abundante matéria orgânica grafitizada e as camadas sedimentares nas bacias pré-cambrianas, em especial de idade neoproterozóica.

Os principais distritos grafitíferos no mundo, como no Grupo Mashan do nordeste da China, em Madagascar e no Sri Lanka representam claramente bacias sedimentares que foram um repositório de matéria orgânica e que, finalmente, fecharam para dar lugar a um grande cinturão mineralizado em grafita, de idade Pan-Africana (DISSANAYAKE; CHANDRAJITH, 1999).

Esta associação de grafita metamórfica disseminada em metassedimentos tem sido considerada e adotada como um útil geoindicador de antigas bacias sedimentares, bem como das geossuturas resultantes dos subsequentes fechamentos desses oceanos primitivos (DISSANAYAKE et al., 2000).

Algumas dessas zonas de geossuturas são denominadas de cinturões khondalíticos e representam um significativo componente de terrenos de fácies granulito sendo os gnaisses que ocorrem associados a essas faixas derivados de metassedimentos migmatisados. Na Índia (Kerala) e na China (cráton do Norte da China), esses tipos metassedimentares são, geralmente, portadores de grafita. Esses cinturões são geralmente caracterizados por gnaisses aluminosos. Em Kerala (Cinturão Khondalítico Kerala) esses gnaisses e granada sillimanita biotita (± grafita) gnaisses (WILDE et al., 1999). Já no cinturão granulítico arqueano e proterozóico inferior da parte norte-central da China as rochas dominantes da suíte khondalítica são sillimanita granada gnaisses, quartzo granada gnaisses e quartzo feldspato gnaisses (CONDIE et al., 1992). No Brasil, cinturões khondalíticos foram identificados no Rio de Janeiro (PEREIRA; GUIMARÃES, informação verbal; SANTOS, 2008) localizandose os granada gnaisses migmatíticos, ao qual estão relacionadas às faixas mineralizadas em grafita, nas regiões de São Fidélis e de Santo Antônio de Pádua – Itaperuna.

Os protólitos pré-metamórficos das rochas khondalíticas de Kerala derivam de quartzitos, arcósios e sedimentos pelíticos, provavelmente com unidades vulcânicas intercaladas (CHACKO et al., 1988). Já na China, a petrologia e a geoquímica indicam que os protólitos dos gnaisses aluminosos foram rochas sedimentares pelíticas e pelito-arenosas ricas em alumina (ZHANG et al., 2000). Os análogos modernos dessas litologias caracterizadas pela associação pelito-arcósio ocorrem em rifts intracratônicos e margens continentais rifteadas.

Da mesma forma, os gnaisses aluminosos portadores de grafita do Distrito de Aracoiába-Baturité, particularmente os encontrados na subunidade Baturité I, também podem ser comparados aos tipos encontrados nos cinturões khondalíticos de diversas partes do mundo. Dessa forma, a subunidade Baturité I foi considerada na presente tese como fazendo parte de um cinturão khondalítico.

6.2 Controle das mineralizações do Distrito Aracoiába-Baturité

6.2.1 Controle paleogeográfico - geotectônico

Para Arthaud (2007), na região do Domínio Ceará Central, em um intervalo de tempo compreendido entre c.a 850 e c.a 750 Ma, ocorreu uma evolução crustal onde um fragmento de crosta continental arqueana / paleoproterozóica (formada pelo Complexo Cruzeta, Suíte Madalena e Unidade Algodões) sofreu um rifteamento e sobre esta crosta afinada houve, na forma de uma sequência plataformal, a deposição dos sedimentos do Grupo Ceará. Ainda segundo esse mesmo autor a evolução metamórfica da subunidade Guia (pertencente ao Grupo Ceará e aqui correlacionada à subunidade Baturité II), iniciada em condições de fácies eclogito e terminando em condições de fácies anfibolito de alta temperatura / baixa pressão e passando por condições de fácies granulito de alta pressão, se processou em condições de subducção de uma margem passiva. A existência dessa zona de subducção implica que o rifteamento ocorrido entre 850 e 750 Ma levou à abertura de um domínio oceânico e que, posteriormente, esse oceano seria fechado.

Em concordância com Arthaud (2007) assume-se, na presente tese, que a faixa grafitosa do Distrito Aracoiába-Baturité representaria o remanescente de uma zona de subdução e corresponderia a uma zona de sutura derivada do processo de fechamento de um antigo oceano com uma consequente colagem continental (bloco Baturité a norte e bloco Caio Prado a sul, denominações informais) durante a orogenia Pan-Africana.

Para Torres et al. (2006) as rochas metassedimentares da sequência estratigráfica Acarápe apresentavam distintos tratos de sistemas deposionais: de mar raso (Subunidade Aracoiába) e mar profundo (Subunidade Baturité). Arthaud (2007), por sua vez, também interpreta a sedimentação do Grupo Ceará como de ambiente plataformal de margem passiva.

Na área da presente tese os conjuntos litológicos caracterizados da Sequência Acarápe mostram nitidamente que a sedimentação se processou em ambiente plataformal de margem do tipo passiva. Estes conjuntos estão distribuídos segundo faixas paralelas de direção aproximada ENE, interpretados como diferentes fácies na paleogeografia desta sequência.

