continental-scale shear zones formed during the Brasiliano orogeny, which usually obliterated preexisting fabrics. These shear zones trend predominantly E–W and NE–SW and they form the boundaries of terrains that have different rheology and chronology (Vauchez *et al.*, 1995) (Fig. 2). These shear zones were reactivated in the Cretaceous (Nóbrega *et al.*, 2005; de Castro *et al.*, 2008, 2012) and again in the Cenozoic (Bezerra *et al.*, 2001, 2008).

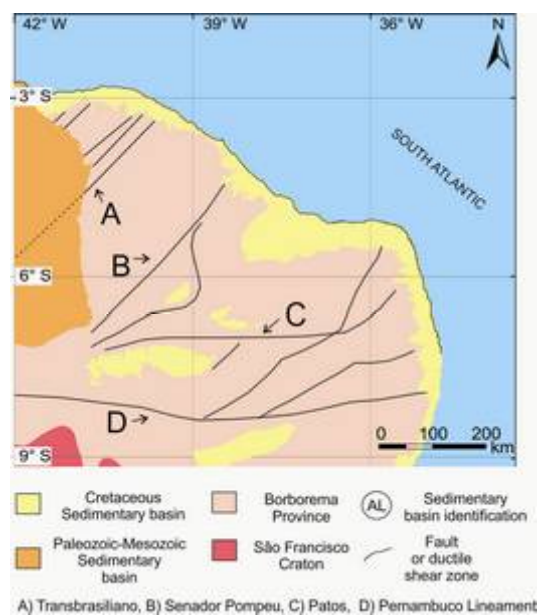


Figure 2 - Borborema Province with structural compartments. Simplified from Bizzi *et al.* (2003).

The study area is located in the northwestern part of Ceará, within the Médio Coreaú Domain, which is bounded to the west by the Parnaíba basin and to the east by the Transbrasiliano lineament (Fig. 3). It is structurally defined by horsts and graben trending northeast. Four ductile deformational phases from the Paleoproterozoic to the Neoproterozoic affect this domain.

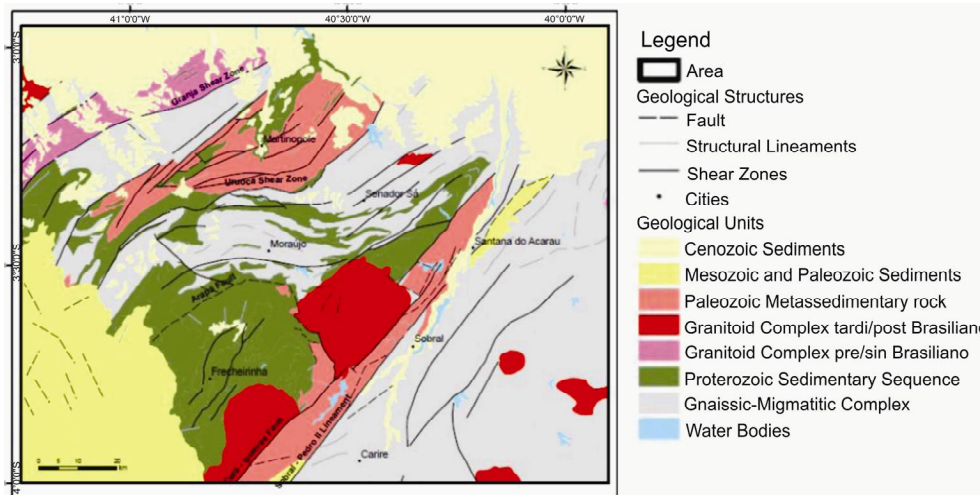


Figure 3 - Médio Coreaú Domain with lithological and structural compartments. After: CPRM 2011. [www.geobank.sa.cprm.gov.br](http://www.geobank.sa.cprm.gov.br)

The domain encompasses four granite plutons, which intrude basement rocks and the supracrustal rocks. Two of these granites (Chaval and Tucunduba) were affected by Brasileiro ductile deformation, whereas the Meruoca and Mucambo granites lack ductile deformation and represent post-orogenic plutonism (Santos *et al.*, 2004, 2008). The Riacho Fundo fault occurs in the Meruoca granite (Oliveira *et al.*, 2010). The Meruoca granite comprises mainly granite, quartz syenite, and alkali-feldspar granite. Large areas characterized by turbid brick-red feldspar and located in the center-south part of the pluton indicate that the Meruoca was a high-level intrusion that experienced pervasive, late hydrothermal alteration (Sial and Long, 1981). Dark vein filling composed of oxidized hematite and magnetite in brecciated granite also occurs in the central-south part of the pluton. These veins were described as an association typical of Iron Oxide–Copper–Gold deposits (IOCG) (Parente *et al.*, 2011). Gabbroic rocks also occur in the center of the Meruoca pluton (Gonçalves, 2006), as well as in its NW corner (Pedrosa *et al.* 2011). The Meruoca pluton is dated  $523 \pm 9$  Ma (U-Pb zircon – SHRIMP, Archanjo *et al.*, 2009).

The Jaibaras Basin occurs to the east of the Meruoca pluton. The basin filling comprises continental immature siliciclastic deposits and volcanoclastic rocks of early Paleozoic age (Santos *et al.*, 2008). The genesis of the basin used to be considered as a molasse–type basin,

but recent studies show that its generation is associated with the reactivation of the Transbrasiliano lineament in a rift stage (Oliveira, 2000; Oliveira and Mohriak, 2003).

The most important Mesozoic magmatic event in the area is the Rio Ceará Mirim Magmatism (Gomes *et al.*, 1981). It yielded K-Ar ages that peak at ~130 Ma, which is associated with the breakup of Pangea. It is composed of tholeiitic diabase dikes, oriented predominantly in the E–W direction. Recent  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dates identified an age plateau at  $132.2 \pm 1$  Ma that represents one of the phases of this magmatic event (Souza *et al.*, 2003).

#### Seismicity of the Borborema Province

The Borborema Province is one of the most important seismic areas in the stable continental region of South America. Historical data have shown earthquakes since the nineteenth century. Seismographs have monitored the region since 1965. They indicate that earthquakes with magnitudes of 5  $m_b$  occur on average every 5 years with intensities of up to VII. These events are felt over several hundred kilometers away from the epicenter (Ferreira *et al.*, 1998). Active faults in Borborema Province are usually strike-slip and generate events of up to 5.2  $m_b$ . Seismicity is concentrated in the upper crust down to a depth of 12 km (Ferreira *et al.*, 1998, 2008). The best documented earthquake sequence in the South American intraplate occurred in 1986 in the Samambaia fault, Potiguar Basin. It damaged nearly 4,000 buildings over eight years (Ferreira *et al.*, 1987; Takeya *et al.*, 1989; Bezerra *et al.*, 2007).

Studies of stress fields using focal mechanisms, borehole breakouts, fault slip data, and inelastic strain recovery measurements indicate that the region is under a strike-slip regime. This stress field comprises a sub-horizontal compressive stress roughly parallel to the direction of plate motion. On regional scale, the present-day stress field exhibits E–W-oriented compression and N–S-oriented extension. However, focal mechanisms indicate that  $S_{Hmax}$  (maximum horizontal compression) rotates  $\sim 45^\circ$  from E–W to NW–SE in the Potiguar Basin and

along the continental margin of the state of Ceará (Assumpção, 1992; Ferreira *et al.*, 1998, 2008; Bezerra *et al.*, 2007, 2011). This regional stress field would be generated mainly by the ridge push and collisional boundary forces on the South American Plate and is defined as  $S_{\text{hmax}}$  sub-horizontal parallel to the direction of plate motion (Assumpção, 1992).

## **Methods**

We combined the results of the seismic survey carried out by Oliveira *et al.* (2010) with structural mapping, aeromagnetic data and laboratory analysis of fault mineralogy. The laboratory techniques included thin section and scanning electron microscopy (SEM).

An earthquake of magnitude 4.2  $m_b$  occurred in the Sobral area on May 21, 2008. A local network was installed in the epicentral area from June 6 to September 24, 2008. In this study we considered 581 events that were recorded by at least three stations (Oliveira *et al.*, 2010). These authors used the HYPO 71 software and chose 24 events that have the best hypocentral precision to determine the fault plane.

We obtained the Analytic Signal Amplitude (ASA) map using aeromagnetic data. The map exhibits E–W-trending low wavelength anomalies. We also used the first vertical derivative map (1DZ) and a gamma-spectrometric map to identify the E–W-trending lineaments, which inflect to the NE in the Meruoca granite area.

Thin sections were prepared in order to describe the structural and mineral characteristics of the faulting. In addition, filling of the faults was analyzed by SEM (model SSX – 550, SHIMADZU) and Energy Dispersive Spectrometry (EDS) at the Centro de Tecnologia do Gás (CT-Gas-RN) and on a microprobe (JEOL Superprobe JXA-8230) at the University of Brasília.

## Results

### Seismogenic fault and aeromagnetic data

Oliveira *et al.* (2010) determined an alignment of hypocenters using the least squares method to adjust the more likely fault plane and named it the Riacho Fundo fault. The fault is located in the center-south part of the granite. The hypocentral data indicate that the fault is 6 km long, 1 to 8 km deep, strikes 081, and dips  $\sim 85^\circ$  to the southeast. Oliveira *et al.* (2010) divided the fault into three segments and calculated a focal mechanism for each one. Each focal mechanism corresponds to a variation in depth: shallow, intermediate and deep earthquakes. The nodal planes of these focal mechanisms agree with the trend of hypocenters. The results of the seismological study are presented in Figure 4. The 24 hypocenters referred to above form a linear feature parallel to an E–W-trending low radiometric anomaly associated to the Boqueirão Valley (Fig. 5).



