



## **Petrografia da Sequência Metaultramáfica de Novo Oriente - CE: Vestígios de Um Ofiolito Transicional ou Uma Margem Passiva Pobre Em Magma**

**Evilarde Carvalho Uchôa Filho<sup>1</sup>; Wagner da Silva Amaral<sup>2\*</sup>; João Paulo Araújo Pitombeira<sup>1</sup>; Clóvis Vaz Parente<sup>1</sup>**

Recebido 29 de novembro de 2013/ Aceite em 27 de fevereiro de 2014

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza-CE.

<sup>2</sup>Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-SP.  
 Autor para correspondência: wamaral@ige.unicamp.br.

### **Resumo**

No município de Novo Oriente, Ceará, na localidade conhecida como Morro dos Pereiras, rochas metaultramáficas ocorrem intercaladas a sequências metassedimentares pertencentes à Formação Caraúbas, do Grupo Novo Oriente. A partir de mapeamento em escala de detalhe (1:10.000) foram discriminadas as seguintes unidades: i) metaultramáfica, composta por serpentinitos cisalhados ou não, clorititos, actinolititos, tremolititos, talco-clorita xistos, serpentina-talco xistos, rochas talco-silicosas e listwanitos; ii) metaexalativa, composta por turmalinitos; iii) metapelítica, constituída por cianititos, sericita-quartzo filitos com turmalina, biotita-sericita-quartzo filitos com turmalina e clorita-biotita xistos; iv) calcissilicática, composta por tremolita-diopsídio-granada xisto/quartzito; além de metaqueratófiros intercalados aos metapelitos e granitóides equivalentes ao magmatismo Santa Quitéria. O grau metamórfico predominante corresponde à fácies xisto verde baixo na Sequência Metapelítica e nas unidades metaexalativa e metaultramáfica, podendo alcançar condições de fácies anfibolito na última e anfibolito médio/superior, na unidade calcissilicática. Estudos petrográficos de seções delgadas/polidas, em microscópio óptico convencional e também em microscópio de varredura eletrônica – MEV, confirmaram a presença de diversos minerais de interesse econômico tais como cristais de Cr-magnetita, ferricromita e Cr-espinélio associados às rochas da sequência metaultramáfica. A ocorrência de cristais de Cr-espinélio bordejados por ferricromita e Cr-magnetita é um importante indicador petrológico, frequentemente descrito em sequências ofiolíticas de composição harzburgítica. Os dados obtidos sugerem que a região do Morro dos Pereiras poderia corresponder a uma parte de um manto sub-litosférico continental desenvolvido em uma zona de transição oceano-continental (*ocean-continental transition - OCT*), exumado durante o desenvolvimento de uma margem passiva pobre em magmas gerada pela fissão do Supercontinente Rodínia e posteriormente, desmembrado pela fase colisional da Orogenia Brasileira/Pan-Africana.

Palavras chaves: Mapeamento geológico, Metaultramáfica, Petrografia

### **Abstract**

*Metaultramafic rocks occur intercalated with metasedimentary sequences that belong to the Caraúbas Formation of the Novo Oriente Group, Ceará State, northeast Brazil. From detailed mapping, the following units were identified: i) a metaultramafic unit, composed of serpentinites (sheared or isotropic), chloritites, actinolitites, tremolitites, talc-chlorite schists, serpentine-talc schists, talc-rich siliceous rocks and listwänites; ii) a meta-exhalative unit, composed of tourmalinites; iii) a metapelitic unit, constituted by kyanitites, tourmaline-bearing sericite-quartz phyllites, tourmaline-bearing biotite-sericite-quartz phyllites, and chlorite-biotite schists; iv) a calc-silicate unit, composed of tremolite-diopside-garnet schist/quartzite; v) metakeratophyres intercalated with metapelites, and vi) granitoids equivalent to the Santa Quitéria magmatic arc. The predominant metamorphic grade corresponds to low greenschist facies in the Metapelitic Sequence and in the metaexhalative and metaultramafic units, also reaching amphibolite facies conditions in the latter and mid/upper amphibolite in the calc-silicate unit. Petrographic studies of thin/polished sections under conventional optical microscope and also scanning electron microscope - SEM, confirmed the presence of several minerals of economic interest, such as Cr-magnetite, ferrichromite and Cr-spinel associated with the rocks of the metaultramafic sequence. The data suggest that this region could correspond to a part of a continental sub-lithospheric mantle developed in an ocean-continent transition (OCT) zone exhumed during the development of a magma-poor passive margin, generated by the assembly of the Rodinia Supercontinent, which was later dismembered by the Brasiliano/Pan-African Orogeny collisional phase.*

*Keywords:*

### **INTRODUÇÃO**

A ocorrência de rochas mantélicas na crosta continental deve-se em maior parte, a corpos máfico-ultramáficos tectonicamente colocados durante processos de orogénia ou a xenólitos trazidos por condutos e intrusões magmáticas (Bucher and Frey, 1994). Na crosta terrestre ocorrem basicamente dois tipos de rochas mantélicas: (1) fragmentos da base de sequências ofiolíticas, podendo ter composição harzburgítica (Harzburgite Ophiolite Type) ou lherzolítica (Lherzolite Ophiolite Type); (2) fragmentos de manto sub-continental associados a margens passivas pobres em magmatismo, geralmente de composição harzburgítica ou dunítica (e.g., Boillot et al. 1987; Bucher and Grapes, 2011).

Sequências ofiolíticas constituem importante instrumento para o entendimento dos processos tectônicos e magmáticos da litosfera oceânica através do tempo geológico. Entre o Arqueano e o Mesoproterozoico os registros de

sequências ofiolíticas são escassos, devido a eventos de deformação intensa e retrabalhamento crustal (e.g., Dilek & Furnes, 2011). As sequências ofiolíticas pré-cambrianas de maior expressão correspondem aos fiolitos neoproterozoicos, cujos registros ocorrem principalmente na África, América do Sul, Arábia, Europa, Ásia central e noroeste da Índia (e.g., Moores, 2002; Dilek, 2003).

Diversos trabalhos dissertam acerca das sequências ofiolíticas no Deserto do Egito, nas regiões de Um Salim-Um Salatit (Salem *et al.*, 2012), El Ideid-El Sodmein (Farahat, 2008), Bir Al-Edeid (Azer e Khalil, 2005), no Marrocos em Bou Azzer Anti Atlas (Ahmed *et al.*, 2005). Os ofiolitos descritos se caracterizam por serem frequentemente desmembrados, e por ocorrências de bolsões de serpentinitos associados a sequências metassedimentares em regimes tectônicos regidos por falhas de empurrão. Os registros de rochas ofiolíticas no Brasil assemelham-se às ocorrências do deserto egípcio,

e são representados por rochas metaultramáficas, plutônicas, tectonicamente intercalados com seqüências metavulca-nossedimentares, com grau metamórfico variando de fácies xisto verde a anfibo-lito. Os principais registros no Brasil são de idade neoproterozoica, ocorrendo nas faixas móveis Araçuaí, Brasília, Araguaia e Ribeira (e.g., Pedrosa-Soares *et al.*, 1998; Tassinari *et al.*, 2001; Suíta *et al.*, 2004; Queiroga *et al.*, 2007; 2012; Paixão *et al.*, 2008; Paixão, 2009).

A concepção de margens passivas está diretamente relacionada à abertura completa de um oceano, onde sua largura e estrutura dependem de diversos fatores. Durante a formação de uma margem passiva pode haver magmatismo abundante ou não. Quando há geração de rochas vulcânicas em pequeno volume, a margem passiva é caracterizada como pobre em magma (*magma-poor passive margin*) (Reston *et al.* 1993; Manatschal, 2004; Manatschal, 2001; Franke, 2013). Neste caso, rochas mantélicas podem aflorar no assoalho oceânico e devido ao processo de metamorfismo de fundo oceânico, as rochas mantélicas, geralmente de composição harzburgítica, exibem grau elevado de serpentinização.

Apresentam consistentemente extremo afinamento crustal, acompanhado por falhamentos normais, serpentinização do manto superior situado abaixo da crosta (2-8 km de profundidade) e exumação de ampla zona do manto na transição continente-crosta oceânica, acompanhada por desenvolvimento de uma superfície de descolamento (*detachment*) e falhas com grandes deslocamentos (Reston, 2009). A carência de magmatismo pode ser explicada pela dependência da profundidade para o estiramento da litosfera e por uma litosfera sub-crustal pré-escotada, com o rifteamento iniciado no manto sub-litosférico frio, o que explica o déficit de subsidência observado em algumas margens. Com o resfriamento e estiramento as porções dúcteis da crosta média e profunda se tornam mais frágeis, resultando na formação de falhas que cortam a Moho e possibilitando a percolação de água do mar que aquecida em profundidade, circula convectivamente ocasionando a

serpentinização. O complexo processo de falhamento polifásico continua após a separação crustal completa, resultando na exumação de grandes corpos peridotíticos de origem mantélica (Whitmarsh *et al.*, 2001; Perez Gussinyé and Reston, 2001; Reston, 2009).