Esta mudança de paleoambientes, de norte para sul, tem início com a Subunidade Aracoiába (*NPAar*), de fácies de mar raso, passando por uma zona de talude continental (*NPAba-t*) e depois para um ambiente de mar profundo (*NPAba-mp*), sendo estes últimos considerados da Subunidade Baturité.

Na Subunidade Baturité I os elementos determinados permitiram a separação desta faixa e sua interpretação como uma faixa de sedimentação pelito aluminosa em zona de talude continental, cujo embasamento constituído por rochas ortoderivadas serviu de contraforte no evento compressional de fechamento da bacia Acarápe.

Dessa forma, ter-se-ía a interação entre rochas para (gnaisses aluminosos com grafita) e ortoderivadas (metatonalito) em íntima associação. Um contato não tectônico foi constatado na área do açude da Fazenda da Laje (WP-137: Zona 24M; 523039E; 9502281N) onde se observa um raro afloramento do contato de "não conformidade" entre a Sequência Acarápe (Supracrustal Metavulcano-Sedimentar Neoproterozóica) e o Embasamento (Terrenos Acrescionários do Paleoproterozóico), mostrada com muita evidência na foto da figura 18.

O gnaisse bandado sub-horizontalizado, com intercalações centimétricas de quartzito feldspático e de lâminas grafitosas, pertencentes à Subunidade Aracoiába da Sequência Acarápe, representaria a sequência deposicional sedimentada sobre o talude continental repousando sobre rocha ortognáissica (metatonalito), subverticalizada e com atitude N75°W, que corresponderia ao embasamento paleoproterozóico.

Já a subunidade Baturité II, por suas características (presença de turbiditos, anfibolitos ortoderivados), provavelmente corresponde a um fácies de mar profundo, em zona de interação entre o sopé de talude continental e planície abissal. A sedimentação pelágica em zona anóxica concentraria a matéria carbonosa que seria metamorficamente transformada em grafita. Sendo assim, a sequência de anfibolitos representaria um remanescente de crosta oceânica (Figura 65).



Figura 65 - Seção hipotética representando a zona de mar raso onde sedimentou a subunidade Aracoiába e a zona de mar profundo com a sedimentação das subunidades Baturité I e II

6.2.2 Controles regionais e locais das ocorrências de grafita do Distrito de Aracoiába-Baturité

No trabalho realizado conseguiu-se identificar dois tipos de mineralização de grafita presentes na região de Aracoiába-Baturité: grafita tipo"veio" e grafita "disseminada", que indicavam controles distintos e que foram estudados separadamente. A coincidência da proximidade geográfica entre eles orientou os trabalhos iniciais na busca de um metalotecto ou controle regional, que permitisse reconhecer dentro do Terreno Ceará Central um contexto geológico regional e local favorável para a ocorrência destas mineralizações.

A faixa de ocorrência de mineralizações de grafita que se estende desde o Município de Aracoiába e segue para oeste até a região de Canindé, acompanha exatamente a Subunidade Baturité da sequência supracrustal neoproterozóica Acarápe (Item 6.1), mostrando que esta subunidade constitui um importante metalotecto regional (Figura 65). Aumentando a observação para uma escala semiregional, vê-se que as duas faixas de ocorrências de minério singenético estão inseridas em conjuntos de rochas com seus respectivos ambientes bem definidos na paleogeografia desta subunidade:

- a) Faixa de gnaisse grafitoso Chereco Erom pertencente à Subunidade Baturité I, considerada como situada na zona de talude continental, adjacente a fácies de mar raso (subunidade Aracoiába de caráter plataformal) e que se encontra associada a rochas paraderivadas da sequência supracrustal (Grupo Ceará) e rochas ortoderivadas (migmatitos, enderbitos, metanoritos) dos terrenos acrescionários paleoproterozóicos (Complexo Gnáissico – Migmatítico ?);
- b) Faixa de gnaisse grafitoso Fazenda Alvorada Itans pertencente à Subunidade Baturité II, considerada como depositada na zona de sopé de talude-planície abissal em fácies de mar profundo, principalmente associado a ortoanfibolitos e a sequências, aqui interpretadas como turbdíticas.

No caso das mineralizações epigenéticas deste distrito é bastante evidente o posicionamento de todas estas mineralizações em uma auréola de 2,5 km posicionada ao redor do corpo plutônico de Pedra Aguda (Complexo Gabro-Diorítico Anelar de Pedra Aguda). Mesmo com os intensos trabalhos de prospecção, realizados por empresas de mineração que atuaram na região, não foram encontrados corpos de grafita epigenética fora da zona de entorno (auréola) do plúton. Portanto, esta distância do corpo granítico parece definir uma

área de influência térmica e de seus fluídos para remobilização (a partir da grafita singenética) e posterior deposição desse mineral nas falhas e fraturas.

Ao todo foram cadastrados 12 (doze) corpos expressivos de minério maciço no entorno do Complexo Gabro-Diorítico Anelar de Pedra Aguda. Os mesmos foram denominados de: Cava Sul, Corpo Norte-Sul, Madalena-Seu Chico, Juamirim, Seu Chico, Cava Norte, Serrote Açude, Serrote Estrada, Tida, Chico Néri, Antonio Alves, Tó (Figura 29). O corpo mais afastado (Juamirim) dista 2,5 km do plutão.