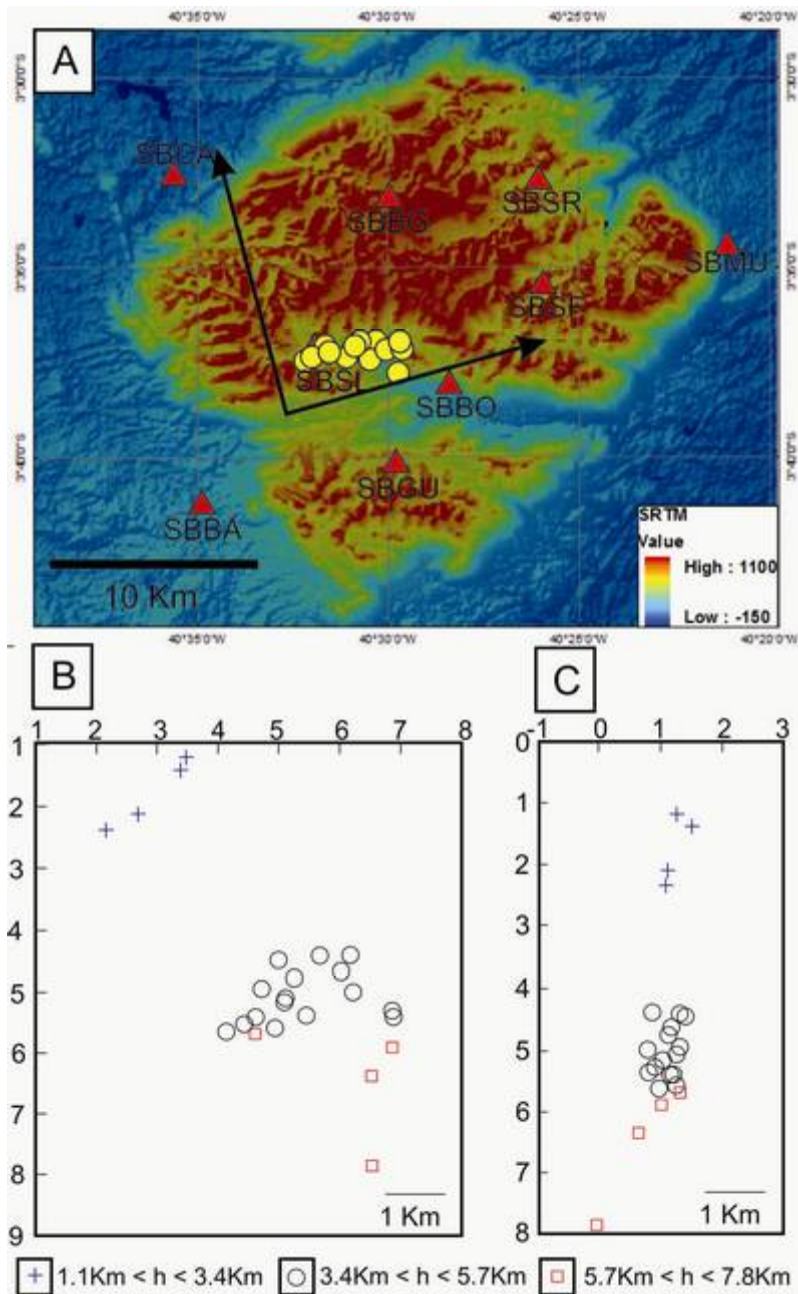


Figure 4 – (A) SRTM map of hypocenter location (yellow circles), (B) parallel and (C) perpendicular to fault plane. The origin of B and C graphics is the intersection of black arrows in A. Red triangles are seismographic stations. Modified from Oliveira *et al.* (2010).

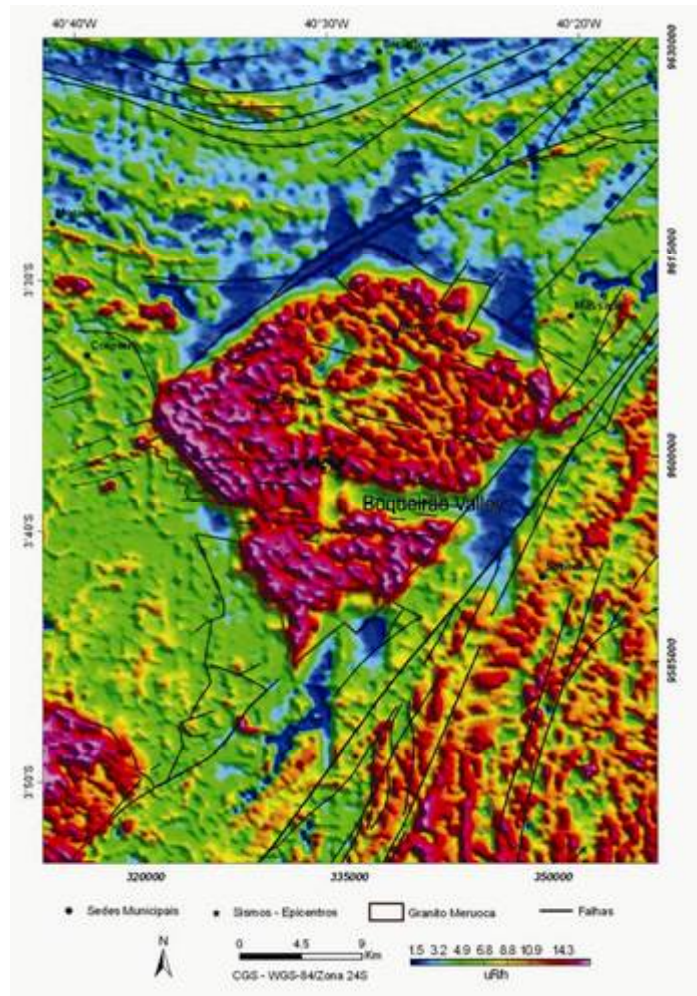


Figure 5 – Map of gamma-spectrometric anomaly showing low values in the Boqueirão valley.

#### Evidence of brittle deformation from field data

The Meruoca granite is a post-orogenic intrusion with no evidence of ductile deformation. The granite cuts across the Precambrian basement, which was deformed during the Brasiliano orogeny. It also cuts across the Jaibaras Basin and it presents the last magmatic event of the area. The digital elevation model shows a square-shaped pluton, 800 to 1,000 m high, whose boundaries are oriented SW–NE and SE–NW. The southern part of the pluton is marked by a 10 km long and 3 km wide valley that presents steep walls and triangular facets, which is typical of recent tectonic activity. The Riacho Fundo fault occurs at the northern scarp of this valley.

We grouped the fault data into two different paleostress fields. The NE-trending structure presents a sub-horizontal NE-trending  $\sigma_1$  and a sub-horizontal NW-trending  $\sigma_3$ . The E–W and NW faults present a NW-trending  $\sigma_1$  and a NE-trending  $\sigma_3$  (Fig. 6 and 7). Cross cutting relationships indicate that the former stress field is the first while the latter represents the most recent brittle event.

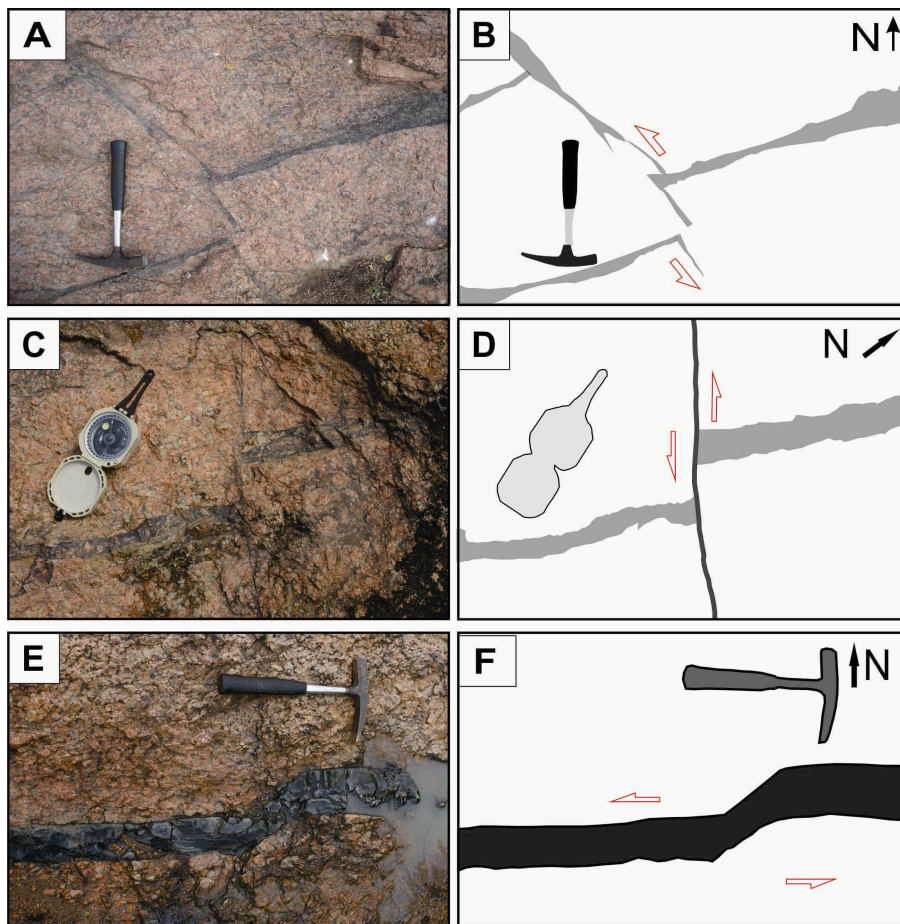


Figure 6 – Photos and sketches of faults in Boqueirão valley. A, B and C, D represent NE faults intersected by NW faults, both filled with opaque iron oxide material. E, F show an E-W-trending basalt dike.

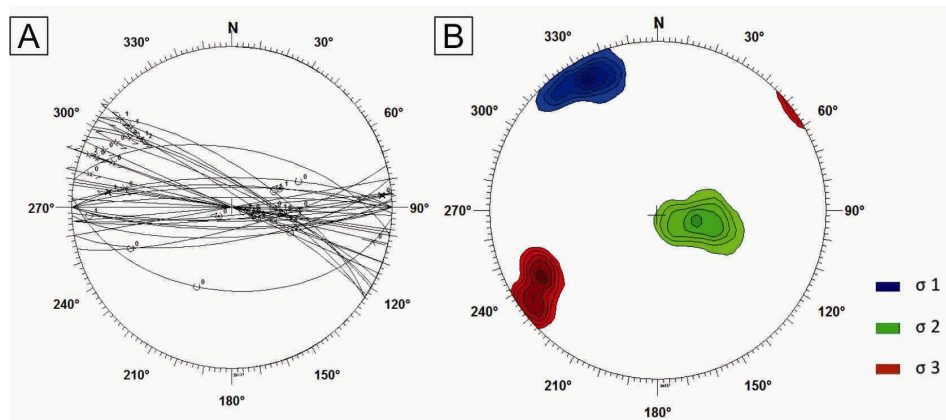


Figure 7 - Paleostress diagrams for the most frequent faults, E-W and NW-SE faults.

#### Brittle deformation at the microscopic scale

In the thin sections study we identified three fault planes: faults filled with opaque material, faults filled with quartz, and faults without filling material. In samples from the NE and NW-trending faults we identified some small veins (up to 2 mm wide), whose crystals are orthogonal to the main fault plane. Two types of boundaries from the rock to the fault plane occur. The first one is abrupt and exhibits a sharp contact between K-feldspar grains and the opaque material filling the fault plane. The second is a gradational transition with grains of K-feldspar and quartz decreasing in numbers and size from the wall rocks to the fault core (Fig. 8). The main texture found in the thin section of the NW and NE faults is of cataclasite, which shows angular rock fragments, mainly composed of quartz and embedded in a matrix of iron oxide. Most of the quartz in wall rock and angular fragments in the fault presents undulated extinction associated with faulting. The wall fragments in the fault infilling range from ~5 mm to less than 0.1 mm. Some of the NW faults in Riacho Fundo valley present no filling. The N-S faults present quartz exudation (> 1 mm) and small opaque grains. The quartz grains present recrystallization and undulated extinction and rare thin (> 0.05 mm) randomly disposed iron-oxide veins.