Nos arredores de Novo Oriente, sudoeste do Ceará, ocorrem diversas lascas tectônicas preservadas como altos topográficos. A mais expressiva elevação é conhecida como Morro dos Pereiras, formado da base para o topo por uma associação de rochas metaultramáficas hidrotermalizadas (serpentinitos, actinolitos, clorititos, talco-xistos e listwanitos), encaixadas em rochas metassedimentares (filitos, cianititos, xistos). Trabalhos de mapeamento geológico foram efetuados na região, entretanto algumas questões ainda merecem atenção. Por exemplo, qual o ambiente de geração das rochas metaultramáficas? Seriam restos de um complexo ofiolítico transicional do tipo OCT, desmembrado pela Orogenia Brasileira-Pan-Africana? Ou representariam parte do manto continental sub-litosférico exumado em uma margem pobre em magmatismo? Neste sentido, este trabalho tem como objetivo contribuir para melhor entendimento geotectônico da seqüência a partir do mapeamento geológico em escala de detalhe (1:10.000) e estudos petrográficos em microscopia ótica/eletrônica.

## LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo localiza-se nas adjacências do Município de Novo Oriente, situado no sudoeste do Estado do Ceará, que faz fronteira com os municípios de Crateús, a norte, Parambú e Tauá, a sul e sudeste, respectivamente. O polígono da área em apreço é definido pelas coordenadas UTM (WGS-84, ZONA 24S): 93923300/308500 (vértice superior esquerdo) e 9388300/312500 (vértice inferior direito).

Do ponto de vista geotectônico, a área de estudo encontra-se inserida no Domínio Ceará Central – DCC, situado na porção setentrional da Província Borborema – PB (Almeida *et al.*, 1981), nordeste da Plataforma Sul-americana (Figura 1).

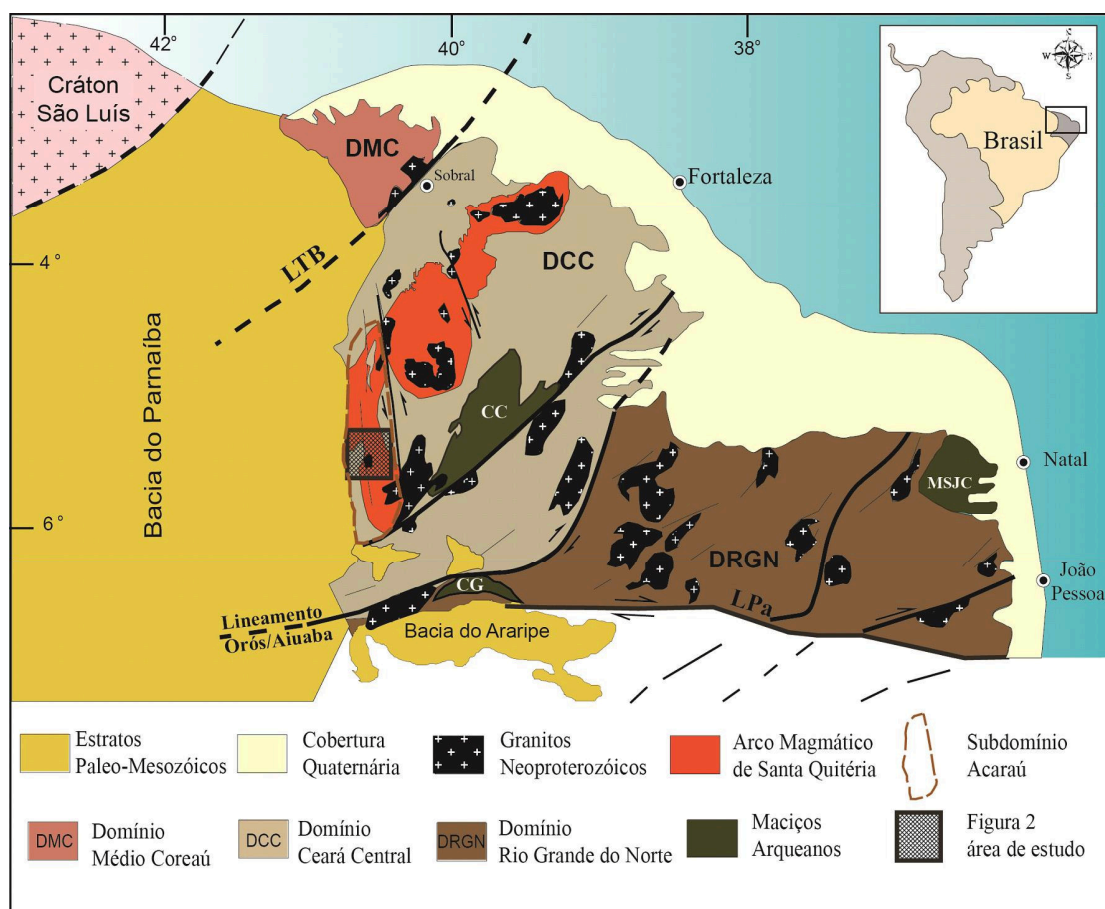


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da PB, apresentando seus domínios e plútons brasileiros (modificado de Fetter et al., 2003).

A PB é interpretada como uma complexa região de domínios tectônicos e estratigráficos, marcados por eventos termo-tectônicos de várias idades, dos quais o mais importante (Orogenia Brasiliano/Pan-Africana) data do Neoproterozoico. A configuração atual da PB resultou da Orogenia Brasiliana - Panafricana em consequência da convergência dos crátons Amazônico - São Luiz - Oeste Africano e São Francisco - Congo e incluindo a participação de blocos menores, durante a formação do Gondwana Ocidental.

O Domínio Ceará Central é constituído por: 1) Remanescentes de idade arqueana (3,2-2,7 G.a) de afinidade TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito) pertencentes ao Complexo Cruzeta; 2) Ortognaisses intermediários a félsicos migmatizados, incluindo rochas supracrustais, além de rochas de caráter

juvenil de idade paleoproterozoica (2,1-2,2 G.a, Fetter et al., 2000; Martins et al., 2009); 3) Rochas supracrustais de alto grau de idade neoproterozoica representadas pelas unidades do Complexo Ceará e Grupo Novo Oriente (Arthaud, 2008); 4) Granitoides de Idade Neoproterozoica constituintes do Arco Magmático Santa Quitéria (e.g., Fetter et al., 2003; Costa et al., 2013); 5) Granitoides pós-colisionais a anarogênicos de idade neoproterozoica a ordoviciana (Fetter, 1999; Castro et al., 2008, 2012).

As sequências supracrustais de alto grau do Complexo Ceará são representadas por metamorfitos de origem terrígena (antigos pelitos, semipelitos e grauvacas), por vezes migmatizados, expostos em ambos os flancos do Arco Magmático Santa Quitéria. Também ocorrem lentes de quartzitos, mármore, rochas calcissilicáticas, derrames basálticos e/ou tufos

máficos (Arthaud *et al.*, 2008). Ocorrências de retroeclogitos associados a essas rochas metassedimentares, em ambos os lados do Complexo Tamboril - Santa Quitéria também são registradas (Castro, 2004; Santos *et al.*, 2009; Amaral, 2010, Amaral *et al.* 2011, Ancelmi *et al.*, 2013).

O Grupo Novo Oriente localiza-se na porção sudoeste do DCC, mais precisamente no Sub-domínio Acaraú, que tem seus limites balizados pelo Lineamento Transbrasiliano e Zona de Cisalhamento Tauá (Figura 1). O Sub-domínio Acaraú é caracterizado por tectônica tangencial, com foliações de baixo a médio ângulo de mergulho para NW e subordinadamente para SW. Diferentemente das demais rochas do DCC, as rochas do Sub-Domínio Acaraú são caracterizadas por metamorfismo de baixo a médio grau, sem anatexia e com feições primárias ainda preservadas (de Araújo *et al.*, 2010a, 2011).

O Grupo Novo Oriente é formado por duas seções tectono-estratigráficas distintas, relacionadas ao seu preenchimento sedimentar. Cavalcante *et al.* (2003) dividiram o Grupo Novo Oriente em duas formações: Formação Bonsucesso, dominada por depósitos clásticos psamíticos e Formação Caraúbas, predominantemente pelítica, com contribuição sedimentar química. A ocorrência de rochas ígneas perfaz menos de 15% da sequência e é assinalada pela intercalação de rochas de composição máfico-ultramáfica.

Na porção nordeste, onde afloram rochas da Formação Caraúbas, os principais tipos litológicos incluem: 1) xistos micáceos com porfiroblastos de granada ± estauroлита ± sillimanita ± cianita ± cordierita, com ampla variação no conteúdo quartzo-feldspático, que pode desenvolver subordinadamente camadas de quartzito fino; 2) filitos e metarenitos finos com ou sem biotita; 3) metacalcários; 4) rochas metamáficas e metaultramáficas; 5) derrames ácidos e seus produtos piroclásticos, além de rochas vulcanoclásticas.