Nestas mineralizações, aumentando a observação para uma escala de maior detalhe, verifica-se ainda um controle em escala local, dados pelas estruturas de alívio (falhas, fraturas, etc.) que permitiram a percolação dos fluidos mineralizantes. Estes fluidos precisam de espaços (zonas de contato, eixos de dobras, fraturas, etc.) de baixa pressão para percolar as rochas e depois depositarem a grafita em zonas de menor temperatura. Os principais espaços identificados que constituem os controles locais da grafita epigenética do Distrito de Aracoiába-Baturité correspondem a fraturas de direções que variam de 60° a 80° NW, de (Chico Neri - N75°W; Antônio Alves - N60°W/90°; Madalena -N80°W; Tô - N70°W: Norte-Sul – NS), com exceção do Corpo Norte-Sul, e também se alojam segundo planos de foliação (corpos Juamirim - N80°W/25°N e Cava Sul - N60°W/60°N).

Os corpos epigenéticos de grafita apresentam-se na forma lenticular ou tabular, têm pequenas dimensões e fazem contato brusco com as rochas encaixantes. (Figuras 30 e 31). Feições do tipo *stockwork* também podem ser observadas e, provavelmente, encontram-se associadas ao fraturamento hidráulico resultante das pressões de fluidos hidrotermais gerados, em estágio pós-magmático, pelo plutão de Pedra Aguda. A esses fluidos presumivelmente deve-se a mobilização, transporte e deposição da grafita associada aos corpos de gnaisses grafitosos.

6.3 Comentários sobre as mineralizações de grafita

6.3.1 Origem do carbono das grafitas dos depósitos do Distrito Aracoiába-Baturité

Com o objetivo de desvendar os controles regionais das mineralizações de grafita da região de estudo, foi fundamental a identificação da origem do carbono, além do conhecimento das características físicas dos corpos (forma, dimensões, tipo de contato, encaixante, etc.) e do minério (maciço, disseminado, teor de carbono, mineralogia, etc.).

Os isótopos estáveis de carbono ${}^{12}C$ e o ${}^{13}C$ são úteis para identificar a origem do carbono porque preservam internamente a distinta assinatura isotópica do seu tempo de

Os diversos estudos comparativos das relações ${}^{13}C/{}^{12}C$ em grafitas de diferentes origens (matéria orgânica sedimentar, magmática e de reações minerais com carbonato) permitiram estabelecer as faixas de valores correspondentes para cada tipo genético (Tabela 12). Dentre estes estudos destacam-se Brady et al. (1998), Hoefs; Frey (1976), Ohmoto (1986), Schidlowski (2001), Schoell;Wellmer (1981) e Weis et al., (1981).

Carbono	$\delta^{13}C$
Biogênico	-30 ‰ a -20 ‰
Sedimentar de carbonatos	-9.7 ‰ a 0 ‰
Magmático	-7.0 ‰ a -5.0 ‰

Tabela 12 - Diferentes assinaturas isotópicas do C

Para verificar a origem do carbono contido nos dois tipos de minérios (singenético e hidrotermal) encontrados na área da presente tese, foram coletadas 6 (seis) amostras de grafita retiradas das principais mineralizações conhecidas, que foram dosadas para determinação dos isótopos estáveis ¹²C e o ¹³C de carbono no laboratório de Geoquímica Orgânica da FGEL/ UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro).

As análises foram obtidas com o instrumental da LECO *Corporation* (modelo CHN-600), utilizando a norma ASTM-D5373, conforme a metodologia descrita anteriormente no item 1.3.6 sendo os resultados apresentados na tabela 13, a seguir:

Amostra	δ ¹³ C/ ¹² C	C (%)	Litologia	SAD 69 Zona	SAD 69 Leste	SAD 69 Norte
10666	-27,036	25 a 30	Minério Maciço - veio	24M	516711	9491967
10660	-21,162	50	Minério Maciço - veio	24M	523078	9502316
10659	-20,827	35 a 40	Minério Maciço - veio	24M	523036	9502271
10665	-26,719	2 a 3	Grafita Biotita Gnaisse	24M	517767	9492269
10664	-24,833	7	"Xisto" Grafitoso Manganesífero	24M	527117	9497702
10663	-25,397	5 a 6	Biotita "Xisto" Grafitoso	24M	522525	9493871
10662	-23,247	6	Granada biotita grafita "xisto"	24M	523362	9500759
10661	-23,520	6	Granada biotita grafita "xisto"	24M	523496	9500812

Tabela 13 - Relação ¹³C/¹²C de amostras de grafita do Distrito Grafitífero Aracoiába-Baturité

As variações do δ^{13} C determinadas para as amostras de grafita foram as seguintes: minério disseminado (amostras 10661 a 10665): δ^{13} C de -26,72‰ a -23,52‰ e minério maciço (amostras 10659, 10660 e 10666): δ^{13} C de -27,03‰ a -20,83‰ . Estes valores das relações entre isótopos estáveis de carbono, todos com entre -30 ‰ e -20 ‰, revelam sinal de atividades biológicas (bioassinaturas) e permitem afirmar que a grafita das amostras acima são derivadas de matéria orgânica. A tabela 14 compara as relações ${}^{13}C/{}^{12}C$ de grafitas de diferentes origens com a do Distrito Grafitífero Aracoiába-Baturité.