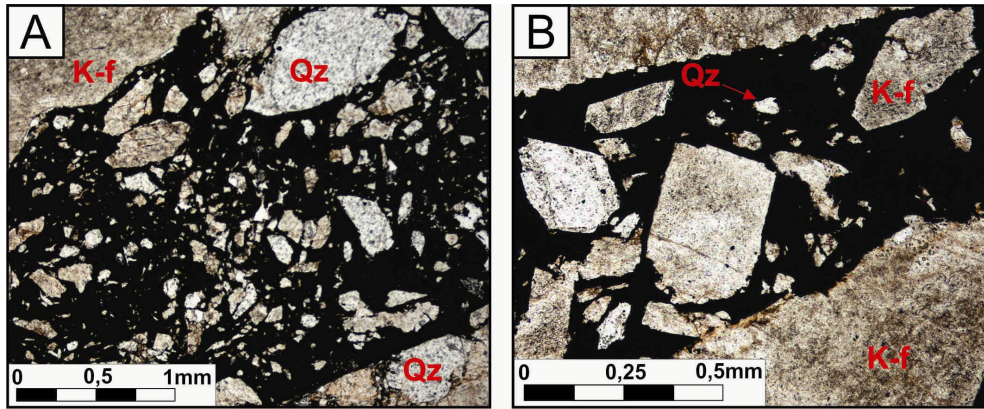


Figure 8 – Photos of thin sections showing sharp contact between the rock and the vein (Fe oxide) and angular clasts of quartz and feldspar of NW faults – N//. K-f - K-feldspar, Qz- quartz.

We used the SEM method to identify high Fe content in the veins in a semi-quantitative analysis. In addition, we used a microprobe study to identify the mineralogy of the veins. We were able to verify that the opaque matrix and black veins filling the NW and NE fault breccias were hematite in four thin sections. We analyzed the fault matrix in some targets and in others there was some contamination due to very small grains of quartz dispersed in it. The images from the backscattering (BSE) show a gradational transition from wall rock to the breccia phase (Fig. 9).

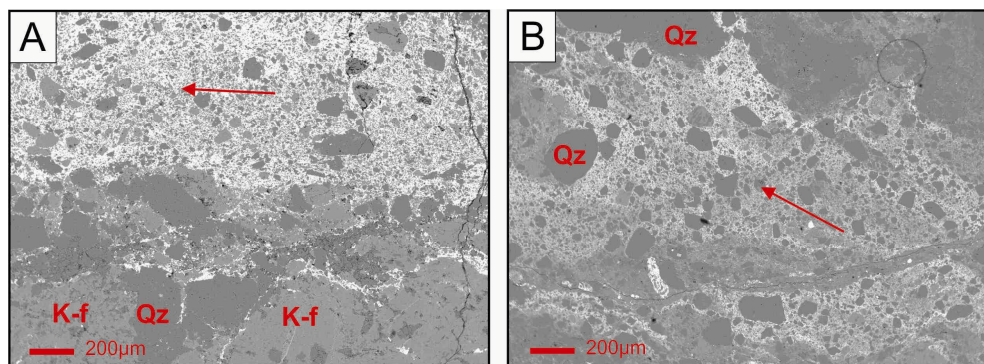


Figure 9 – Texture of thin sections in microprobe BSE photos. Red arrows indicate sense of flow. K-f – K-feldspar, Qz- quartz.

## Discussion and conclusion

The seismicity of the Meruoca granite is similar to that associated with veins, such as in the Samambaia fault, described by Bezerra *et al.* (2011). The E–W-trending and NW-trending faults are consistent with the present-day paleostress field, representing NW compression ( $\sigma_1$ ) and NE extension ( $\sigma_3$ ). These structures were originated by a recent brittle event, also considering the cross cut relationship between NE and NW structures and the absence of filling in some NW-trending faults. The seismological data also indicate that the focal mechanism from the recent earthquakes coincides with the paleostress field that creates and is prone to reactivating the E–W and NW structures. The brittle event described showed that these faults are optimally oriented to reactivation by the present-day stress field. These faults and the swarm of basalt dikes are the preexisting zone of weakness on a local scale.

New data on the Borborema Province are now available to contribute to the understanding of the behavior of the seismically active faults in the region. Different from the Pernambuco lineament, where earthquakes are due to reactivation of the main shear zone (Ferreira *et al.*, 2008), the Transbrasiliano lineament does not present a direct relationship with the recent earthquakes in the Meruoca granite. In addition, different from the Palhano and Augusto Severo cases, where the seismicity is related to faults that cut across preexisting structures, the Meruoca seismicity is related to the northern scarp of Boqueirão valley, a remarkable 10 km long and 3 km wide structure located center-south of the granite.

We conclude that the Riacho Fundo fault is not directly linked to a nearby continental-scale shear zone reactivated in the Paleozoic, the Transbrasiliano lineament. The Riacho Fundo fault, however, coincides with E–W-trending faults and Jurassic–Cretaceous basalt dikes that cut across the Meruoca granite. These structures occur along the Boqueirão valley, which is also an E–W-trending structure that exhibits steep scarps and disrupts the granite topography. The valley is marked by a low amplitude aeromagnetic anomaly. We conclude that the Riacho

Fundo seismogenic fault reactivates preexisting structures, but is not a case of reactivation of a major shear zone similar to the Pernambuco lineament, as previously speculated.

## **Acknowledgments**

## **References**

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* **17**:20-34.

Archanjo C. J., Launeau, P., Hollanda, M. H. B. M., Macedo, J. W. P., Liu, D. 2009. Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). *Int J Earth Sci*, 2009, 98:1793-1807. DOI 10.1007/s00531-008-0342-z.

Assumpção, M., 1992. The regional intraplate stress field in South America, *J. geophys. Res.*, **97**(B8), 11 889–11 903.

Assumpção, M., 1998. Seismicity and Stresses in the Brazilian Passive Margin. *Bulletin of the Seismological Society of America* **88**, 160–169.

Bezerra, F.H.R.; Amaro, V.E.; Vita-Finzi, C.; Saadi, A. 2001. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Boulder, v. **14**, n. 1, p. 61-75.

Bezerra, F.H.R., do Nascimento, A.F., Ferreira, J.M., Nogueira, F.C., Fuck, R.A., Brito Neves, B.B., Souza, M.O.L. 2011. Review of active faults in the Borborema Province, Intraplate South America — Integration of seismological and paleoseismological data, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2011.08.005.

Bezerra, F. H. R., Neves, B. B. B., Correa, A. C. B., Barreto, A. M. F., Suguio, K. 2008. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology (Amsterdam)*, v. 97, p. 555-582.

Bezerra, F.H.R., Takeya, M.K., Sousa, M.O.L., do Nascimento, A.F., 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault, Brazil, *Tectonophysics*, **430**, 27–39.

Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2003. *Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília.

Brito Neves, B.B., Santos, E.J. & Van Schmus, W.R., 2000. The tectonic History of the Borborema Province, in *International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro*, pp. 151–182, eds Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A., *Tectonic Evolution of South America*.

Cordani, U.G., 2009. From Rodinia to Gondwana: Tectonic significance of the Transbrasíliano lineament. *Anais do Simpósio “45 anos de Geocronologia no Brasil”*. Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 30–32.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003; *Mapa Geológico do Estado do Ceará*, Fortaleza-CE.

de Castro, D.L., Bezerra, F.H.R., Branco, R.M.G.C., 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.

de Castro, David L. ; Bezerra, Francisco H.R. ; Sousa, Maria O.L. ; Fuck, Reinhardt A. 2012. Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on Gravity and Magnetic Data. *Journal of Geodynamics* v. **52**, p. 29-42.



Ferreira, J.M., Takeya, M.K., Costa, J.M., Moreira, J., Assumpção, M., Veloso, J. & Pearce, R.G., 1987. A continuing intraplate sequence near João Câmara, northeastern Brazil—preliminary results, *Geophys. Res. Lett.*, **14**, 1042–1045.

Ferreira, J.M., Bezerra, F.H.R., Sousa, M.O.L., Nascimento, A.F. & França, G.S.L.A., 2008. The role of Precambrian mylonitic belts and present-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil, *Tectonophys.*, **456**, 111–126, doi:10.1016/j.tecto.2008.01.009.

Ferreira, J.M., Oliveira, R.T., Takeya, M.K. & Assumpção, M., 1998. Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from local mechanisms around the Potiguar marginal basin, *Geophys. J. Int.*, **134**, 341–355.

Gomes, J.R.C.; Gatto, C.M.P.P.; Souza, G.M.C.de; Luz, D.S.da; Pires, J.L.; Teixeira, W.; Franca, F.A.B.de; Cabral, E.M.A.; Menor, E.A.; Monteiro, N.; Barros, M.J.G.; Ribeiro, E.G.; Lima, E.A.de; Fonseca, R.A.da. 1981. Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. *Folhas SB.24/25 Jaguaribe e Natal*; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, MME/Secretaria Geral. p. 27-300 (Lev. Rec. Nat. 23).

Gonçalves, R.S.B., 2006. Estudo Geofísico do Arcabouço Estrutural da Bacia Jaibaras – CE. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Ceará, 54p.

Lopes, A.E.V., Assumpção, M., do Nascimento, A.F., Ferreira, J.M., Menezes, E.A.S., Barbosa, J.R., 2010. Intraplate earthquake swarm in Belo Jardim, NE Brazil: reactivation of a major Neoproterozoic shear zone (Pernambuco Lineament). *Geophysical Journal International* **180**, 1303–1312.

Nóbrega, M. A., Sa, J. M., Bezerra, F. H. R., Hadler Neto, J. C., Iunes, P. J., Oliveira, S. G., Saenz, C. A. T., Lima Filho, F. P. 2005. The use of apatite fission track thermochronology to constrain fault movements and sedimentary basin evolution in northeastern Brazil. *Radiation Measurements*, Amsterdam, v. 39, p. 627-633.

Oliveira D. C. 2000. Stratigraphic interplays between igneous and sedimentary events in the early palaeozoic Jaibaras trough (Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geociências* **30(3)**:427-431

Oliveira D. C. e Mohriak, W. 2003. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology* **20**: 351-383.

Oliveira, P.H.S., Ferreira, J.M., do Nascimento, A.F., Bezerra, F.H.R., Soares, J.E., Fuck, R.A., 2010. Study of the Sobral area seismicity-CE, NE Brazil in 2008. Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília.

Parente, C. V., Botelho, N. F., Santos, R. V., Garcia, M. G. M., Oliveira, C. G., Verissimo, C. U. V. 2011. Contexto Geológico, Tipológico e Geoquímico Isotópico das Brechas Hidrotermalizadas de Ferro e Cobre tipo IOCG, associadas à Bacia Eo-Paleozóica Jaibaras, da Província Borborema, Brasil. In: J. C. Frantz, J. Marques, H. Jost (Org.). Contribuições à Metalogenia do Brasil. Porto Alegre: UFRGS, v.1.

Pedrosa Jr, N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A. 2011. Interpretation of airborne geophysical data from the structural framework of Jaibaras Rift, Ceará, Brasil. In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geofísica.

Sandiform, M., Egholm, D. L., 2008. Enhanced intraplate seismicity along continental margins: Some causes and consequences. *Tectonophysics* **457** p. 197–208.