Os dados geocronológicos ainda são escassos e limitam-se a idades Sm-Nd ( $T_{DM}$ ) em

rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, nas quais os valores variam entre 1,36-1,56 Ga (Ferreira, 2008; Cavalcante *et al.*, 2003). Granitoides que intrudem as rochas da sequência apresentam idades Pb-Pb em zircão de ca. 640 Ma (Araújo *et al.*, 2012a).

Cinco associações litoestratigráficas foram mapeadas na região de Novo Oriente (de Araújo *et al.*, 2010a, 2011): (1) Embasamento de provável idade paleoproterozoica (sem dados geocronológicos), constituído por biotita gnaisse migmatítico de alto grau metamórfico, de origem sedimentar, representado pelo Complexo Canindé do Ceará; (2) Supracrustais em posição estratigráfica desconhecida, constituídas por rochas metavulcânicas ácidas, metapiroclásticas, metavulcânicas e metatufos intermediários e paragneisses representados pela Unidade Morro dos Torrões; (3) Sequência metavulcanos-sedimentar, em parte exalativa, representada pelo Grupo Novo Oriente; (4) Arco Magmático Santa Quitéria, representado por extensa granitogênese neoproterozoica associada à Orogenia Brasileira/Pan-Africana; (5) Coberturas fanerozoicas constituídas pelas rochas do Grupo Serra Grande, parte da Bacia do Parnaíba.

Nas proximidades da área de estudo predominam as unidades metaexalativa, metapelítica e metaultramáfica pertencentes a Formação Caraúbas do Grupo Novo Oriente, migmatitos, granitoides e calcissilicáticas (Unidade Morro dos Torrões) do Arco Magmático Santa Quitéria, além de depósitos colúvio-aluvionares do Quaternário (Figura 2).

## **GEOLOGIA LOCAL**

A geologia da região do Morro dos Pereiras consiste predominantemente de rochas metapelíticas de baixo grau a médio grau metamórfico, denominadas de Sequência Metapelítica, composta por filitos, cianititos e xistos (Uchôa Filho, 2013). A Sequência Metapelítica que faz parte da Formação Caraúbas, do Grupo Novo Oriente, encontra-se disposta em contato tectônico com as sequências de rochas metaultramáficas, metaexalativas e



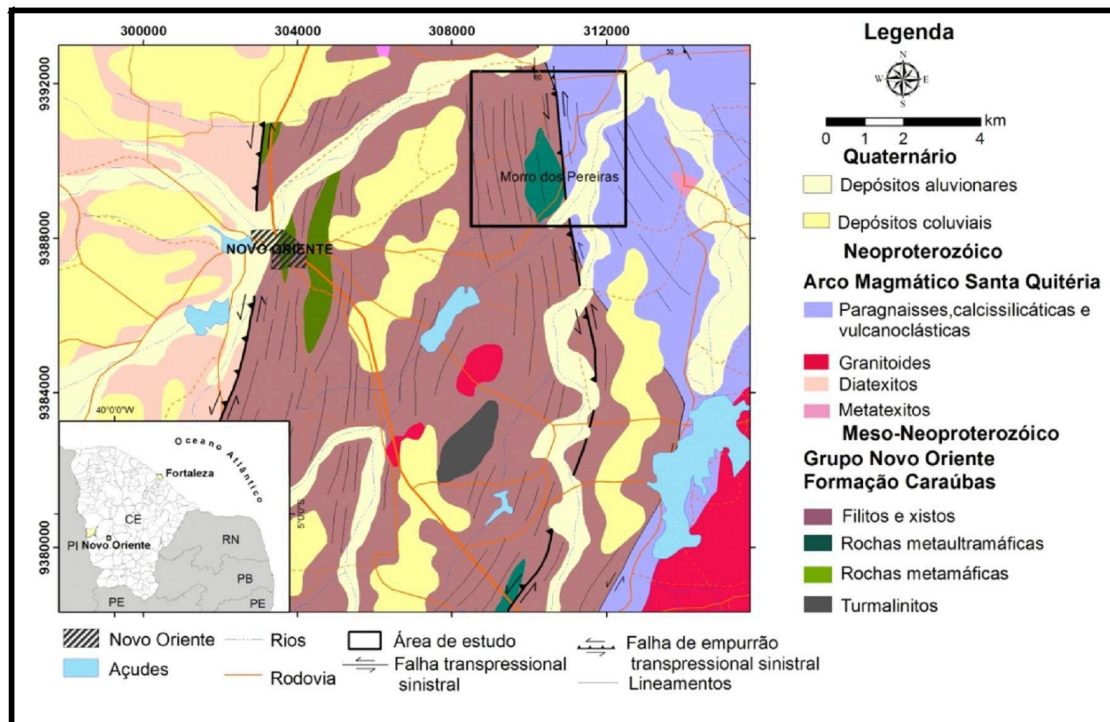


Figura 2 - Mapa geológico regional de Novo Oriente (Adaptado de Araujo et al. 2011).

calcissilicáticas. Ainda ocorrem granitoides, correlacionados ao magmatismo Santa Quitéria e metaqueratófiros, além de depósitos aluvionares e coluviais cenozoicos (Figura 3).

A configuração estrutural da região é marcada por estruturas planares com mergulhos suaves para SE e lineações *down-dip*, associadas a uma tectônica tangencial de baixo ângulo que passa gradativamente para zonas transcorrentes-transpressivas, onde as estruturas planas mostram mergulhos acentuados para oeste e as lineações de estiramento são sub-horizontais, com caimento para norte. O grau de metamorfismo predominante corresponde à fácies anfíbolito médio/altona sequênciametapelítica, e xisto verde metaexalativa e metaultramáfica, podendo alcançar condições de fácies anfíbolito nesta última, e anfíbolito médio/superior, na sequência calcissilicática.

As rochas pertencentes à sequência metaultramáfica correspondem predominantemente a serpentinitos cisalhados ou não, na forma de blocos deslocados e às vezes *in situ*. Os serpentinitos cisalhados são caracterizados

por coloração verde a roxeada (Figura 4A), e são compostos essencialmente por serpentina e Cr-magnetita, comumente estiradas. Os serpentinitos isotrópicos apresentam coloração esverdeada, textura maciça e são compostos por serpentina, Cr-magnetita e veios de quartzo tardios.

De maneira subordinada ocorrem actinolitos (Figura 4B) e tremolitos, clorititos (Figura 4C), talco-clorita xistos (Figura 4D), serpentina-talco xistos (asbestos) e rochas talco-silicosas. Estas rochas ocorrem via de regra na forma de blocos, às vezes *in situ*, no caso dos talco-clorita xistos, talco-silicosas e serpentina-talco xistos, e são interpretados como lentes encaixadas nos serpentinitos.

Uma característica típica da sequência metaultramáfica é a ocorrência de uma capa de alteração hidrotermal (listwanitos) de estrutura venular, composta essencialmente por sílica, óxidos/hidróxidos de ferro e cristais reliquiais de Cr-espínélio, de origem magmática, bordejados por Cr-magnetita (Figuras 4E-F). A sequência metaexalativa é constituída por