6.4 Considerações sobre a determinação dos teores de carbono

6.4.1 Método analítico

A dificuldade da determinação de um teor preciso de carbono no minério de grafita exigiu uma investigação criteriosa, com o objetivo de se obter coerência e representatividade dos resultados analíticos.

A escolha da termogravimetria (ATG), como o método mais apropriado para determinação do teor de carbono em grafita, decorreu da indicação de químicos que atuam no setor mineral e, posteriormente, constatou-se que este método é adotado pela maioria das empresas produtoras e consumidoras de grafita.

Contudo, mesmo adotando o método analítico indicado, deparou-se na fase inicial com um sério problema: amostras de um mesmo ponto, analisadas em laboratórios diferentes, apresentavam resultados bastante diferentes (Tabela 15). Mesmo sub-amostras preparadas por um mesmo laboratório, a partir de uma única amostra, também apresentavam resultados bem diferentes em laboratórios diferentes.

TIPO DE MINÉRIO	LOCAL	Lab 1	Lab 2	Lab 3	Lab 4
		% C	% C	% C	% C
		<i>№</i> C	70 C	70 C	70 C
Maciço / Epigenético	Alvo Cava Sul	31,7	56,63	51,55	47,69

Tabela 15 - Amostra de campo, homogeneizada, quarteada e analisada em 4 (quatro) diferentes laboratórios por termogravimetria

Devido à importância dos teores de carbono na decisão sobre as viabilidades técnica e econômica de um jazimento de grafita, foi realizada uma pesquisa detalhada sobre as causas destas discrepâncias, tendo sido identificadas as seguintes:

- Tempo de espera insuficiente para a queima total do carbono;
- Queima sem injeção de oxigênio, provocando falta de oxigênio para queima total do carbono;
- Não eliminação das águas de hidratação em goethita, caulinita e limonita;
- Utilização de diferentes faixas de temperatura de queima.

Nesta investigação o autor contou com a valiosa colaboração do Setor de Caracterização Tecnológica e Ambiental do CETEM, que também definiu a metodologia adequada para o processo de análise, proporcionando maior segurança dos resultados. Esta metodologia está detalhadamente descrita no item 1.3.6.1.

Neste trabalho não foi possível conseguir informações técnicas das empresas que atuam no setor de grafita, em função de política interna de sigilo industrial.

Durante a fase de pesquisa dos depósitos de grafita, as determinações dos teores de carbono seguiram uma rotina padrão destes laboratórios, que distinguia dois tipos de materiais carbonosos, com perda de massa exotérmica (libera calor) respectivamente nas faixas de temperatura "350°C a 650°C" e "650°C a 1.050°C". Sendo a primeira atribuída ao carbono de material orgânico superficial e a grafita microcristalina, e a segunda faixa correspondendo à grafita cristalizada (tipo *flake*) de maior interesse econômico.

Estas faixas de temperatura, adotadas inicialmente, seguiram experiências adquiridas com minério de grafita do norte do Estado de Minas Gerais.

Depois de concluída a pesquisa mineral, através de discussões técnicas com pesquisadores do CETEM, aventou-se a possibilidade das faixas de temperaturas adotadas na pesquisa serem diferentes das faixas do minério da Província Grafitífera Aracoiába-Baturité.

A hipótese acima motivou uma nova pesquisa pelo CETEM, desenvolvida pelos pesquisadores Reiner Neumann e Isabele Bulhões Aranha, que demonstrou serem diferentes as faixas de temperatura indicadas para os minérios do Ceará e de Minas Gerais. Ou seja, os limites dos eventos endotérmicos na curvas de análise térmica do minério do Ceará são de 340

a 570°C e de 570 a 1050°C, conforme mostra o gráfico de curvas de análise térmica (Figura 66).

Esta adequação de faixa de temperatura revelou uma variação de 7 a 10% nos teores de carbono de uma mesma amostra (Tabela 16). Também, a constatação de que os minérios dos dois distritos minerais possuem limites próprios dos eventos endotérmicos é inédita e de suma importância para avaliação econômica de jazimentos de grafita.



— perda de massa (%); --- derivada da perda de peso (°C); -.-.- diferença de temperatura

Figura 66 -	Curvas	de	análise	térmica	da	amostra	AP.	150/	'15N	J
-------------	--------	----	---------	---------	----	---------	-----	------	------	---

Amostra	% perda de massa				
	23 a 350 °C	350 a 650° C	650 a 1050° C		
AP 150/15N	2.09	1,85	5,09		
	23 a 340 °C	340 a 570° C	570 a 1050° C		
AP 150/15N	2.07	1,36	5,61		

 Tabela 16 - Quadro comparativo das faixas de queima adotadas para os minérios do norte de Minas Gerais e do Distrito Grafitífero Aracoiába-Baturité

Ref.: Boletim de Análise: SCT 165/04 - CETEM

Amostra	% perda de massa				
	23 a 350 °C	350 a 650° C	650 a 1050° C		
AP 155/180N	3,34	2,5	6,1		
	23 a 340 °C	340 a 600° C	600 a 1050° C		
AP 155/180N	3,31	2,09	6,54		

Ref.: Boletim de Análise: SCT 166/04 - CETEM

6.5 Guias de prospecção e pesquisa

Este item agrega as informações obtidas na literatura especializada sobre os guias de prospecção e pesquisa de grafita, com os resultados verificados durante os trabalhos de prospecção de grafita no Estado do Ceará.