Santos, T. J. S., Fetter, A., Hackspacher, P., Van Schmus, W. R. & Nogueira Neto, J. A. 2004. Structural and geochronological studies of the Médio Coreaú Domain, NE Brazil: Constraints on Brasiliano/Pan-African tectonic evolution in the NW part of the Borborema Province. In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R. & Hackspacher, P. (eds) The 750–550 Ma Brasiliano Event of South America. Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, 17, Paper 9.

Santos, T.J.S., Fetter, A.H., Nogueira Neto, J.A., 2008. Correlation of the west margin of the Transbrasiliano–Kandi Lineament in the Borborema Province (NE Brazil) and Pharusian Belt

(NWAfrica). In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., BritoNeves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, vol. **294**, pp. 101–119.

Scholz, C.H., 1998. Earthquakes and friction laws. *Nature* **391**, 37–42.

Sial, A. N., Figueiredo, M. C. H., & Long, L. E. (1981). Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo Plutons, Ceará, Northeast Brazil. *Chemical Geology*, **31**, 271–283.

Souza, Z. S., Vasconcelos, P. M. de P., Nascimento, M. A. L., Silveira, F. V., Paiva, H. S., Dias, L. G. S., Thied, D., Carmo, I. O.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Mesozoic and Cenozoic magmatism in NE Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, 2003, Salvador. Short Papers. Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 2003. v. 2. p. 691-694

Sykes, L.R., 1978. Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **16**, 621–688.

Takeya, M.K., Ferreira, J.M., Pearce, R.G., Assumpção, M., Costa, J.M., Sophia, C.M., 1989. The 1986–1989 intraplate earthquake sequence near João Câmara, northeastern Brazil — Evolution of seismicity. *Tectonophysics* **167**, 117–131.

Vauchez, A., Neves, S., Caby, R., Corsini, M., Egydio-Silva, M., Arthaud, M., Amaro, V., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **8**, 247–266.

## **CAPÍTULO 4**

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Contrariando as expectativas de reativação das estruturas regionais mais expressivas, de orientação NE, como o Lineamento Transbrasiliano e a Bacia de Jaibaras, além de diversas zonas de cisalhamento, os resultados apresentados indicam que a sismicidade registrada recentemente não possui qualquer relação com estruturas nesta orientação no Granito Meruoca. Os dados apresentados no capítulo anterior mostram que os sismos estão localizados na porção centro-sul do Granito Meruoca, na falha denominada Riacho Fundo. Esta falha sismogênica tem direção E-W e corresponde, em superfície, à borda norte do vale do rio Boqueirão. Desta forma, não se pode correlacionar a atividade da falha sismogênica, de direção E-W, com o Lineamento Transbrasiliano, de direção NE-SW.

Estudos de campo de tensões realizados na Província Borborema (Assumpção, 1992; Ferreira *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 1997) indicam um regime de transcorrência em toda a região com um componente de compressão paralelo ao movimento da Placa Sul-Americana, resultando em compressão E-W e extensão N-S. Estudos detalhados em diferentes regiões, no entanto, encontraram uma rotação de aproximadamente 45° da direção E-W para NW-SE na Bacia Potiguar e ao longo da região costeira do Ceará (Assumpção, 1992; Ferreira *et al.*, 1998, 2008; Bezerra *et al.*, 2007, 2011). Estes dados foram confirmados em nível de maior detalhamento, a partir do mecanismo focal encontrado para a região do Granito Meruoca (Oliveira *et al.*, 2010), e pelos resultados dos trabalhos de campo realizados para a presente dissertação. A maior parte das estruturas mapeadas, de direção NW-SE e E-W apresenta campos de tensão com  $\sigma_1$  de direção NW e  $\sigma_3$  de direção NE, ambos subhorizontais, coerentes com o campo de tensões atual. Os dados também indicam que as estruturas de direção NE-SW e N-S ocorreram em regime anterior de paleotensões, sendo, portanto, mais antigas.

Os resultados do presente trabalho também indicam que as falhas mais recentes encontradas no Granito Meruoca, de orientação NW-SE, juntamente com as falhas E-W, podem ter sido geradas por eventos sismogênicos anteriores, desde que gerados sob o mesmo campo de tensões atual. Merecem atenção especial as estruturas de orientação E-W, mais profundas, preenchidas por basalto, e principalmente a falha E-W na porção centro-sul do Granito Meruoca, perlongada pelo vale do rio Boqueirão. A borda norte deste vale é a expressão, na superfície, da estrutura sismogênica causadora dos sismos sentidos na região, a falha Riacho Fundo.

De acordo com Parente *et al.* (2011), as principais ocorrências de Fe-Cu associadas à Bacia Jaibaras são em grande parte originadas pela sequência vulcano-sedimentar durante a abertura da bacia. Essas ocorrências, particularmente ao longo da Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras, preenchem juntas ou cimentam brechas tectônicas principalmente de direção E-

W. A posterior intrusão dos corpos graníticos metamorfozou as rochas hospedeiras e remobilizou as concentrações pré-existentes para as zonas de forte alteração hidrotermal e brechação ao longo de estruturas frágeis, particularmente ao longo da Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras. Em consequência, é possível estabelecer a relação de profundidade das estruturas encontradas, com base no preenchimento das falhas. As falhas ocorridas em maior profundidade contêm óxido/hidróxido de ferro, como é observado em falhas de direção NE-SW e NW-SE. As falhas preenchidas por veios de quartzo, de direção N-S, ocorreram em profundidade intermediária. As falhas sem preenchimento, representadas por poucas falhas de direção NW-SE, são as mais recentes.

Embora algumas zonas de cisalhamento na Província Borborema apresentem história de reativação, incluindo o Lineamento Transbrasiliano, os resultados obtidos na presente dissertação, permitem afirmar que a sismicidade da Falha Riacho Fundo não reativa este lineamento. O caso difere, portanto, do que ocorre na região do Lineamento Pernambuco (Ferreira *et al.*, 2008, Lopes *et al.*, 2010), onde os hipocentros dos sismos e mecanismos focais, entre outros elementos, confirmam que a reativação desta grande zona de cisalhamento causa os tremores observados nos últimos 20 anos naquela região. Os esforços atuantes na área são compressão E-W e extensão N-S e as falhas ocorrem principalmente sob regime transcorrente. O Lineamento Pernambuco é uma estrutura de direção ENE-WSW, compreendendo um cinturão milonítico de aproximadamente 3 km de largura. Dados de 1991 e 2002 indicaram reativação sísmica em pequenos segmentos de falha (Ferreira *et al.*, 2008), sendo uma falha normal de direção E-W e uma falha NE-SW com movimento dextral. Por outro lado, na região de Belo Jardim (Lopes *et al.*, 2010), os mecanismos focais de sismos ocorridos em 2004 indicam falha normal.

A falha Riacho Fundo pode ser comparada a outro caso de falha sismogênica na Província Borborema. Por ter relação com estruturas rúpteis mapeadas no granito, como as falhas E-W e os diques de basalto, a falha tem relação/mecanismo análogos aos da falha de Samambaia (Bezerra *et al.*, 2007), na Bacia Potiguar, que tem mesma direção (NE-SW) dos veios de quartzo e calcedônia mapeados na região. Esta falha é caracterizada por sismos registrados de até 5,1  $m_b$  e indícios de paleossismicidade maiores que 7,0  $m_b$ . A sua atividade sísmica ocorreu principalmente no período de 1986 a 1990 com registro de aproximadamente 40.000 tremores. Em comum com a falha Riacho Fundo, a falha de Samambaia apresenta relação direta com a geologia, apresentando veios de quartzo e zonas de falha silicificadas coincidindo espacialmente com a falha.

Os dados obtidos neste trabalho permitem afirmar que os sismos monitorados no período de 2008 a 2010 no Granito Meruoca provêm da Falha sismogênica de Riacho Fundo e não têm relação direta com o Lineamento Transbrasiliano. No entanto, não se pode eliminar a possibilidade de reativação do lineamento em outras áreas do mesmo, nem mesmo que o mesmo seja capaz de produzir sismicidade em momento futuro. Fazem-se necessários mais

estudos de neotectônica na região, envolvendo diretamente o Lineamento Transbrasiliano e a borda da bacia de Jaibaras. A integração de dados sismológicos e de mapeamento estrutural em outras regiões com ocorrência de sismos, com contínuo monitoramento, também aprofundaria o entendimento de terremotos na área da Província Borborema.

Pode-se concluir, a partir da discussão acima, a existência de mais de um modelo de sismicidade ativa na Província Borborema: (1) o caso do Lineamento Pernambuco, onde a grande estrutura regional é reativada causando tremores (Ferreira *et al.* 2008); (2) o caso do Granito Meruoca, onde, apesar de se encontrar vizinho ao Lineamento Transbrasiliano, uma estrutura de magnitude continental, os sismos estudados têm relação com a falha Riacho Fundo, de direção E-W que possui relação com falhas e um enxame de diques de basalto; (3) e o caso de Palhano e Augusto Severo, onde a sismicidade é relacionada a estruturas que truncam o *fabric* regional pré-existente (Bezerra *et al.*, 2011).

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* **17**: 20-34.
- Archanjo C. J., Launeau, P., Hollanda, M. H. B. M., Macedo, J. W. P., Liu, D. 2009. Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). *International Journal of Earth Science*, **98**: 1793-1807. DOI 10.1007/s00531-008-0342-z.
- Arthaud, M.H., Caby, R., Fuck, R.A., Dantas, E.L., Parente, C.V., 2008. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, **294**: pp. 49–67.
- Assumpção, M., 1992. The regional intraplate stress field in South America, *J. geophys. Res.*, **97**(B8), 11 889–11 903.
- Assumpção, M., 1998. Seismicity and Stresses in the Brazilian Passive Margin. *Bulletin of the Seismological Society of America* **88**, 160–169.
- Assumpção, M., Takeya, M., Ferreira, J.M., Costa, J.M. & Sophia, C.M., 1989. Cálculo de magnitudes e relação frequência-magnitudes dos sismos de João Câmara, RN, *Revista Brasileira de Geofísica*, **7**(2), 107–116.
- Berrocal, J., Assumpção, M., Antezana, R., Dias Neto, C.M., Ortega, R., França, H., Veloso, J.A.V., 1984. Seismicity of Brazil. IAG-USP — Brazilian Commission of Nuclear Energy. (in Portuguese).
- Bezerra, F. H. R., Ferreira, J. M., Sousa, M. O. L., 2006. Review of Seismicity and Neogene tectonics in northeastern Brazil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. **16**, p. 525-535.
- Bezerra, F. H. R., Takeya, M. K., Sousa, M. O. L., Do-Nascimento, A. F., 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault. *Tectonophysics*, v. **430**, p. 27-39.
- Bezerra, Francisco H.R. ; do Nascimento, Aderson F. ; Ferreira, Joaquim M. ; Nogueira, Francisco C. ; Fuck, Reinhardt A. ; Neves, Benjamim B. Brito ; Sousa, Maria O.L., 2011. Review of active faults in the Borborema Province, Intraplate South America Integration of seismological and paleoseismological data. *Tectonophysics*, v. **510**, p. 269-290.



Brito Neves, B.B. and Cordani, U.G., 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. In: R.J. Stern and W.R. Van Schmus (editores), *Crustal Evolution in the Late Proterozoic. Precambrian Research*, **53**: 23-40.