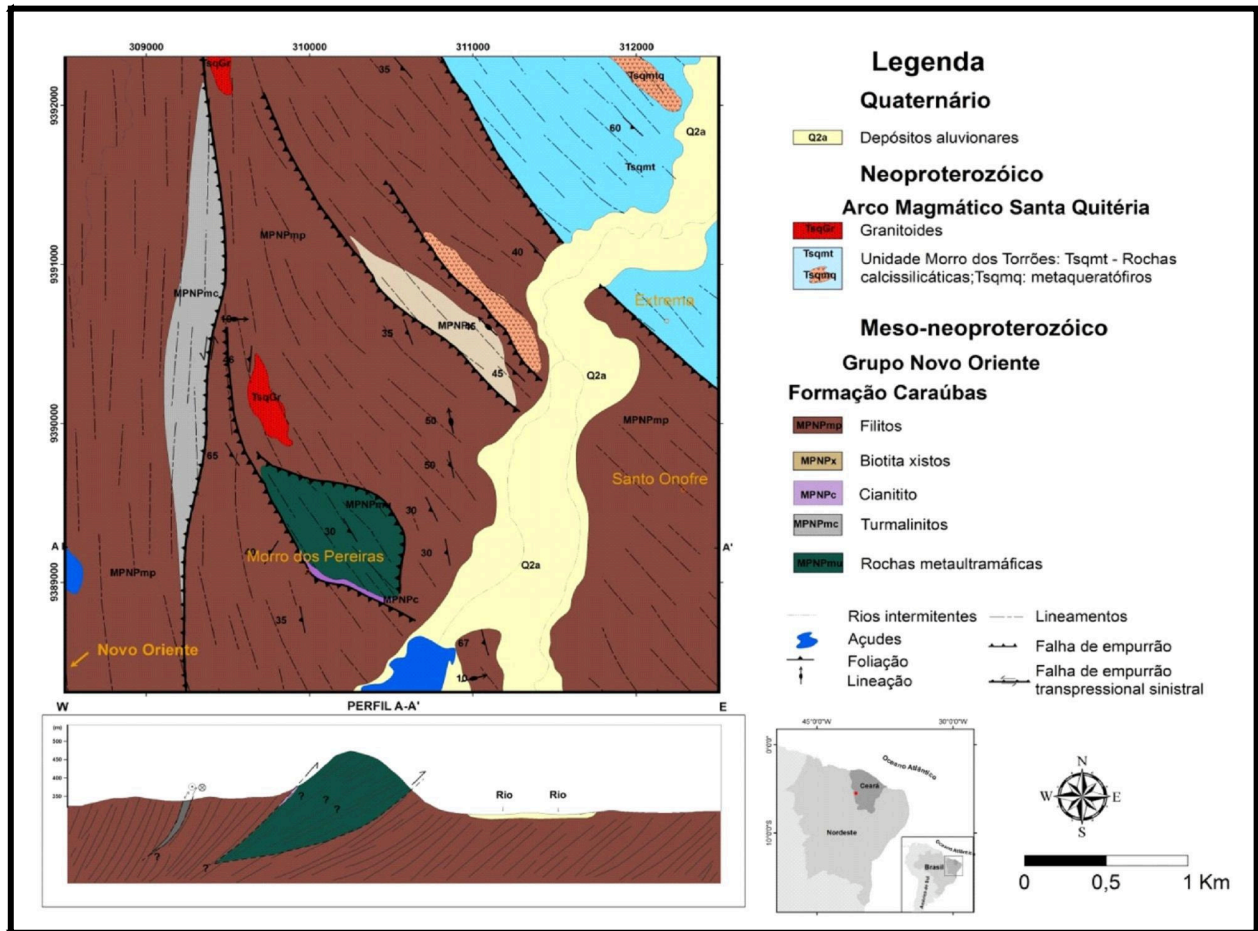


Figura 3 - Mapa geológico da área do Morro dos Pereiras (escala 1:10.000) (Fonte: Uchôa Filho, 2013).

turmalinitos que ocorrem geralmente na forma de blocos e às vezes *in situ* (Figura 4I). Essas rochas apresentam bandamento rítmico típico de exalitos, alternando bandas compostas por cristais recristalizados de quartzo (*metacherts*) e bandas compostas por turmalina. Quando cisalhados, os cristais de quartzo mostram assimetria devido à deformação e cristais de turmalina aparecem boudinados. Além da origem sin-sedimentar, também ocorre turmalina epigenética, formada posteriormente à sedimentação química.

A sequência calcissilicática é constituída por rochas calcissilicáticas, gnaisses paraderivados e rochas metavulcânicas de caráter ácido e assemelham-se com as rochas da Unidade Morro dos Torrões descrita por de Araújo et al. (2011). Nesta sequência e também na sequência metapelítica (Figuras 4G e 4H) ocorrem rochas de composição riolítica albitizadas por metassomatismo sódico, caracterizada pela ocorrência de fenocristais de feldspatos ovalados, semelhantes à textura esferulítica, sendo classificadas como metaqueratófiros (Figura 4J).





Figura 4 - A) Serpentinitos cisalhados in situ; B) Blocos de actinolitos; C) Blocos de clorititos; D) rocha talco-silicosa intercalada aos serpentinitos; E) Afloramento de listwanito com estrutura venular; F) Cristais de Cr-espínélio disseminados em listwanito; G) Foliito com intercalações de turmalinito; H) Porfiroblastos de cianita em cianitito; I) Turmalinito bandado in situ; J) Metaqueratófiro apresentando textura porfíritica.



## PETROGRAFIA

Foram descritas em microscópio óptico convencional, vinte seções delgadas e doze polidas dos litotipos mais representativos da área de estudo, visando melhor entendimento da paragênese dos diversos litotipos, processos de alterações hidrotermais e metamorfismo. As abreviações minerais são as recomendadas por Whitney e Evans (2010).

### Unidade Metaultramáfica

Os serpentinitos cisalhados apresentam-se foliados, com minerais estirados, e uma orientação marcada por minerais do grupo da serpentina, que imprimem na rocha textura lepidoblástica. O cisalhamento também é evidenciado pelo estiramento assimétrico de cristais de Cr-magnetita, que revela temperatura extremamente alta da deformação, provavelmente em ambiente mantélico. Além de textura lepidoblástica, ocorre também textura tipo *mesh*, caracterizada por núcleos de relictos de cristais de olivina alterados, tendo nas suas bordas serpentina tipo  $\alpha$ , típica da serpentinização em dunitos e peridotitos (Figura 5A). Nos listwanitos, variedade alterada dos serpentinitos, é comum a ocorrência de cristais de Cr-espinélio com bordas de Cr-magnetita (Figura 5B).

Os actinolitos apresentam textura porfirítica, marcada por cristais reliquiares de ortopiroxênio e anfibólio (Figura 5C). A assembléia mineral é dada por actinolita (Figura 5D) (50%), anfibólio (hornblenda) 20%, clorita (10%), Opx (10%), serpentina (5%), opacos (3-4%) e Cr-espinélio (1-2%).

Os clorititos apresentam foliação bem marcada e textura lepidoblástica impressa por cristais de clorita (Figura 5E). A assembléia mineral é constituída por clorita (85%), ulvoespinélio (10%), opacos (5%) e raramente biotita.

Os talco-clorita xistos apresentam textura lepidoblástica e raramente decussada (Figura 5F). Ocorrem estruturas dúcteis-rúpteis associadas a cristais de clinocloro dobrados em forma de *kinkbands*, com charneiras preenchidas por talco.

A assembléia mineral corresponde a clinocloro (65%), talco (30%) e serpentina (5%).

### Sequência Metaexalativa

Os turmalinitos são caracterizados por bandamento típico de processo singenético, alternando bandas ricas em turmalina e bandas ricas em quartzo (Figura 5G). A rocha apresenta textura granonematoblástica definida pelos cristais de quartzo e turmalina. A assembléia mineral é composta por turmalina (60%), quartzo (35%), rutilo (3%) e opacos (2%).

### Metaqueratófiros

Metaqueratófiros correspondem a rochas félsicas extrusivas albitizadas, consistindo essencialmente em albita e minerais de alteração como biotita e carbonatos. A rocha apresenta textura alotriomórfica, onde quase todos os minerais são xenoblásticos (Figura 5H). A assembléia mineral é dada por albita (50%), dolomita (40%), rutilo (5%), opacos (3%) e biotita (2%) raramente. É comum a ocorrência de textura esferulítica.

## ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA (MEV)

As análises por microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no Laboratório de Quantificação Mineral do Departamento de Geologia e Recursos Naturais – DGRN, Instituto de Geociências, UNICAMP. O método utilizado foi o de micro-análise pontual por dispersão de energia (EDS), no equipamento modelo LEO 430i da marca Zeiss. Foram efetuadas análises em seções delgadas/polidas e metalizadas em filme de carbono de listwanitos e serpentinitos, com ênfase na determinação de minerais de interesse econômico e indicadores das condições de metamorfismo.

As análises semi-quantitativas nos listwanitos foram realizadas segundo um perfil analítico para obtenção dos dados de variação dos elementos das bordas para os núcleos dos cristais de Cr-espinélio (Figuras 6A-D). Os resultados analíticos podem ser observados na Tabela 1.