- Os terrenos com maior potencial para prospecção de grafita são de rochas metassedimentares de alto grau metamórfico depositados em antigas bacias, que constituem hoje geossuturas de fechamento de oceanos (DISSANAYAKE et al., 2000). Especialmente em rochas com idade no limite entre o Précambriano e o Cambriano, devido à alta produtividade orgânica e à alta razão de soterramento de material orgânico (HOFFMAN et al., 1998).
- A prospecção regional de minério de grafita deve inicialmente ser concentrada em corpos de minério disseminado, uma vez que formam corpos de grandes dimensões e, portanto, de mais fácil identificação. Os corpos de minério maciço, do tipo fluído depositado, são em geral de pequeno porte e localizamse como satélites dos corpos de minério disseminado, conforme ocorre nos depósitos: Aracoiába-Baturité; Digana no Sri Lanka (RAY, 2009); e Bogala no Ceilão (ERDOSH, 1970).
- As auréolas de metamorfismo de contato de plutons intrusivos que cortam rochas carbonosas são áreas com grande possibilidade de conter depósitos de grafita do tipo fluido depositado. Este é o caso do distrito grafitífero em estudo, onde os corpos epigenéticos distribuem-se em uma auréola de 2,5 Km ao redor do corpo plutônico de Pedra Aguda. Outros exemplos similares são a Mina de Borrowdale, na Inglaterra (WEIS et al., 1981); Serranía de Ronda na Espanha; e Beni Bousera no Morrocos (CRESPO et al., 2006).
- Os jazimentos de grafita apresentam geralmente estreitos halos de alteração, de difícil identificação através de geoquímica. Outro fator que dificulta a utilização de prospecção geoquímica é a complexidade analítica do carbono e a contaminação por matéria orgânica recente.
- Com relação à utilização de prospecção de grafita através de geofísica, Simandl; Kenan (1997b) indicam os métodos Eletrorresistividade (ER),

Eletromagnéticos (EM); Potencial Espontâneo (EP) e Mapeamento Audiomagnetotelurico (AMT). A grafita também pode ser localizada por Polarização Induzida Espectral (IPS).

- As características especiais da grafita facilitam bastante a sua prospecção, pois é um mineral de fácil identificação pela sua cor cinza chumbo, brilho metálico, untuosidade e maciez (1-2 na escala *mosh*). As zonas de afloramento de grafita apresentam superfícies extremamente escorregadias durante os períodos chuvosos, devido à lubrificação causada pela grafita. Estes locais chamam muito a atenção de proprietários rurais pelo perigo destes trechos das estradas rurais (sem capeamento) e até pela dificuldade de equilíbrio dos animais no campo. Um exemplo real foi a descoberta do depósito de Choró, situado na área de estudo, a partir da investigação de um trecho muito escorregadio da estrada que liga os povoados de Pedra Branca e Lagoinha.

6.5.1 Considerações sobre a prospecção geofísica realizada

Os trabalhos de geofísica na área de estudo da tese de doutoramento tiveram início com a escolha do método mais indicado para o tipo de mineralização, considerando as características da região.

As poucas informações disponíveis sobre o desempenho de métodos geofísicos para prospecção de grafita fez com que fossem testados os seguintes métodos: Eletrorresistividade; GPR - *Ground Penetrating Radar*; Magnetometria; VLF - *Very Low Frequency*; e Polarização Induzida Espectral (IPS) / Eletrorresistividade (ER). A metodologia utilizada nestes levantamentos está descrita no capítulo de metodologia (item 1.3.4).

Foram escolhidos dois corpos aflorantes de minério de grafita para realização dos testes, sendo: Alvo Cava Sul onde aflora o minério do tipo maciço e Alvo Chereco, onde aflora o minério disseminado. Os melhores contrastes foram obtidos através dos levantamentos com VLF e SIP/ER, sendo que os outros métodos não indicaram contrastes litológicos relevantes e/ou indicaram falsas anomalias.

O VLF - Very Low Frequency, que é um método de baixo custo e que pode ser aplicado com alta velocidade, mostrou com precisão o limite do corpo de gnaisse grafitoso com a rocha encaixante (Figura 67 - foto). Contudo, ele não pode ser utilizado regionalmente em função das interferências geradas por objetos metálicos da superfície (cercas de arame farpado, ferramentas abandonadas, composições de sondagem enterradas, etc.). A grande quantidade de cercas de arame na área de estudo impediu a sua aplicação.



Figura 67 - Equipamento integrado de Magnetometria e VLF (Pedra Branca)

A alta cargabilidade e baixa resistividade do minério de grafita indicam a conjugação destes dois métodos de Polarização Induzida Espectral (IPS) e Eletrorresistividade (ER) como uma das mais importantes ferramentas na prospecção de grafita. Os resultados do levantamento destes dois métodos integrados (Figura 68 - foto) mostraram com nitidez os contrastes dos corpos grafitosos.