Brito Neves, B.B., Santos, E.J. & Van Schmus, W.R., 2000. The tectonic History of the Borborema Province, in *International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro*, pp. 151-182, eds Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A., Tectonic Evolution of South America.

Cordani, U.G., 2009. From Rodinia to Gondwana: Tectonic significance of the Transbrasiliano lineament. Anais do Simpósio "45 anos de Geocronologia no Brasil". Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 30-32.

Costa M.J., Franca J.B., Lins C.A.C., Bacchiegga I.F., Habekost C.R., Cruz W.B. 1979. Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão - Projeto Jaibaras. Brasília, DNPM. Serie Geologia No 14, Seção Geologia Básica **11**: 106 p.

Danni J.C.M. 1972. Geologia da porção sul do Grupo Jaibaras - Ceará. *Revista Brasileira de Geociências*, **2**: 85-97.

Destro, N., Szatmari, P., Ladeira, E. A., 1994. Post-Devonian transpressional reactivation of a Proterozoic ductile shear zone in Ceará, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, Vol 16, No 1. pp. 35 to 45.

Ferreira, J.M., 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 192p.

Ferreira, J.M., Assumpção, M., 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica* **1**, 67-88.

Ferreira, J.M., Oliveira, R.T., Takeya, M.K., Assumpção, M., 1998. Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophysical Journal International* **134**, 341-355.

Ferreira, J.M., Bezerra, F.H.R., Sousa, M.O.L., do Nascimento, A.F., Sá, J.M., França, G.S., 2008. The role of Precambrian mylonitic belts and present-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil. *Tectonophysics* **456**: 111-126.

Fetter, A.H., Santos, T.J.S., Nogueira Neto, J.A. and Van Schmus, W.R., 1995. Geochronology U/Pb in zircon and Sm/Nd in total rock of the State of Ceará - results initials. 16° Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife. Sociedade Brasileira de Geociências, **14**: 418-422.

- Fetter, A.H., 1999. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. PhD thesis, Department of Geology, Kansas University, Lawrence, KS – USA, 164 pp.
- Fetter, A.H., Van Schmus, W.R., Santos, T.J.S., Arthaud, M. and Nogueira Neto, J.A., 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 102-106.
- Fetter, A.H., Santos, T.J.S., Van Schmus, W.R., Hackspacher, P.C, Brito Neves, B.B., Arthaud, M.H., Nogueira, J.A. and Wernick, E., 2003. Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, **6**: 265-273.
- Gonçalves, R.S.B., 2006. Estudo Geofísico do Arcabouço Estrutural da Bacia Jaibaras – CE. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Ceará, 54p.
- Gorayeb P.S.S., Abreu F. A.M., Correa J.A.M., Moura C.A.V. 1988. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara-Jaibaras. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belem, Anais, **6**: 2678-2688.
- Guimarães, I.P., Almeida, C.N., Silva Filho, A.F. and Araújo, J.M.M., 2000. Granitoids marking the end of the Brasiliano (Pan-African) orogeny within the central tectonic domain of the Borborema Province. *Revista Brasileira de Geociências*. **30**: 177–181.
- Lima, C.C., Nascimento, E., Assumpção, M., 1997. Stress orientations in Brazilian sedimentary basins from breakout analysis: implications for force models in the South America plate. *Geophysical Journal International* **130**, 112–124.
- Mabesoone J.M., Beurlen K., Rand H.M., Costa W.D., Manoel Filho J., Barretto P.T., Rijo L, Rodrigues J.M.S., Marinho J.M.L., Nascimento P.A.B., RochaM.A. 1971. Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará. Estudos e Pesquisas, UFPE/IG,2: 1-116.
- Mello Z.F. 1978. Evoluções finais do ciclo geotectonico Brasiliano no Nordeste Oriental. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, **6**: 2438-2450.
- Monié, P., Caby, R. & Arthaud, M. H. 1997. The Neoproterozoic Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, **81**: 241–264.

Oliveira, D. C., 2000. Stratigraphic interplays between igneous and sedimentary events in Early Palaeozoic Jaibas Trough (Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, **30(3)**:423–427.

Oliveira D. C. e Mohriak, W. 2003. Jaibas trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology* **20**: 351-383.

Oliveira, P.H.S., Ferreira, J.M., do Nascimento, A.F., Bezerra, F.H.R., Soares, J.E., Fuck, R.A., 2010. Estudo da Sismicidade na Região de Sobral-CE, NE do Brasil em 2008. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília.

Parente, C. V., Botelho, N. F., Santos, R. V., Garcia, M. G. M., Oliveira, C. G., Veríssimo, C. U. V. 2011. Contexto Geológico, Tipológico e Geoquímico Isotópico das Brechas Hidrotermalizadas de Ferro e Cobre tipo IOCG, associadas à Bacia Eo-Paleozóica Jaibas, da Província Borborema, Brasil. In: José Carlos Frantz., Juliana Marques., Hardy Jost. (Org.). Contribuições à Metalogenia do Brasil. Porto Alegre: UFRGS, v.1.

Pedrosa Jr, N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A. 2011. Interpretation of airborne geophysical data from the structural framework of Jaibas Rift, Ceará, Brasil. In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geofísica.

Santos, E.J. 2000. Contexto Tectônico Regional *in*: Medeiros V.C. 2000 (Org.) *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Folha Aracaju/NE SC-24-X. Brasília CPRM, p. 3.7.

Santos, E.J. & Medeiros, V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**:73-84.

Santos, T.J.S., 1999. Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP-Rio Claro, SP, 186 pp.

Santos, T.J.S., Nogueira Neto, J.A., Fetter, A.H. and Hackspacher, P.C., 2001. Petrografia e Litogeoquímica das Rochas do Embasamento Cristalino da Região de Granja - CE. *Revista de Geologia (UFC)*, **14**: 33-48.

Santos, T. J. S., Souza, G. M., Queiroz, H. B., Nogueira Neto, J. A., Parente, C. V. 2002. Tafrogênese estereariana no embasamento paleoproterozóico do NW da Província Borborema: Uma abordagem petrográfica, geoquímica e geocronológica. In: Congresso Brasileiro de Geologia 41, João Pessoa, Actas. Sociedade Brasileira de Geologia, 337.

Santos, T. J. S., Fetter, A., Hackspacher, P., Van Schmus, W. R. & Nogueira Neto, J. A. 2004. Structural and geochronological studies of the Médio Coreaú Domain, NE Brazil: Constraints on Brasiliano/Pan-African tectonic evolution in the NW part of the Borborema Province. In: WEINBERG, R., TROUW, R., FUCK, R. & HACKSPACHER, P. (eds) The 750–550 Ma Brasiliano Event of South America. *Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition*, 17, Paper 9.

Santos, T. J. S., Dantas, E. L., Fuck, R. A., Araújo, C. E. G., Rosa, F. F. & Amaral, W. S. 2007. The geology and U–Pb and Sm–Nd geochronology from the northern portion of the Santa Quitéria Batholith, NE Brazil. In XI Simpósio nacional de estudos tectônicos – V International symposium on tectonics of Brazil Actas, Extended Abstracts. Sociedade Brasileira de Geologia, 142–144.

Santos, T.J.S., Fetter, A.H., Nogueira Neto, J.A., 2008. Correlation of the west margin of the Transbrasiliano–Kandi Lineament in the Borborema Province (NE Brazil) and Pharusian Belt (NWAfrica). In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., BritoNeves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, vol. 294, pp. 101–119.

Santos, T.J.S., Garcia, M.G.M., Amaral, W.S., Caby R., Wernick E., Arthaud, M.H., Dantas, E.L., Santosh, M. 2009. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research* **15**: 454–470.

Torquato, J.R, 1995. A geologia do Noroeste do Ceará (uma visão histórica). *Revista de Geologia (Fortaleza)*, Fortaleza, v. 8, p. 5-183.

Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B., Hackspacher, P.C. and Babinski, M., 1995. U/Pb and Sm-Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Science*, **8**: 267-288.

Vauchez, A., Neves, S., Caby, R., Corsini, M., Egydio-Silva, M., Arthaud, M., Amaro, V., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **8**: 247–266.

## **ANEXO I**

**Planilha de controle de afloramentos com coordenadas em WGS 84, descrição sucinta do afloramento e medidas de estruturas.**

Data	Afl.	Ponto		X	Y	Descrição	Atitude	Atitude	Atitude	Atitude	
19/abr/10	Kta 01	P - 081		337223	9596770	Açude - sismos.					
		p - 082		337353	9596696	Sangradouro do açude.					
		p - 083		337348	9596698	Seção colunar.					
		p - 084		337358	9596688	Amostra 01.					
	Kta 02						Granito isotrópico rolado. Morfologia de <i>rockfall</i> , localizado na escarpa norte do vale do boqueirão, há blocos rolados de 3 a 5 metros de diâmetro. Atras da praça da santa.				
		p - 086		337321	9597412						
		p - 087		344138	9596080	Pedreira abandonada.					
		p - 088	A	344021	9596502	Falha dextral preenchida (IOCG?)	323°Az/90°				
		p - 089	B	344022	9596504	Falha dextral.	317°Az/90°				
			C			Duas falhas preenchidas. (IOCG?)	275°Az/90°	327°Az/90°			
		D			Falhas deslocando veio. Movimento dextral.	324°Az/90°	314°Az/90°				
	E			Set de juntas (+ de 10) com mesma direção.	329°Az/90°						
20/abr/10	Kta 03	p - 090	F	344022	9596518	Falhas.	135°Az/89° SW (Plano) 24°/152°Az (estria) Movimento dextral.	140°Az/71° SW 24°/149°Az Movimento dextral.	166° Az/75 SW 03°/344°Az Movimento dextral.	150°Az/79° SW 07°/155° Az Movimento dextral.	
		p - 091	G	344023	9596490	Falhas e juntas.	172°Az/82° SW 04°/000 Az Movimento ?	265°Az/86°NW 07°/84°Az Movimento dextral	Juntas. Set 1: 293°Az/74°NE	Set 2: 67°/68° SE	
			G			Outro plano de falha, vizinho. Amostras coletadas 3G A B C e D.	314°Az/84° NE 28°/155°Az Movimento dextral.	317°/86°NE 54°/152°Az Movimento dextral com componente normal.	303°Az/74 NE 18°/120°Az Movimento dextral.	228°Az/84°NW 24°/030°Az Movimento sinistral.	