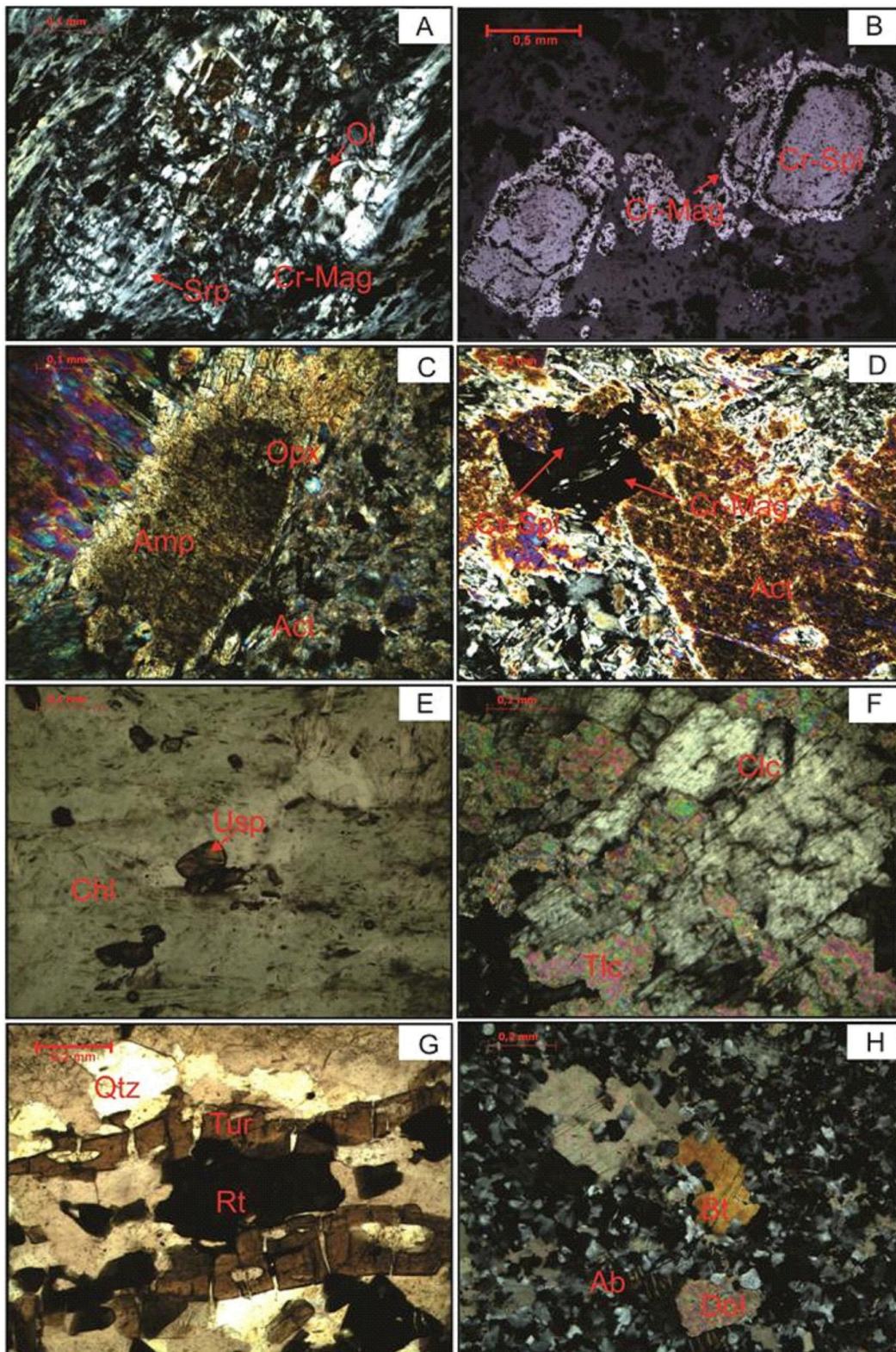


Figura 5 - A) Serpentinito apresentando textura tipomesh; B) Cristais de Cr-Splcom bordas de Cr-Mag em listwanito; C) Cristal reliquiar de Opx alterado para Amp (Hbl); D) Cristal reliquiar de Amp (Hbl) alterado para Act e Cr-Splcom bordas de Cr-Mag; E) Cloritito apresentando cristais de Usp inseridos em matriz composta por Chl; F) Cristais de Clc apresentando alteração para Tlc; G) Turmalinito apresentando bandamento rítmico de Tur e Qtz, com Rt; H) Textura esferulítica em metaqueratófiro.



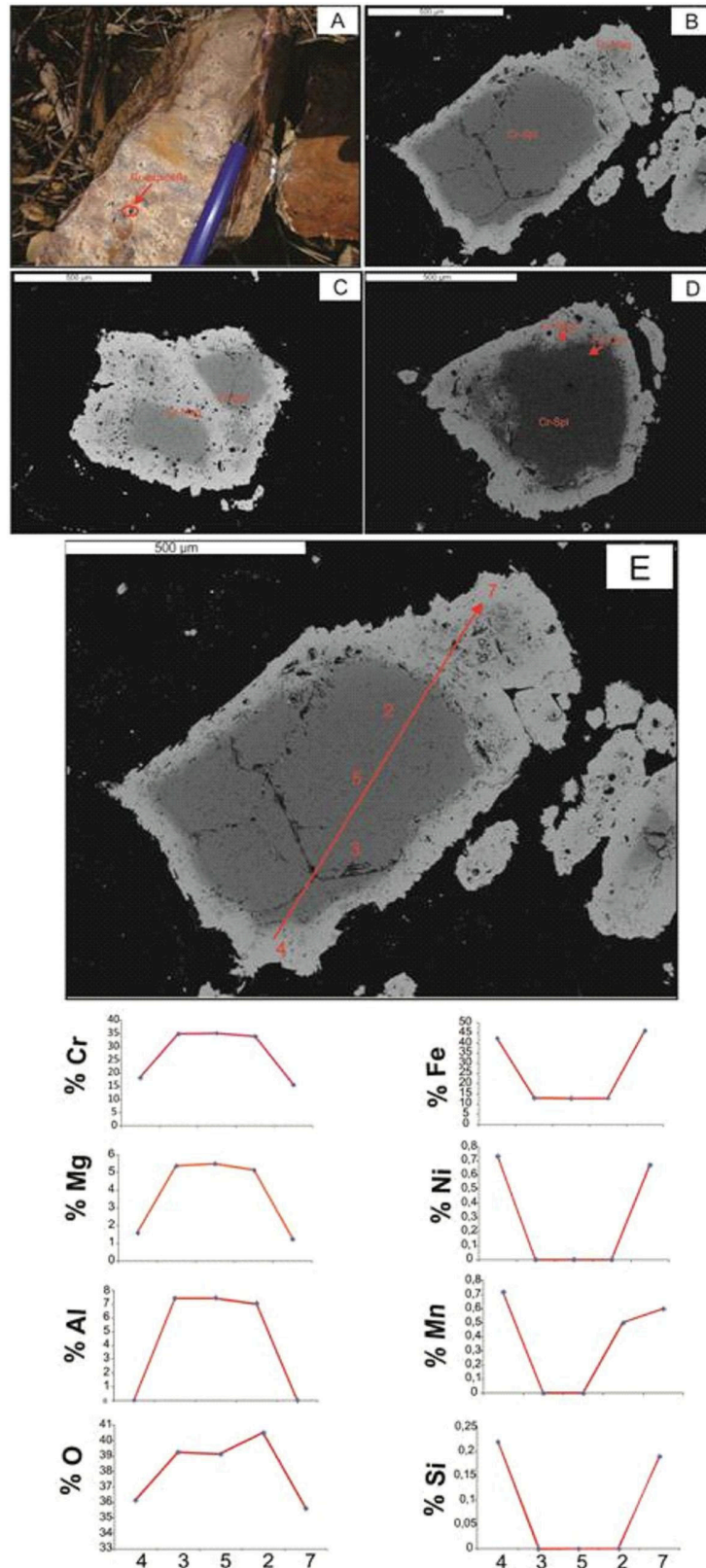


Figura 6 - A) Amostra NOEU-48; B) Back-scattered do Alvo 1 apresentando núcleo de Cr-Spl bordejado por Cr-Mag C) Back-scattered do alvo 2 apresentando núcleos de Cr-Spl com bordas de Cr-Mag; D) Back-scattered do Alvo 3 apresentando núcleo de Cr-Spl, transição de Fe-Chr e borda de Cr-Mag; E) Perfil analítico do Alvo 1 mostrando a variação dos percentuais dos elementos do núcleo para as bordas de alteração.

Tabela 1: Resultados analíticos para a amostra NOEU-48A.

Tabela 1: Resultados analíticos para a amostra NOEU-48A									
Resultados analíticos para o alvo 1									
Ponto	Al	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	O	Zn
1 (núcleo)	7,11	5,14	33,98	12,87	0,61			40,3	
2 (núcleo)	7,01	5,16	33,89	12,94	0,5			40,51	
3 (núcleo)	7,42	5,4	34,86	13,07				39,25	
4 (borda)		1,61	18,26	42,3	0,72	0,22	0,73	36,15	
5 (núcleo)	7,43	5,51	35,12	12,8				39,14	
6 (borda)	0,2	1,33	17,33	44,41	0,45		0,67	35,63	
7 (borda)		1,25	15,61	46,04	0,6	0,19	0,67	35,63	
Resultados analíticos para o alvo 2									
Ponto	Al	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	O	Zn
2 (núcleo)	6,68	4,83	34,59	13,49	0,52			39,88	
3 (borda)	0,26	1,9	25,69	34,64	0,97			36,55	
4 (borda)		0,96	15,69	46,96	0,36		0,53	35,49	
Resultados analíticos para o alvo 3									
Ponto	Al	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	O	Zn
1 (núcleo)	6,88	5,25	33,61	12,65	0,39			40,54	0,69
2 (borda)	1,35	2,4	29,93	27,3	0,67	0,16	0,31	37,89	
3 (borda)		1,13	15,77	45,81	0,49	0,2	0,64	35,95	
Resultados analíticos para o alvo 3									
Pontos	Al	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	O	Zn
4 (borda)		1,61	18,26	42,3	0,72	0,22	0,73	36,15	
3 (núcleo)	7,42	5,4	34,86	13,07				39,25	
5 (núcleo)	7,43	5,51	35,12	12,8				39,14	
2 (núcleo)	7,01	5,16	33,89	12,94	0,5			40,51	
7 (borda)		1,25	15,61	46,04	0,6	0,19	0,67	35,63	

As análises no núcleo do Alvo 1 renderam altos percentuais de Cr (média de 34,62%), Mg (média de 5,36%), Al (média de 7,29%) e O (média de 39,63%). Nas bordas de alteração é possível notar diminuição nos valores de Cr (média de 16,94%), Mg (média de 1,43%), Al (perda total), e O (média de 36,89%). Entretanto, há enriquecimento em Fe (média de 44,17%), Ni (média de 0,7%) e Si (média de 0,21%), com os percentuais de Mn se comportando de maneira aleatória. Os núcleos dos alvos 2 e 3 apresentaram resultados semelhantes aos do alvo 1, com altos percentuais de Cr (média de 34,1%), Mg (média de 5,04%), Al (média de 6,78%) e O (média de 40,21%). Igualmente ao alvo 1 os valores para as bordas de alteração apresentam a diminuição dos percentuais de Cr, Mg, Al e O. Os valores de Mn apresentam maiores percentuais quando analisados nas porções de composição similar à ferricromita.