Figura 68 - Levantamento de IPS/ER na picada 150 do alvo Erom. Com a estação de leitura no primeiro plano e os eletrodos de potencial ao fundo

Na região ocorrem rochas com alta cargabilidade e que não são grafitosas, como é o caso, por exemplo, das rochas calciossilicáticas (de alta resistividade). Dessa forma a aplicação concomitante dos dois métodos foi fundamental na pesquisa de minério de grafita, pois apenas a cargabilidade não indicaria com segurança os corpos de minério. A aplicação desse método permitiu elaborar seções com 6 (seis) níveis de profundidade de investigação, variando de 4 a 87 metros. Com a integração dessas seções foram feitos os mapas de cargabilidade e resistividade dos 6 (seis) níveis de profundidade.

O perfil da linha 100S do Alvo Erom (Figura 69) mostra as coincidências de anomalias de cargabilidade e resistividade nos piquetes 100W, 20W e 80E, sugeridos como pontos para sondagem. Especialmente nesse alvo onde há poucos afloramentos, a geofísica foi fundamental, delineando claramente em subsuperfície o corpo mineralizado, o que permitiu um acerto de 100% dos furos de sonda.

A importância do IPS/ER na pesquisa pode ser observada com clareza no alvo Erom, onde os mapas de cargabilidade, resistividade (Figuras 50 e 51) expressam as respectivas anomalias. O mapa geológico do alvo (Figura 26) mostra os limites do corpo de minério grafitoso, revelado pela geofísica e comprovado pela sondagem.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ Setor de Ciências da Terra Departamento de Geologia Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada





CENTRO POLITÉCNICO - CAIXA POSTAL 19.001 - CEP 81531-990 - CURITIBA - PARANÁ - BRASIL Fone/Fax: (041) 361-3132 – Fax (041)266.2393 - http://www.geologia.ufpr.br - e-mail: lpga@geologia.ufpr.br

7 CONCLUSÕES

As informações obtidas através dos dados de campo e dos resultados de análises e testes, interpretadas em consonância com o atual estágio de conhecimento dos principais distritos grafitíferos mundiais e da geologia do Estado do Ceará, permitem concluir o seguinte:

a) Os depósitos de grafita da região são dos tipos: gnaisse grafitoso (minério disseminado) e veio (minério maciço).

b) O minério tipo gnaisse grafitoso é de origem sedimentar, singenético, com teores de 1,5 a 8% de carbono, constituindo extensos corpos em forma lenticular, e formando jazimentos de grandes dimensões, com centenas de metros de comprimento e dezenas de metros de largura. Estes corpos distribuem-se ao longo de duas faixas paralelas, de direção geral NNW, denominadas aqui "Chereco-Erom" e "Fazenda Alvorada-Itãns", com extensões de 8 km e 10 km, respectivamente.

c) As faixas de ocorrências de corpos de minério singenético, estão hospedadas na Subunidade Baturité, que constitui um importante metalotecto estratigráfico regional.

d) As rochas desta subunidade (paragnaisses com grafita e grafita associada a turbiditos e anfibolitos ortoderivados) correspondem na paleogeografia (metalotecto paleogeográfico) da Sequência Acarápe a fácies de talude - sopé de talude - planície abissal.

e) Os paragnaisses com grafita fazem parte de uma sequência aluminosa análoga às encontradas nos cinturões khondalíticos da Índia e da China.

f) A associação de grafita metamórfica disseminada em metassedimentos da Sequência Acarápe constitui um geoindicador de antiga bacia sedimentar neoproterozóica e, também, pode ser considerado como zona de geossutura resultante do subsequente fechamento de um oceano primitivo.

g) O minério tipo veio ("fluido depositado") é epigenético e, na área de estudo, apresenta teores entre 20% e 70% de carbono. Ocorre em corpos tabulares e em bolsões, controlados em escala local por estruturas de alívio, tais como falhas, fraturas, zonas de contato, eixos de dobras, etc. (metalotecto estrutural) que permitiram a percolação dos fluidos mineralizantes. Estas mineralizações constituem remobilizações de grafita da faixa singenética por soluções penumatolíticas relacionadas ao corpo plutônico de Pedra Aguda.

h) Foram cadastrados 12 (doze) corpos expressivos de minério maciço ao redor do corpo plutônico de Pedra Aguda, denominados de: Cava Sul, Corpo Norte-Sul, Madalena-Seu

Chico, Juamirim, Seu Chico, Cava Norte, Serrote Açude, Serrote Estrada, Tida, Chico Néri, Antonio Alves, Tó.

i) As variações do δ^{13} C determinadas em amostras de grafita do minério disseminado são de -26,72‰ a -23,52‰ e do minério maciço de -27,03‰ a -20,83‰. Estes valores das relações entre isótopos estáveis de carbono, todos com valores entre -30 ‰ e -20 ‰, revelam sinal de atividades biológicas (bioassinaturas) e permitem afirmar que a grafita das amostras acima são derivadas de matéria orgânica.

j) Foram aqui descritos os principais guias de prospecção para grafita e testados os seguintes métodos geofísicos: Eletrorresistividade; GPR - *Ground Penetrating Radar*; Magnetometria; VLF - *Very Low Frequency*; e Polarização Induzida Espectral (IPS) / Eletrorresistividade (ER). A conjugação dos métodos de Polarização Induzida Espectral (IPS) e Eletrorresistividade (ER) foi o que demonstrou a melhor eficiência em função da alta cargabilidade e baixa resistividade do minério de grafita.