		p - 092	H	344010	9596506	Falha NW cortando falha mais antiga NE	Falha NW 225°Az/90° Movimento sinistral. Nova.	Falha NE 040°Az/90° Movimento sinistral. Antiga.		
		p - 093	I	344004	9596500	Falha NW cortando falha N-S	Falha NW 285°Az/90°. Nova.	Falha N-S 0°Az/90°. Antiga.		
			J			Falha	92°Az/79° SW 24°/090°Az Movimento dextral.			
	Kta 04	p - 094	A	333247	9598976	Um só set de juntas no granito isotrópico com granulometria grossa.	295°Az/90°.	280°Az/90°. Movimento dextral.		
	Kta 04	p - 095	B	333195	9599016	Falha não preenchida.	268°Az/84°NW 78°/153°Az Movimento: falha normal			
	Kta 05	p - 096		333187	9599096	Falha sem preenchimento.	294°Az/90° 14°/110°Az Movimento sinistral.	290°Az/89 SW° 22°/109°Az Movimento sinistral.	290°Az/90° 11°/124°Az Movimento sinistral.	
	Kta 06	p - 097		333003	9599206	Diques de basalto. Amostras coletadas.	270°Az/88°N			
	Kta 07	p - 098		330989	9599428	Pequenos veios milimétricos de quartzo.	090°Az/90°			
21/abr/10	Kta 08	p- 099		342871	9595820	Pedreira em atividade.	201°Az/81°NW 34°/008°Az Movimento ?	195°Az/76°NW 02°/195°Az Movimento sinistral.	330°Az/81°NE 16°/331° Movimento sinistral.	151°Az/84° SW 15°/324°Az Movimento sinistral

							154°Az/79° SW 13°/334°Az Movimento sinistral.	316°Az/75° NE 16°/327°Az Movimento ?	025°Az/90° 29°/018°Az Movimento ?	010°Az/87°NW 14°/010°Az Movimento sinistral ?
	Kta 09	p - 100		336868	9597350	Margem do riacho.	280°Az/60°NE estria subhorizontal, movimento dextral.	Fraturas R = 300°Az/90° 129°Az/59°NE		
	Kta 10	p - 101		336912	9597316	Falha na margem do riacho.	110°Az/80° SW 01°/290°Az Movimento?			
	Kta 11	p - 102		336697	9597593	Paredão com diques de basalto (15 a 40 cm). Amostrado.	Dique 01 064°Az/69° SE.	Dique 02 270°Az/80°N		
22/abr/10		p - 104	A	335633	9597914	Sismógrafo				
	Kta 12	p - 105	B	335537	9597924	Granito rosa com falhas e fraturas R. Preenchimento das falhas: oxidos/hidroxidos de Fe - Mn.	116°Az/81° SW 19°/130°Az Movimento sinistral.	124°Az/71° SW 13°/124°Az Movimento sinistral.	119°Az/79° SW 24°/304°Az Movimento sinistral.	124°Az/78° SW 21°/309°Az Movimento sinistral.
	Kta 13	p - 106		333977	9598292	Falhas com fraturas R e juntas de direção SW.	300°Az/78° NE 30°/292°Az Movimento sinistral.	303°Az/84° NE 32°/295° Az Movimento sinistral.		
	Kta 14	p - 107		328529	9601812	Sistema de juntas de 316°Az.				
	Kta 15	p - 108		328877	9601604	Granito isotrópico sem falhas.				
		p - 001	A	328832	9601136	Granito com um set de juntas.	Junta 280°Az/90°.			
	Kta 16	p - 065	B	328944	9601196	Dique (xenólito?) de 2 a 3 metros de largura com dobras. Foi coletada amostra.				
	Kta 17	p - 067		329545	9600364	Set de juntas subverticais.	Junta 290°Az/90°.			
	Kta 18	p - 110		329884	9599770	Set de juntas.	Junta 284°Az/90°.			



	Kta 19	p - 111		330267	9599578	Dois sets de juntas principais.	Junta 273°Az/90°. Antiga.	Junta 035°Az/90°. Nova.		
	Kta 20	p - 112		330418	9599552	Juntas.	Junta 289°Az/90°.			
23/abr/10	Kta 21	p - 114		339533	9595818	Dique de basalto. Foram coletadas amostras.	090°Az/79° N.			
	Kta 22			339169	9596084	Falha com preenchimento (IOCG?). Amostra coletada.				
24/abr/10	Kta 23			335967	9600528	Falhas. Alteração argílica.	250°Az/75° NW Estria subhorizontal.	255°Az/66°NW Estria subhorizontal.	248°Az/67° NW Estria subvertical. Movimento: falha normal.	302°Az/90° Estria subvertical. Movimento: falha normal.
	Kta 24			335655	9599598	Falhas na beira do riacho.	290°Az/90° 06°/281°Az Movimento sinistral.	283°Az/90° 10°/280°Az Movimento sinistral.	Dique: 226° Az.	
	Kta 25			325670	9603876	Falhas.	265°Az/86° N 06°/265°Az. Movimento?			
	Kta 26			324646	9602528	Juntas e alinhamentos de granitos fraturados. Importante para o capítulo de morfotectônica.	259°Az/90°			
	Kta 27			326636	9601964	Falhas.	263°Az/78° NW 22°/274°Az Movimento sinistral.	257°Az/76° NW 18°/266°Az Movimento sinistral.	232°Az/73° NW 17°/235°Az Movimento ?	

	Kta 28			345279	9598312	Falhas.	330°Az/81° NE 12°/331°Az Movimento ?	324°Az/90° 06°/323°Az Movimento ?	314°Az/90° 12°/319°Az Movimento ?	300°Az/86° SW 22°/285°
	Kta 29			329167	9596372	Juntas.	310°Az/90° 36°/312°Az	278°Az/90° Estria subvertical. Movimento: falha normal.		
	Kta 30			333674	9597530	Falhas e dique de basalto.	295° Az/90°.	270° Az/ 75° S 34°/280°Az Movimento ?	094° Az/47°N 14°/033°Az Movimento ?	Dique: 085°Az/84° N.
04/nov	Kta 31			333563	9597484	Granito isotrópico pouco falhado e com blocos rolados. Foi coletada amostra de granito fino.				
	Kta 32			331789	9596950	Juntas à margem esquerda da estrada.	220°Az/90°	285°/90°		
	Kta 33			329758	9594322	Jajedo no cruzamento de estradas. Juntas com mesma orientação.	080°Az/73°NW			
05/nov	kta 34		A	338305	9592816	Afloramento tipo lajedo na margem esquerda da estrada que leva ao jordão. Falhas não preenchidas no primeiro lajedo.	087°Az/75°S	032°Az/76°SE	106°Az/90°	255°Az/68°SE 07°/266°Az Movimento dextral
			B			Afloramento no alto da serra. (IOCG IOCG.	285°Az	260°Az	215°Az	300°Az
							213°Az	220°Az	285°Az	300°Az
							270°Az	263°Az	286°Az	270°Az

	Kta 35			338136	9592782	IOCG.	270°Az	210°Az	290°Az	280°Az
							200°Az			
	Kta 36			337441	9593558	Falhas não preenchidas.	088°Az/81°S	285°Az/81°S	279°Az/84°S	284°Az/80°S
	Kta 37			336990	9593824	Falha e juntas.	290°Az/90° Movimento sinistral.	Juntas 270°Az	315°Az	250°Az
							180°Az			
	Kta 38			335329	9594370	Falhas e um veio de IOCG.	295°Az/68°SW 10°/280°Az Movimento ?	015°Az/90°	275°Az/90°	285°Az/80°NE
							Veio de IOCG 280°Az			
	Kta 39			334234	9594300	Juntas e falha.	Juntas 110°Az e 200°Az	295°Az/81°NE 0°/295°	200°/75°SE	
Kta 40			333947	9594382	Dique de aplito (?) e pequenos veios de IOCG.	Dique 085°Az/90°	IOCG 300°Az	290°Az	314°Az	
						Fratargas 195° e 295°				
Kta 41			330424	9593836	Juntas paralelas.	280°Az.				
06/nov	kta 42			343511	9596700	Pseudataquilito.	080°Az.			
	Kta 43			343602	9596742	Juntas.	080°Az.			
	Kta 44			343413	9596854	Juntas.	045°Az.			
	kta 45			343351	9596906	Veios de IOCG.	009°Az.	025°Az.	075°Az.	
	Kta 46			353059	9597054	Junta	070°Az.			
07/nov	Kta 47			342775	9597004	Granito cinza sem falha.				
	Kta 48			342407	9596122	Granito cinza grosso.	Junta 350°Az.			
	Kta 49			328970	9601108	Granito rosa, grosso, sem falhas.				

08/nov	Kta 50		332381	9592648	Granito cinza com juntas/fraturas.	Falha 270°/85°W	Falha 245°/84°SE	P = 300°/75°SW E=275°/12°	
	Kta 51		331196	9591850	Granito rosa sem falhas.				
	Kta 52		330787	9591136	Granito rosa.	Fratura 270°/80°E	Fratura 80°Az/subvertical		
	Kta 53		330395	9590990	Juntas.	070°Az.	030°Az.	035°Az.	090°Az.
						P=330°Az/75°SW.	P=035°Az/56°NW.	P=030°Az/82°NW.	
	Kta 54		330699	9590280	Granito cinza com juntas. Dique de granulometria mais fina de direção N-S	055°Az.	300°Az.	000°Az. N-S.	
	Kta 55		330775	9590084	Granito rosa com juntas.	045°Az.			
	Kta 56		330976	9589326	Granito rosa com fraturas.	300°Az.	090°Az.	300°/subvertical.	065°Az/55°SE.
	Kta 57		331231	9589126	Granito rosa com juntas.	000°Az.	320°Az.	270°Az.	050°Az.
	Kta 58		332330	9588646	Granito rosa sem falhas.				
	Kta 58 B		332888	9588218	Falha.	015°Az/64°SE Estria subhorizontal.	000°Az/55°SE.	IOCG 330°Az.	
	Kta 59		333207	9587830	Falha.	035°Az/63°NW.			
	Kta 60		329441	9593732	Granito rosa grosso com falhas.	315°Az/subvertical.			
	Kta 61		329273	9593772	Falhas e juntas.	P=025°Az/65°SE	Juntas 335°Az.	300°Az.	074°Az.
	Kta 62		329113	9593526	Granito rosa grosso.	P=065°/86°NE.			
	Kta 63		328531	9592982	Dique de basalto. Foram coletadas amostras.	070°Az. Espessura = 4cm.			
	Kta 64		328955	9592300	Falhas e juntas.	Falha 300°Az	Junta 085°Az		
Kta 65		329341	9591886	Granito cinza com juntas.	080°Az.				
Kta 66		330300	9591082	Granito rosa com falha e juntas.	Junta 020°Az.	Junta 270°Az.	P= 270°Az/80°N	P= 020°Az/90°.	
09/nov	Kta 67		329392	9597112	Blocos rolados.				