No perfil analítico realizado no alvo 1 (Figura 6E) pode ser observado o comportamento do percentual dos elementos no sentido

borda-núcleo-borda. Os percentuais de Cr, Mg, Al e O decrescem do núcleo (Cr-espinélio) para as bordas de alteração (Cr-magnetita). Oposto a isso, os percentuais de Fe, Si, Ni e Mn crescem dos núcleos (Cr-espinélio) para as bordas (Cr-magnetita).

As análises nos serpentinitos foram realizadas visando obter a composição dos minerais opacos (magnetita) e minerais formadores de rochas reliquias, que serviram para indicar a composição do protólito dos serpentinitos e a evolução das alterações hidrotermais e metamorfismo. Os resultados analíticos para os serpentinitos cisalhados podem ser observados na Tabela 2.

Com base nos dados da química mineral semi-quantitativa e na descrição petrográfica, os minerais revelados na amostra NOEU-04B correspondem a cristais de Cr-magnetita envolvidos por serpentina (relictos de cristais de olivina, em núcleos de textura do tipo *mesh*, com bordas de serpentina (Figuras 7A-D).



Tabela 2: Resultados analíticos para a amostra NOEU-48B.

Tabela 2: Resultados analíticos para a amostra NOEU-04B											
Resultados analíticos para o alvo 1											
ponto	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Ni	O	Cl	Rb
1	0,88	4,41	59,62					0,69	34,39		
3	0,8	3,71	58,48	0,25				0,86	35,9		
4	0,92	5,59	56,59	0,26				0,77	35,87		
5	1,19	8,32	53,21	0,61				0,74	35,93		
6	1,5	11,52	49,37	0,48	0,3			0,6	36,21		
7	1,04	8,16	54,86	0,49	0,15			0,78	34,53		
8	0,94	6,04	57,3	0,38				0,56	34,78		
9	0,85	4,88	60,13					0,77	33,37		
10	0,65	3,49	64,51					0,86	30,5		
Resultados analíticos para o alvo 2											
ponto	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Ni	O	Cl	Rb
1	0,9	4,66	59,7					0,74	34,01		
2	0,96	3,59	61,01					0,69	33,76		
3	0,72	3,75	59,99					0,55	34,99		
Resultados analíticos para o alvo 3											
ponto	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Ni	O	Cl	P
1	3,72		48,42	0,37	1,73				45,52		0,23
2	35,12		2,75		4,25		0,56		57,32		
3	23,43		1,85		20,33				54,39		
Resultados analíticos para o alvo 3											
ponto	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Ni	O	Cl	Rb
1	1,06	3,6	59,29	0,34	0,48	0,18		0,68	34,38		
2	1,12	3,79	57,63		0,14	0,22		0,84	36,26		
3	0,44	6,33	83,04		0,27			0,9	9,02		
5	1,25	4,85	46,62	0,2				0,72	46,09		0,27
6	1,97	3,32	57,64		0,97	0,27		0,77	35,06		
7	0,81	4,43	68,86		0,21	0,16	0,2	0,76	24,57		
8	0,96	4,15	53,74	0,24	0,14			0,78	39,82	0,16	
9	1,52	3,24	43,34	0,2	0,82	0,4	2,8	0,5	47,17		
10	0,67	4,58	70,57		0,27	0,2		0,88	22,83		
11	25,05		2,65		23,63				48,67		
12	14,09	1,12	30,22		8,66			0,48	45,42		
Resultados analíticos para o alvo 4											
ponto	Mg	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Ni	O	Cl	Rb
1	24,63		1,97		21,88			0,55	50,97		
2	29,44		4,86	0,76	17,57		0,35	0,82	46,21		
3	24,14		2,42		22,44		0,5	0,57	48,08		1,84
4	31,52		3,49	0,92	2,98		0,15		60,93		
5	25,27		1,08		20,98				51,33		1,34
6	26,83		2,07		25,26			0,67	45,17		
7	37,6		7,04	1,42	3,15		0,36		50,43		

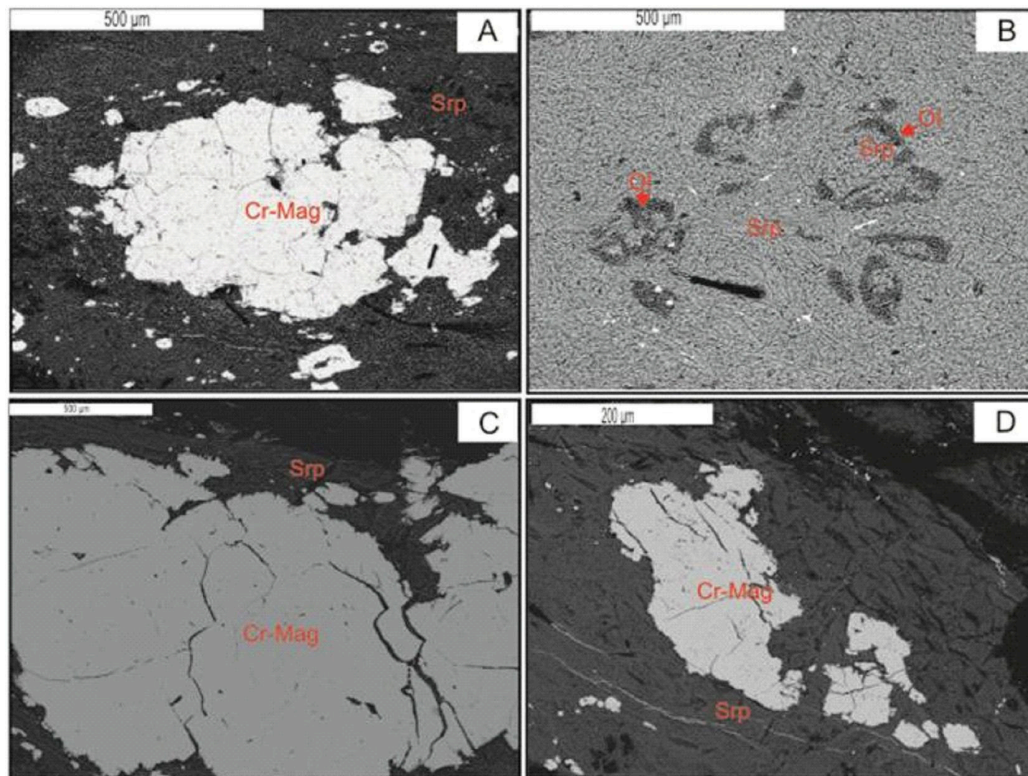


Figura 7 - A) Back-scattered de cristal de Cr-Mag envolto por Srp (amostra NOEU-04B); B) Back-scattered de relictos de Ol envolto por Srp; C) Back-scattered de cristal de Cr-Mag fraturado envolto por Srp; D) Back-scattered de cristal de Cr-Mag envolto por Srp.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos serpentinitos cisalhados foi identificada uma textura do tipo *mesh*, formada pela alteração de cristais de olivina para serpentina (lizardita), e a presença de cristais fibrosos de antigorita orientados ou não, indicando recristalização no serpentinito. Cristais de Cr-magnetita estirados revelam o processo de alteração que afetou os cristais de Cr-espínélio nos listwanitos (serpentinitos silicificados). A ocorrência de cristais reliquiares de Cr-espínélio com bordas de Cr-magnetita mostra a resistência do Cr-espínélio aos processos de serpentinização e ao metamorfismo regional.

Os minerais do grupo da serpentina identificados correspondem a lizardita, antigorita e crisotila. Segundo O'Hanley (1996), a ocorrência desta assembléia indica condições de fácies xisto verde baixo.

A atuação da zona de cisalhamento que afeta os serpentinitos proporcionou a alteração total do Cr-espínélio para Cr-magnetita. Esta variação na alteração do Cr-espínélio é descrita na literatura por diversos autores (Burkhard, 1992; Barnes, 2000; Ahmed *et al.*, 2005; Mellini, Rumori e Viti, 2005; Azer e Khalil, 2006; Azer e Stern, 2007; Kapsiotis *et al.*, 2007; Farahat, 2008, De Hoog *et al.*, 2011; Samour & Hattori, 2013), segundo os quais a evolução da alteração ocorre de acordo com o aumento do grau metamórfico. Cristais de Cr-espínélio com bordas de Cr-magnetita e ferricromita são característicos da fácies xisto verde e cristais de Cr-magnetita oriundos da alteração de Cr-espínélio indicam condições de fácies anfíbolito baixo a médio.