k) Uma importante constatação neste estudo refere-se à metodologia de determinação do teor de carbono por termogravimetria (ATG), que é o método mais utilizado para este elemento. Verificou-se que as faixas de queima atribuídas ao carbono no minério do Distrito de Aracoiába-Baturité (340 a 570°C e de 570 a 1050°C) eram diferentes das faixas do minério de Minas Gerais ("350°C a 650°C" e "650°C a 1.050°C). Tal fato indica a necessidade de se determinar previamente as faixas de temperatura para cada região pesquisada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG, 1977. 499p. p.363-391. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 8),

ALMEIDA, F.F.M., BRITO NEVES, B.B., CARNEIRO, C.D.R.. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Science Reviews*, [S.I.], v.50, p. 77-111, 2000.

ARTHAUD, M. H. *Tectônica de nappes e espessamento crustal brasiliano na região de Madalena - Boa Viagem, Ceará Central.* Exame de Qualificação, Instituto de Geociências, Universidade de Brasilia, 2005. 76 p. (inédito)

_____. Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasiliana. 2007. Tese (Doutorado em Geologia) – UNB, Brasília, DF, 2007.

ARTHAUD, M.H., VASCONCELOS, A.M., OLIVEIRA, F.V.C., As seqüências metassedimentares do Ceará Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. *Anais...*Belo Horizonte: SBG, 1998. v.1, p.16.

ARTHAUD, M.H., VASCONCELOS, A.M., NOGUEIRA NETO, J.A., OLIVEIRA, F.V.C., PARENTE, C.V., MONIÉ, J.P., CABY, R., FETTER, A.H. *Main Structural Features of Precambrian Domains from Ceará (NE Brazil)*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECAMBRIAN AND CRATONS TECTONICS, 14., 1998, Ouro Preto, Abstracts...Ouro Preto, 1998b. p.84-85.

BIZZI, L.A.; SCHOBBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; BEARS, F.J.; DELGADO, I.M.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; SANTOS, J.O.S. (Coord.), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil:* Sistema de Informações Geográficas Brasília, DF. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2001. Escala 1:2.500.000. 4 CDROM's.

. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

BRADY J. B., CHENEY J. T., AMY LARSON RHODES A. L., VASQUEZ A., GREEN C., DUVALL M., KOGUT A., Isotope geochemistry of Proterozoic talc occurrences in Archean marbles of the Ruby Mountains, southwest Montana, U.S.A. *Geological Materials Research*. [S.I.], v1, n.2, p.14, 1998

BRAGA, A.P.G., PASSOS, C.A.B., SOUZA, E.M., FRANÇA, J.B., MEDEIROS, M.F. & ANDRADE, V.A. *Projeto Fortaleza*: Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 1977. 10.p. Relatório técnico.

BRANDÃO, R.L., *Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza*.. Fortaleza: CPRM, 1995. v.1. Projeto Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo BRITO NEVES, B.B., *Regionalização Geotectônica do Pré-cambriano Nordestino*. 1975. 198 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

O mapa geológico do nordeste Oriental do Brasil, escala 1:1.000.000. 1983. 177 p. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1983.

BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*. Amsterdam, v. 53, n. 1, p.23-40, 1991.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS E. J.; VAN SCHMUS W.R.. Tectonic History of the Borborema Province, Northeast Brazil. In: CORDANI U. G.; THOMAZ FILHO A.; CAMPOS D.A. *Tectonic Evolution of the South America*. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. International Geology Congress of 2000.

BRITO NEVES, B. B.; PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A. S.; SANTOS, E. J. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. *Geologia USP*. São Paulo, v. 3, p. 25-38. 200.3 *Série Científica*

CABY, R.; ARTHAUD, M.H., Major Precambrian napes of the Brazilian belt, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*. [S.I.], v. 14, p. 871-874. 1986.

CABY, R.; SIAL, A. N.; ARTHAUD, M.; VAUCHEZ, A. Crustal evolution and the brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: DALLMAYR, R. O.; LOCORCHER, J. P. (Ed.). *The West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives*. Berlin: Springer-Verlog, 1991. p. 373-393.

CAMPELO R. C. Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: integração de dados geológicos e gravimétricos. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CAMPOS NETO, M.C.; BITTAR, S.M.B.; BRITO NEVES, B.B. Domínio Tectônico do Rio Pajeú – Província Borborema:Orogêneses supostas no Ciclo Brasiliano/Pan-Africano. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camburiú. *Boletim de Resumos Expandidos...* 1994. v.1, p.221-222.

CASTRO, N.A. *Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taperuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema).* 2004. 221 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAVALCANTE, J.C.; FERREIRA, C.A.; ARNESTO, R.C.G.; MEDEIROS, M.F.; RAMALHO, R.; BRAUN, O.P.G.; BAPTISTA, M.B.; CUNHA, H.C.S. *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. Brasília: MME-DNPM, 1983. Escala 1:500.000.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, F.E.M. Mapa Geológico do Estado do Ceará. In: ATLAS digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará: Geologia, Recursos Minerais, Geoquímica, Geofísica, Geomorfologia, Sistema de Informações Geográficas-SIG. :Brasília: MME-CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

CHACKO, T.; KUMAR, G. R. R.; MEEN, J. K.; ROGERS, J. J. W., The Kerala Khondalite Belt of Southern India: An Ensialic Mobile Belt. In:. ASHWAL, Lewis D (Ed). *Workshop on the Growth of Continental Crust*. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1988. LPI Technical Report, v.88, n. 2, p.45-47.