	Kta 68		328468	9596648	Granito rosa grosso com falhas e juntas.	075°Az/79°NE 57°/078	075°Az/90°	Junta 020°Az	Junta 090°Az
						090°Az/90°	010°Az/90°		
	Kta 69		336806	9600248	Granito cinza grosso com juntas.	030°Az	090°Az	150°Az	310°Az
	Kta 70		336531	9600182	Falhas.	020°Az/90°	045°Az/50°SE		
	Kta 71	A	336006	9600394	Par conjugado de falhas.	290°Az/90°	015°/90°		
		B			Falha.	300°Az/90°			
		C			Falhas e IOCG. Amostra coletada.	025°Az/76°NW	090°Az/90°	085°Az/90°	(IOCG 090°Az
10/nov	Kta 72		341297	9599390	Junta.	265°Az/90°.			
	Kta 73		341626	9598172	Juntas, falhas e IOCG.	Juntas 315°Az e 260°Az	Falha 255°Az/80°	IOCG 090°Az	
	Kta 74		340264	9599774	Juntas e falha.	Juntas 020° e 300°Az.	Falha 045°Az/55°NW		
	Kta 75		338080	9601800	Falhas.	180°Az/85°NE	012°Az/81°SE		
	Kta 76		337975	9602008	Falha.	010°Az/84°NW			
	Kta 77		337987	9602316	Falhas.	220°Az/65°SE	305°Az/70°SW		
	Kta 78		339832	9605500	Junta.	090°Az/90°			
	Kta 79		340629	9605590	Falhas.	090°Az/83°N	030°Az/68°NW		



## **ANEXO II**

**Planilha de cálculos com dados de química (EDS) do MEV.**

**Fotografia dos pontos mais importantes amostrados.**

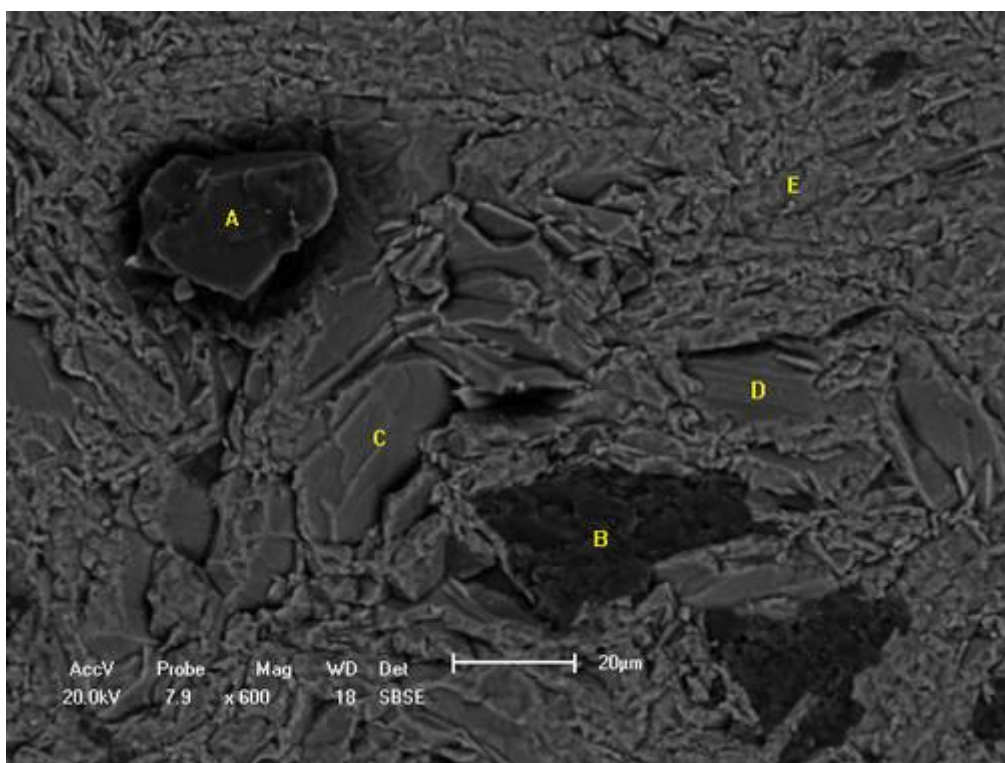
**Gráficos.**

Elemento	Peso atômico	Kta 03 A			Kta 10					Kta 22				
		Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D	Ponto E	Ponto A	Ponto A 400	Ponto B	Ponto B 400	Ponto B 1000
<b>O</b>	<b>16</b>													
<b>Na</b>	<b>22,98</b>				1,188	2,688	2,523		2,71	7,349				10,456
<b>Mg</b>	<b>24,3</b>				2,625		1,409		1,546					
<b>Al</b>	<b>26,98</b>	5,191		15,742	7,442	9,909	1,316	5,445	2,186	18,169	4,908	18,138	3,877	19,823
<b>Si</b>	<b>28,08</b>	88,36		59,039	16,064	26,001	2,124	10,273	2,748	74,482	31,657	60,874	33,714	59,241
<b>K</b>	<b>39,09</b>	6,449		25,219		7,128		2,689			1,459	20,988	2,61	
<b>Ca</b>	<b>40,08</b>				17,678									
<b>Ti</b>	<b>47,9</b>		24,225											
<b>Mn</b>	<b>54,94</b>													
<b>Fe</b>	<b>55,84</b>				55,003	54,274	92,628	76,232	90,81		61,976		59,799	10,48
<b>Ba</b>	<b>137,34</b>		75,775											
<b>Zn</b>	<b>65,37</b>							5,361						
<b>P</b>	<b>30,97</b>													
<b>Total</b>		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Na2O</b>	<b>61,96</b>	0,000	0,000	0,000	1,602	3,624	3,401	0,000	3,653	9,907	0,000	0,000	0,000	14,096
<b>MgO</b>	<b>40,3</b>	0,000	0,000	0,000	4,353	0,000	2,337	0,000	2,564	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Al2O3</b>	<b>101,96</b>	9,809	0,000	29,745	14,062	18,724	2,487	10,289	4,131	34,331	9,274	34,273	7,326	37,457
<b>SiO2</b>	<b>60,08</b>	189,055	0,000	126,320	34,371	55,632	4,545	21,980	5,880	159,362	67,733	130,246	72,135	126,752
<b>K2O</b>	<b>94,18</b>	7,769	0,000	30,380	0,000	8,587	0,000	3,239	0,000	0,000	1,758	25,283	3,144	0,000
<b>CaO</b>	<b>56,08</b>	0,000	0,000	0,000	24,735	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>TiO2</b>	<b>79,9</b>	0,000	20,204	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>MnO</b>	<b>70,94</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Fe2O3</b>	<b>159,68</b>	0,000	0,000	0,000	78,643	77,601	132,439	108,996	129,840	0,000	88,613	0,000	85,501	14,984
<b>BaO</b>	<b>153,34</b>	0,000	84,603	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



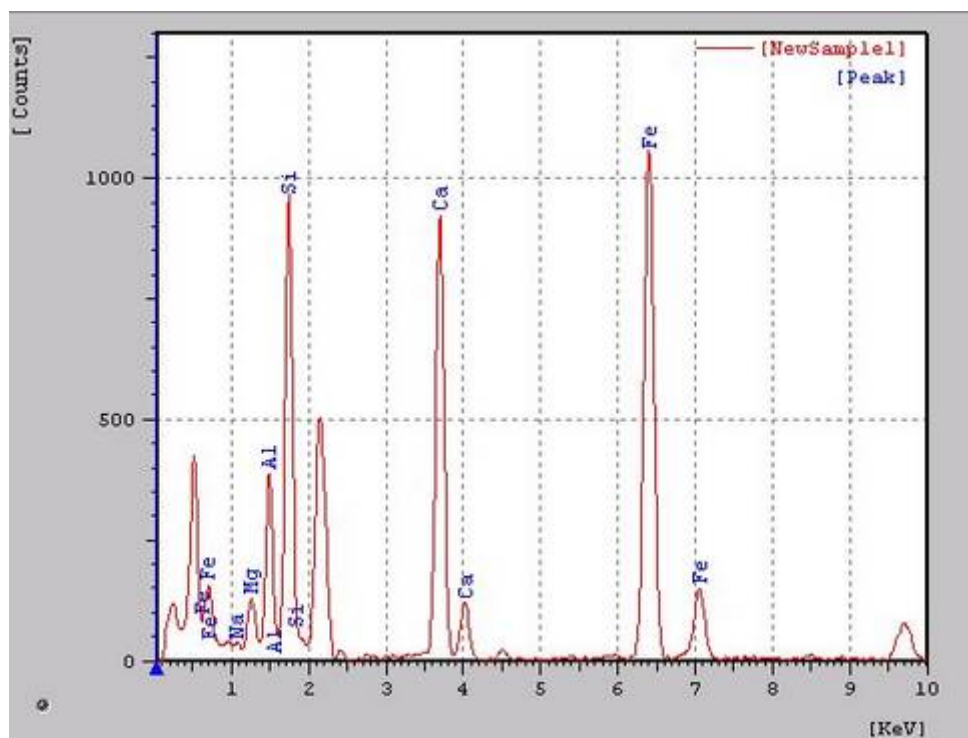
<b>ZnO</b>	<b>81,37</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,673	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>PO4</b>	<b>94,97</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>total</b>		206,633	104,807	186,445	157,766	164,167	145,209	151,178	146,068	203,600	167,378	189,802	168,105	193,289
<b>Na2O(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	1,015	2,207	2,342	0,000	2,501	4,866	0,000	0,000	0,000	7,293
<b>MgO(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	2,759	0,000	1,609	0,000	1,755	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Al2O3(Norm)</b>		4,747	0,000	15,954	8,913	11,405	1,712	6,806	2,828	16,862	5,541	18,057	4,358	19,379
<b>SiO2(Norm)</b>		91,493	0,000	67,752	21,786	33,887	3,130	14,539	4,025	78,272	40,467	68,622	42,910	65,576
<b>K2O(Norm)</b>		3,760	0,000	16,294	0,000	5,231	0,000	2,143	0,000	0,000	1,050	13,321	1,870	0,000
<b>CaO(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	15,678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>TiO2(Norm)</b>		0,000	19,278	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>MnO(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Fe2O3(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	49,848	47,270	91,206	72,098	88,890	0,000	52,942	0,000	50,861	7,752
<b>BaO(Norm)</b>		0,000	80,722	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>ZnO(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,414	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Po4(Norm)</b>		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total(Norm)</b>		100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