Os dados de microscopia eletrônica confirmaram a natureza magmática dos cristais de Cr-espínélio e o processo de sua alteração para Cr-magnetita. Foi também observado que Cr, Mg, Al e O decrescem do núcleo de Cr-espínélio para as bordas formadas por Cr-magnetita. Oposto a isso, os percentuais de Fe, Si, Ni e Mn crescem dos núcleos para as bordas. Cr-espínélio ocorre comumente como mineral acessório em rochas ultramáficas constituintes do manto superior. Alguns autores sugerem que a composição desse mineral pode ser utilizada

como indicador petrológico (Irvine, 1965 a,b; Dick e Bullen, 1984; Hellenbrand, 2001).

Os minerais da série do espínélio são altamente resistentes quando submetidos a processos de alteração hidrotermal (*e.g.*, serpentinização) ou metamorfismo regional (Burkhard, 1992). Dependendo do nível de alteração existente nos cristais reliquiares de Cr-espínélio (bordas de Cr-magnetita e ferricromita) pode ser inferida a condição de grau metamórfico. Situação semelhante é observada nos cristais de Cr-espínélio que ocorrem em algumas rochas do Morro dos Pereiras, podendo ser indicada variação de grau metamórfico do fácies xisto verde ao fácies anfíbolito (Burkhard, 1992; Barnes, 2000; Ahmed *et al.*, 2005; Azer e Khalil, 2006; Azer e Stern, 2007; Kapsiotis *et al.*, 2007; Farahat, 2008, De Hoog *et al.*, 2011; Samour & Hattori, 2013).

A alteração de Cr-espínélio para Cr-magnetita indica condições de oxidação durante a alteração hidrotermal, permitindo o enriquecimento em Fe nas bordas (Kapsiotis *et al.*, 2007). A ocorrência de Mn sugere condições de baixa temperatura durante a alteração hidrotermal (Barnes, 2000). O processo de alteração promove a substituição do Cr, Mg e Al por Fe, Mn, Ni e Si, sendo este último em menor proporção, devido à sua baixa mobilidade (Kapsiotis *et al.*, 2007).

Nos turmalinitos é possível notar a alternância de bandas de sílica e bandas compostas por turmalina, indicando a natureza estratificada destas rochas, sugerindo sedimentação química típica de exalitos.

Os metaqueratófiros revelaram texturas esferulíticas primárias, além de metassomatismo sódico que provocou albitização na rocha primária de composição riolítica, confirmando um ambiente de fundo oceânico ou influência de águas marinhas para alteração destas rochas.

## CONCLUSÕES

A partir dos dados de campo somados aos estudos petrográficos, de microscopia eletrônica e geoquímicos (Uchoa Filho *et al.*, *submitted*) pode-se concluir que:

A área do Morro dos Pereiras é composta por uma sequência de rochas metaultramáficas intercaladas com sequências metassedimentares (sequência metapelítica). A sequência metaultramáfica é composta predominantemente por serpentinitos deformados ou não, além de clorititos, actinolititos, tremolititos, talco-clorita xistos, serpentina-talco xistos, rochas talco-silicosas e listwanitos subordinados.

O grau metamórfico na região é marcado pelo predomínio de associações da fácies anfíbolito médio/alto nas sequências metapelíticas, e xisto verde metaexalativa e metaultramáfica, podendo alcançar condições de fácies anfíbolito na última, e anfíbolito médio/superior, na sequência calcissilicática e nos xistos.

Com relação à evolução geodinâmica, a sequência metaultramáfica de Novo Oriente poderia ser interpretada como sendo vestígio de uma lasca ofiolítica do tipo HOT (*Harzburgite Ophiolite Type*) de Boudier & Nicolas (1985), desmembrada pela tectônica Brasileira/Pan-Africana, tendo em vista a associação de rochas metapelíticas, metaexalativas, metaultramáficas e metaqueratófiros típicas de metassomatismo de fundo oceânico. Além disso, a presença de núcleos de cristais de Cr-espínélio bordejados por Cr-magnetita e às vezes por ferricromita, associados a serpentinitos alterados hidrotermalmente em condições oxidantes reforçam essa hipótese. Por outro lado, a ausência de estruturas primárias deformadas como pillow-lavas, diques máficos, vesículas e o pouco volume de rochas básicas, depõe de acordo como proposto por de Araújo *et al.*, (2011). Ou seja, a sequência metaultramáfica associada às rochas metapelíticas (filitos e xistos) do Grupo Novo Oriente pode ser parte de um manto sub-litosférico continental desenvolvido em uma zona de transição oceano-continental (*ocean-continent transition - OCT*) exumado durante o desenvolvimento de uma margem passiva pobre em magmas gerada pela fissão do Supercontinente Rodínia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Tectônicos (CNPq/INCT-ET/Proc. N° 573713/2008-1), coordenado pelo Prof. Dr. Reinhardt Adolfo Fuck, pelo auxílio financeiro para aquisição dos dados geoquímicos e trabalhos de campo. Ao PROCAD UFC-UnB (n 21/2009), às Universidades UFC e UNICAMP pelo apoio técnico e laboratorial e aos comentários construtivos dos dois revisores anônimos da primeira versão deste manuscrito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, A.H., ARAI, S., ABDEL-AZIS, Y.M., RAHIMI, A. 2005. Spinel composition as a petrogenetic indicator of the mantle section in the Neoproterozoic BouAzzerophiolite, Anti-Atlas, Morocco. *Precambrian Research*, 138: 225-234.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R. 1981. Brazilian structural province. *Earth Science*, 7:1-29.
- AMARAL, W.S. 2010. Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao arco magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema. PhD. Thesis. Universidade Estadual de Campinas-SP, 274.
- AMARAL W.S., SANTOS, T.J.S. & WERNICK, E. 2011. Occurrence and geochemistry of metamafic rocks from the Forquilha Eclogite Zone, Central Ceará (NE Brazil): geodynamic implications. *Geological Journal*, 46(2-3):137-155.
- ANCELMI, F.M., SANTOS, T.J.S., REGINATO, R.A., AMARAL, W.S., MONTEIRO, L.V.S. 2013. Geologia da Faixa Eclogítica de Forquilha, Domínio Ceará Central, noroeste da Província Borborema. *Brazilian Journal of Geology*, 43(2): 235-252.
- ARTHAUD, M.H. 2008. Evolução Neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil), da sedimentação à colisão continental brasileira. PhD. Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 170.

- AZER, M.K., KHALIL, A.E.S. 2005. Petrological and mineralogical studies of Pan-African serpentinites at Bir Al-Edeid area, Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 43: 525–536.
- AZER, M., STERN, R.J. 2007. Neoproterozoic serpentinites in the Eastern Desert, Egypt: Fragments of fore-arc mantle. *Geology*, 115: 457–472.
- BARNES, S.D. 2000. Chromite in Komatiites, II. Modification during Greenschist to Mid Amphibolite Facies Metamorphism, *Journal of Petrology*, 41:387-409.
- BOILLOT, G., RECQ, M., WINTERER, E.L. 1987. Tectonic denudation of the upper mantle along passive margins: a model based on drilling results (OPDleg 103, western Galicia margin, Spain). *Tectonophysics*, 132, 335–342.
- BOUDIER, F., NICOLAS, A. 1985. Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 76, p. 84-92.
- BUCHER K, FREY M. 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. New York, Springer-Verlag.
- BUCKER, A., GRAPES, R. 2011. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer, 8: 191-192.
- BURKHARD, D.I.M. 1992. Accessory chromium spinels: Their coexistence and alteration in serpentinites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57:1297-1306.
- CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., MEDEIROS, M.F., PAIVA, I.P., GOMES, F.E.M., CAVALCANTE, S.N., CAVALCANTE, J.E., MELO, A.C.R., DUARTE NETO, V.C. & BENEVIDES, H.C. 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia, CPRM.
- CASTRO, N.A. 2004. Evolução geológica proterozoica da região entre Madalena e Taperuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema). PhD. Thesis, Universidade de São Paulo, Brazil, 212.
- CASTRO, N.A., BASEI, M.A.S., TEIXEIRA, M.L.A. 2008. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints for the Ordovician orogenic granitoid magmatism at Taperuaba region, Ceará Central tectonic domain, northeast Brazil. *Proceedings of VI South American Symposium on Isotope Geology*, San Carlos de Bariloche, Argentina, pp. 238-241.
- CASTRO, N. A.; DE ARAÚJO, C. E. G.; BASEI, M. A. S.; OSAKO, L. S.; NUTMAN, A. A.; LIU, D. 2012. Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. *Journal of South American Earth Science*, v. 36, p. 18-31.
- COSTA, F.C., ARAÚJO, C.E.G., AMARAL, W.S., VASCONCELOS, A.M., RODRIGUES, J.B. 2013. U-Pb (LA-ICPMS) zircon ages and Nd isotopes for granitoids of the Tamboril-Santa Quitéria Complex, Ceará Central Domain: Implication for neoproterozoic syncollisional magmatism in north Borborema Province. *Geologia USP - Série Científica*, v. 13, n. 2, p. 159-174.
- DE ARAÚJO, C.E.G., PINEO, T.R.G., CALADO, B.O., GOMES, I., CAVALCANTE, J.C. 2011. Mapa Geológico da Folha Novo Oriente (SB-24-V-C-VI), CPRM-SGB – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza-CE, (escala 1:100.000).
- DE ARAÚJO, C.E.G.; PINÉO, T.R.G.; CAVALCANTE, J.C.; COSTA, F.G.; MOURA, C.A.V., 2012A. Geochemistry and  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  zircon ages of granitoids from the southern portion of the Tamboril-Santa Quitéria granitic-migmatitic complex, Ceará central domain, Borborema province (NE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 33, 21-33.
- DE ARAÚJO, C.E.G., PÍNEO, T.R.G., CABY, R., COSTA, F.G., CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., RODRIGUES, J.B. 2010a. Provenance of the Novo Oriente Group, southwestern Ceará Central Domain, Borborema Province (NE-Brazil): A dismembered segment of a magma-poor passive margin or a restricted rift-related basin? *Gondwana Research* 6: 265-273.
- DE HOOG, J.C.M., JANÁK, M., VRABEC, M., HATTORI, K.H., 2011. Ultramafic cumulates of oceanic affinity in an intracontinental subduction zone: Ultrahigh-pressure garnet peridotites from Pohorje (Eastern Alps, Slovenia). In: Dobrzhinetskaya, L., Cuthbert, S., Faryad, W. (Eds.), “Ultrahigh pressure metamorphism”, Elsevier, Amsterdam, DOI: 10.1016/B978-0-12-385144-4.00012-6.