# FOTOMICROGRAFIA COM LEGENDA DA AMOSTRA KTA 10

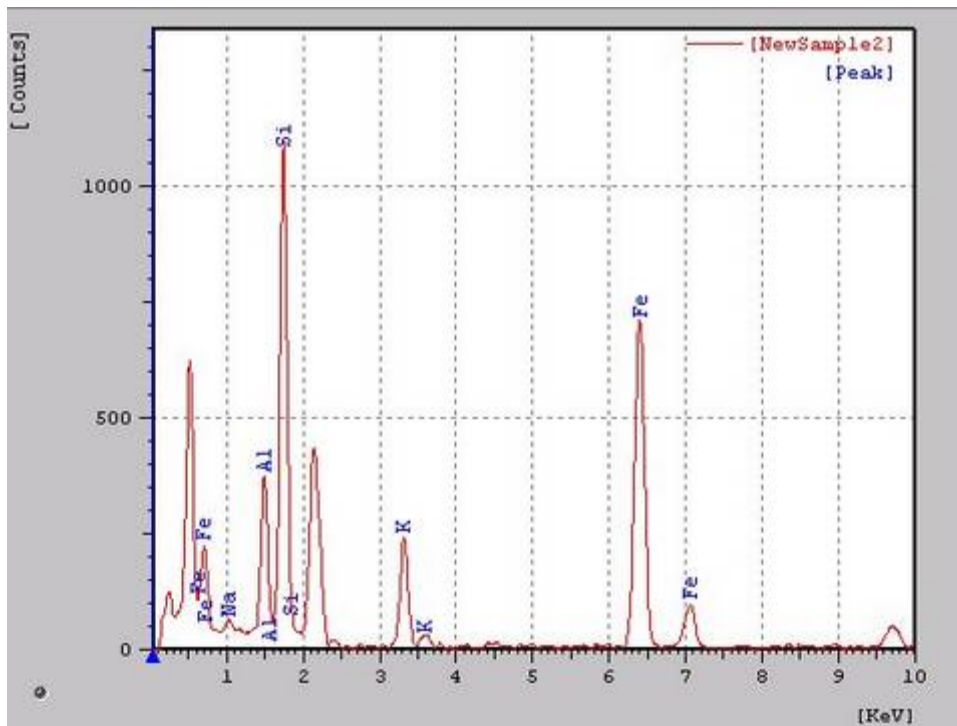


## GRÁFICOS

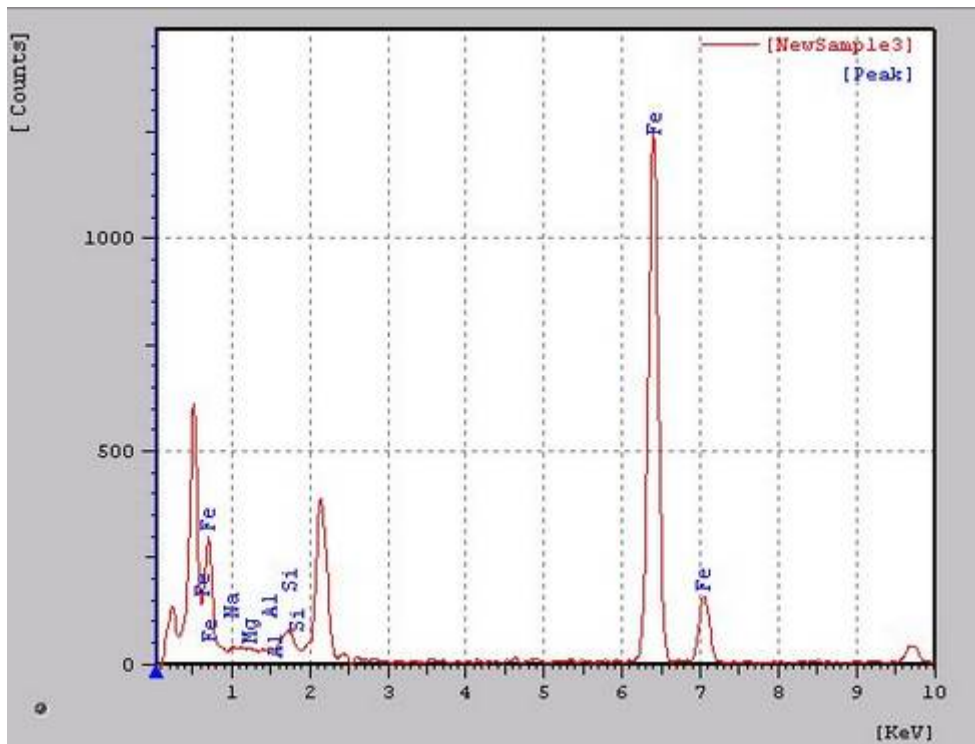
Ponto A



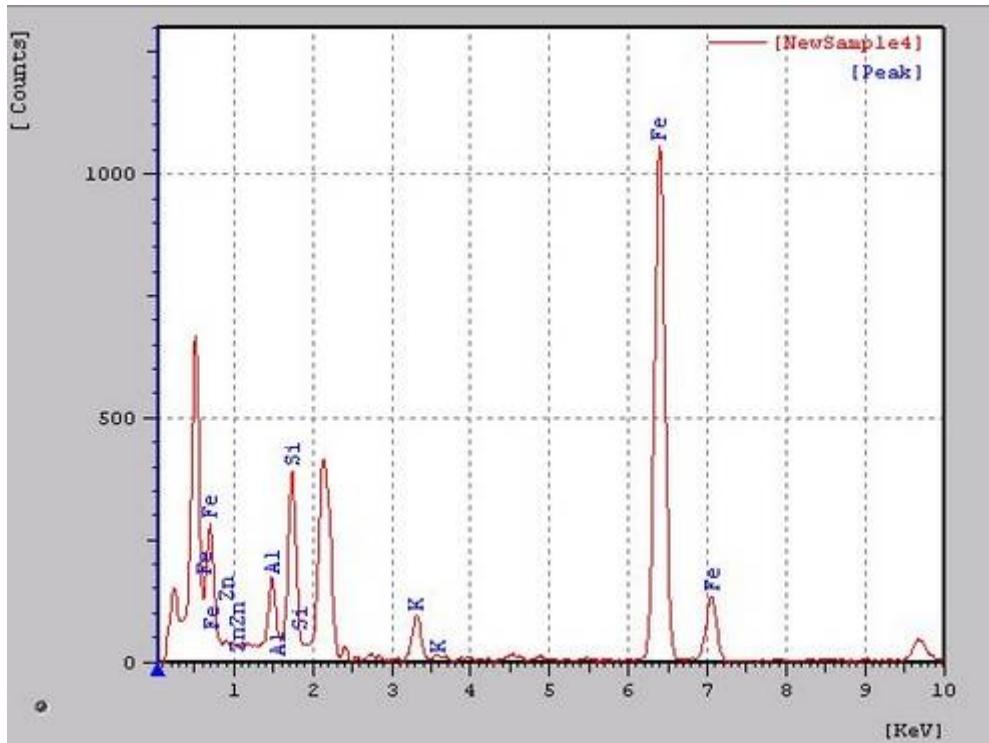
Ponto B



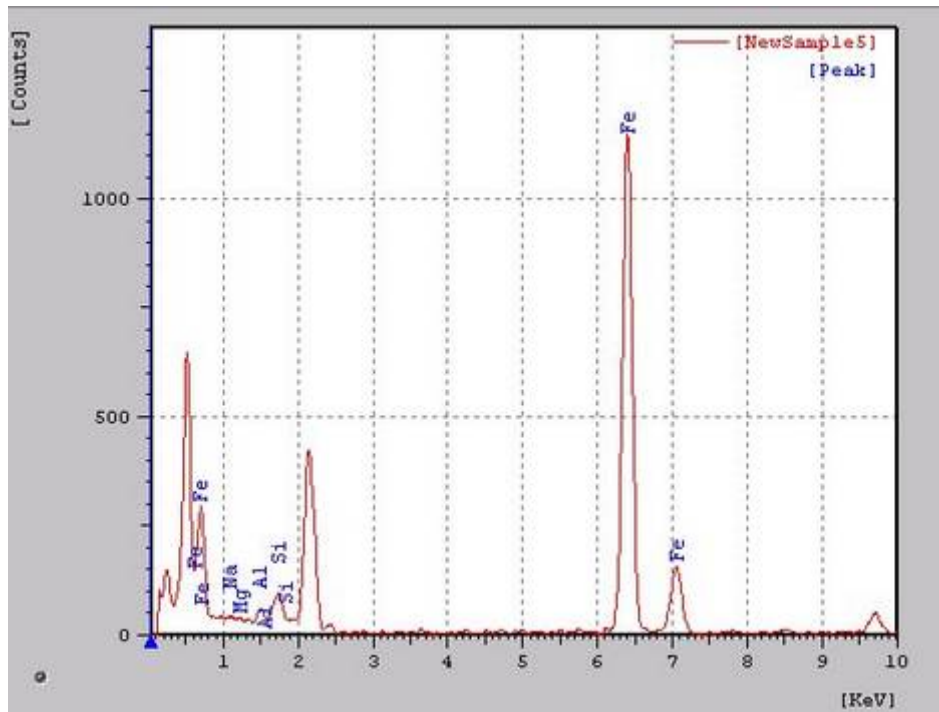
Ponto C



Ponto D



Ponto E



**ANEXO III**

**Planilha de resultados da microsonda**

No.	Na	Mg	Si	Al	K	Ca	Cl	Ti	Cr	Fe	Mn	V	Ni	Total
1	0,1475	0	11,22	0,0614	0,0441	0,6714	0,0101	0,0003	0,003	0,6198	0,0737	0	0	12,8524
2	0,0248	0,0781	1,07	0,0703	0,0203	0,0348	0,013	0	0	21,5799	0,0231	0,0077	0,0052	22,9268
3	0,0379	0,0015	9,371	2,2888	2,3575	0	0	0,0028	0	0,6154	0,0008	0,0013	0,0014	14,6787
4	0	0	11,88	0,0037	0,0054	0,0016	0	0,0001	0,006	0,218	0	0,0024	0	12,1169
5	0	0	11,88	0,0051	0,0087	0	0	0	0	0,2292	0,0027	0,0033	0,0014	12,1255
6	0,007	0	11,91	0,0093	0,0122	0,0005	0	0,0033	0	0,147	0,0012	0,001	0,0005	12,0916
7	0,0863	0	8,965	3,0022	2,8983	0	0,0088	0	0	0,0719	0,001	0,0014	0	15,0347
8	0,0101	0	0,3	0,142	0,0478	0,0081	0,008	0,1067	0,0015	22,903	0,0059	0,0165	0	23,55
9	0,0123	0,025	1,481	0,3751	0,1261	0,0262	0,0191	0,0141	0,0095	20,2869	0	0,0051	0,0173	22,3981
10	0	0,0053	0,083	0,0464	0,041	0,0042	0,0027	11,645	0,003	0,2863	0,0037	0,0995	0,0009	12,221
11	0	0,0055	0,133	0,0464	0,03	0,0002	0,001	11,652	0	0,1953	0,0052	0,0924	0	12,1614
12	0,0144	0,0283	2,142	0,3617	0,0528	0,0193	0	0,0062	0	19,0514	0,0246	0,0009	0,0023	21,704
13	0,0079	0,0028	0,448	0,046	0	0	0	0	0	23,0284	0	0	0,0009	23,5336
14	0,0117	0	0,436	0,03	0,0076	0,0013	0	0	0,0147	23,0384	0,0024	0,0039	0,0038	23,5497
15	0,009	0	0,292	0	0	0,0154	0,0059	0,0488	0,0011	23,2871	0	0	0,0103	23,6694
16	0	0,0128	0,189	0,0559	0,0182	0,0061	0,0013	0,0129	0	23,4704	0	0,0091	0	23,7759
17	0,0028	0,0073	1,111	0,3761	0,3239	0	0,0031	0,0272	0	20,9832	0	0,0015	0,0032	22,8394
18	0	0	0,128	0,0241	0,0046	0	0	0,0607	0	23,5795	0	0	0,0053	23,8019
Minimum	0	0	0,083	0	0	0	0	0	0	0,0719	0	0	0	12,0915
Maximum	0,1475	0,0781	11,91	3,0022	2,8983	0,6714	0,0191	11,652	0,0147	23,5795	0,0737	0,0995	0,0173	23,8018
Average	0,0206	0,0093	4,057	0,3858	0,3333	0,0438	0,0041	1,31	0,0022	12,4217	0,008	0,0137	0,0029	18,6128
Sigma	0,0379	0,0192	5,038	0,8411	0,8433	0,157	0,0056	3,7613	0,0041	11,2168	0,018	0,0302	0,0045	5,3315
No. of data														
18														