- DICK, H.J., BULLEN, T.** 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine type peridotite and spatially associated lavas, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, p. 54-76.
- DILEK, Y.** 2003. Ophiolites in Earth history: introduction. In: **DILEK, Y.** (eds.). *Ophiolites in Earth History. Geological Society of London, Special Publications*, 218:1-8.
- DILEK, Y. AND FURNES, H.**, 2011. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Geological society of America Bulletin*, 123: 387-411.
- FARAHAT, E.S.** 2008. Chrome-spinels in serpentinites and talc carbonates of the El Ideid-El Sodmein District, central Eastern Desert, Egypt: their metamorphism and petrogenetic implications. *Chemie der Erde Geochemistry*. 68:196-205.
- FERREIRA, I. G.** 2008. Aspectos geológicos, estruturais e geocronológicos da Sequência Metavulcano-Sedimentar de Novo Oriente-CE. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará.
- FETTER, A.H.; SANTOS, T.J.S.; VAN SCHUMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.; 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.
- FETTER, A.H., VANSCHMUS, W.R., SANTOS, T.J.S., ARTHAUD, M. & NOGUEIRA NETO, J.A.** 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constrains on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the paleoproterozoico supercontinent Atlantica. *Revista Brasileira de Geociências*, 30:102-106.
- 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, Dept. of Geology, Kansas University, USA.
- FRANKE, D.** 2013. Rifting, lithosphere breakup and volcanism: Comparison of magma-poor and volcanic rifted margins. *Marine and Petroleum Geology*, 43: 63-87.
- HELLEBRAND, E., SNOW, IE., DICK, RIB., HOFMANN, A.W.** 2001. Coupled major and trace elements as indicator of the extent of melting in mid-ocean-ridge peridotites, *Nature*, 410: 677-681
- IRVINE, T.N.** 1965a. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 1. Theory, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2: 648-672.
- IRVINE, T.N.** 1965b. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part II. Petrogenetic applications, *Canadian Journal of Earth Sciences* 4:72-103.
- KAPSIOTIS, A.; GRAMMATIKOPOULOS T.; KARIPI S.T; HATZIPANAGIOTOU, K.** 2007. On the metamorphic modification of cr-spinel compositions from the ultrabasic rocks of the Pindos Ophiolite Complex (NW Greece). *Bulletin of the geological society of greece*, p. 781-793.
- MANATSCHAL, G.** 2004. New models for evolution of magma-poor rifted margin based on a review of data and concepts from West Iberia and the Alps. *International Journal of Earth Sciences* 93: 432-466.

- MANATSCHAL G, FROITZHEIM N, RUBENACH MJ, TURRIN, B.** 2001. The role of detachment faulting in the formation of an ocean-continent transition: insights from the Iberia Abyssal Plain. In: Wilson RCL, Whitmarsh RB, Taylor B, Froitzheim N (eds) *Non-Volcanic Rifting of Continental Margins: Evidence from Land and Sea*. GeolSoc (London), Spec Publ 187, pp 405–428
- MARTINS, G., OLIVEIRA, E.P., LAFON, J.M.** 2009. The Algodões amphibolite-tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil: Geochemical and geochronological evidence for Paleoproterozoic accretion of oceanic plateau/back-arc basalts and adakitic plutons. *Gondwana Research*:15: 71-85.
- MELLINI, M., RUMORI, C., VITI, E.** 2005. Hydrothermally reset magmatic spinels in retrograde serpentinites: formation of “ferritchromit” rims and chlorite aureoles, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 149: 266-275.
- MOORES, E.M.** 2002. Pre-1 Ga (Pré-Rodínia) ophiolites: their tectonic and environmental implications. *GSA Bulletin*, v. 114, n. 1, p. 80-95.
- O’HANLEY, D.S.** 1996. *Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History*: New York, Oxford University Press, 277.
- PAIXÃO, M. A. P., NILSON, A.A., DANTAS, E.L.** 2008. The Neoproterozoic Quatipuru ophiolite and the Araguaia fold belt, central-northern Brazil, compared with correlatives in NW Africa. In: PAMKHURST, R. J., TROUW, R. A. J., BRITO-NEVES, B. B., WIT, M.J. de (eds.). *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the south Atlantic region*. Geological Society of London, Special Publications, 294: 297-318.
- PAIXÃO, M.A.P.** 2009. Complexo ofiolítico Quatipuru, Pará, Brasil. PhdThesis. Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 118.
- PEDROSA-SOARES, A. C., VIDAL, P., LEONARDOS, O. H., & DE BRITO NEVES, B. B.** 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: Further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí–West Congo orogen. *Geology*, 26: 519-522.
- PÉREZ-GUSSINYÉ, M., RESTON, T.J.** 2001. Rheological evolution during extension at passive non-volcanic margins: onset of serpentinization and development of detachments to continental break-up. *Journal of Geophysical Research* 106: 3691–3975.
- QUEIROGA, GN.; SOARES, A.C.P.; NOCE, C.M.; ALKMIM, F.F.P.; MARTINS, M.S.; SUITA, M.T.F.; PRICHARD, H.** 2007. Age of the Ribeirão da Folha ophiolite, Araçuaí Orogen: the U-Pb zircon (LA-ICPMS) dating of a plagiogranite. *Geonomos*, 15: 61-65.
- QUEIROGA, G.N.; SUITA, M.T.F.; SOARES, A.C.P.; MARTINS, M.S.; PINHEIRO, M.A.P.** 2012. Síntese sobre ofiolitos: evolução dos conceitos. *Geociências*, 65: 47-58.
- RESTON, T.J.** 1993. Evidence for extensional shear zones in the mantle offshore Britain, and their implications for the extension of the continental lithosphere. *Tectonics*, 12:492–506.
- RESTON, T.J.** 2009. The structure, evolution and symmetry of the magma-poor rifted margins of the North and Central Atlantic: A synthesis. *Tectonophysics*. 468: 6-27.
- SALEM, A.K.A., KHALIL, A.E., RAMADAN, T.M.** 2012. Geology, geochemistry and tectonic setting of Pan-African serpentinites of Um Salim-Um Salatit area, Central Eastern Desert, Egypt, Egypt. *J. Remote Sensing Space Science*. *In press*.

- SAUMUR, B.-M., HATTORI, K.H.** 2013. Zoned Cr-spinel in forearcserpentinites along the northern Caribbean Margin, Dominican Republic. *Mineralogical Magazine* 77: 117-136.
- 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 eclogitefacies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research* 15: 454-470.
- SUITA, M. T. F., PEDROSA-SOARES, A. C., LEITE, C., NILSON, A. A., & PRICHARD, H.** 2004. Complexos ofiolíticos do Brasil e a metalogenia comparada das faixas Araçuaí e Brasília. *Complejos Ofiolíticos en Iberoamérica: guías de prospección para metales preciosos. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-CYTED*, Madrid, 101-132.
- TASSINARI, C. C., MUNHÁ, J. M., RIBEIRO, A., & CORREIA, C. T.** 2001. Neoproterozoic oceans in the Ribeira Belt (southeastern Brazil): the Pirapora do Bom Jesus ophiolitic complex. *Episodes*, 24: 245-251.
- UCHÔA FILHO, E.C.** 2013. Petrografia e mineralogia da lasca ofiolítica de Novo Oriente, Domínio Ceará Central- Província Borborema. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Ceará, 124.
- WHITMARSH, R.B., MANATSCHAL, G., MINSHULL, T.A.,** 2001. Evolution of magma-poor continental margins from rifting to seafloor spreading. *Nature* 413: 150-154.
- WHITNEY, D.L., EVANS, B.W.** 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Volume 95, pages 185-187.