CONDIE, K.C.; BORYTA, M.D.; LIU, J.; QIAN, X. *The Origen of khondalites: Geochemical evidence from the Archean to early Proterozoic granulite belt in the North China craton. Precambrian Research.* [S.I.], v. 59, n.3-4, p. 207-223. 1992.

CRESPO E.; LUQUE F.J.; RODAS M.; WADA H.; GERVILLA F. Graphite–sulfide deposits in Ronda and Beni Bousera peridotites (Spain and Morocco) and the origin of carbon in mantle-derived rocks. *Gondwana Research*. [S.1.], v.9, p. 279-290. 2006.

DANTAS, E. L., HACKSPECHER, P.C., VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B. Archean accretion in the São José do Campestre Massif, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. Curitiba, v.28, n. 2, p.221-228, 1998.

DEGENS E.T. Geochemistry of stable carbon isotopes. In: EGLINTON, G.; MURPHY, M.T.J. (Ed.). *Organic Geochemistry* [S.I.], p 304-329. 1969

DISSANAYAKE, C.B; CHANDRAJITH, R. Sri Lanka - Madagascar Gondwana linkage: Evidence for a Pan-African mineral belt. *J. Geol.* [S.l.],v. 107, p. 223-235. 1999.

DISSANAYAKEL C.B.; ROHANA C.; BOUDOU J.P. Biogenic Graphite as a Potential Geomarker: Application to Continental Reconstructions of Pan-African Gondwana Terrains. *Gondwana Research.* [S;1.], v. 3, n. 3, p. 405-413. 2000.

DOBNER, A.; GRAF, W.; HAHN-WEINHEIMER P.; HIRNER A.: Stable carbon isotopes of graphite from Bosnia Mine, Sri Lanka. *Lithos*, Oslo, v.11, n. 3, p. 251-255, 1978.

ERDOSH, G. Geology of Bogala Mine, Ceylon and the origin of vein-type graphite. *Mineralium Deposita*, [S.1.], v.5, p.375-382, 1970.

FETTER, A.H. 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. 1999. 164p. Tese (Doutorado) - University of Kansas, Kansas, 1999.

FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, T.J.S.; ARTHAUD, M.; NOGUEIRA NETO, J.A. 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 paleoproterozóico supercontinent Atlantica. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 30, p. 102-106, 2000.

FETTER, A. H.; SANTOS, T.J.S.; VAN SCHIMUS, W.R; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.A.; WERNICK, E. 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*, [S.I.], v. 6, n. 2, p. 265-273, 2003.

GIBBONS, W. Suspect terranes. In: HAN COCK, P.L.(Ed.). *Continental deformation*. [S.I]: Pergamon Press, 1994. p.305-319 apud MEDEIROS, V. C. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Aracaju NE. Folha SC.24-X. Estados da Paraíba. Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia*. Brasília, DF: CPRM, 2000. Escala 1:500.000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

GOMES, J.R.C.; GATTO, C.M.P.P.; SOUZA, G.M.C.; LUZ, D.S.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W., Geologia: Mapeamento Regional. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25, Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra, Rio de Janeiro: MME, 1981, p. 27-300. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 23).

HOEFS, J.; FREY, M.. The isotopic composition of carbonaceous matter in a metamorphic profile from the Swiss Alps. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. [S.l.], v. 40, n. 8, p. 945-951. 1976.

HOFFMAN, P. F.; KAUFMAN, A. J.; HALVERSON, G. P.. Comings and goings of Global glaciations on a Neoproterozoic Tropical Platform in Namibia. *GSA Today*, [S.I.], v. 8, n. 5, p. 1-10. 1998.

ITAYA, T. Carbonaceous material in pelitic shists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *Lithos*, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 215-224. 1981.

JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M.H. F.; REINHARDT A. F., KAWSHITA, K. Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Craton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. Curitiba, v. 22, n. 4, p.472-408. 1992.

JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M.H. F.; TORRES, H. H. F.; KAWSHITA, K. Geocronology of metaplutonics in the evolution of supracrustal belts in the Borborema Province NE Brazil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 7, 1988. Belém, *Anais* ... Belém: SBG. Núcleo Norte, 1988. p.48-62.

JARDIM DE SÁ, E.F. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasiliana/Pan-Africana*. 1994. 803 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

KAUFMAN, A. J.; KNOLL, A. H. Neoproterozoic variations in the carbon isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications. *Precambrian Research*. [S.I.], v. 73, p. 27-49. 1995.

LEPLAND, A.; VAN ZUILEN, M.; LAYNE, G. D.; ARRHENIUS, G. Graphite as a biomarker in rocks of the 3.8 Ga Isua Supracrustal Belt. In: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION FALL MEETING, São Francisco, 2002. *Abstract*...São Francisco: AGU, 2002.

LUQUE, F.J.; PASTERIS, J.D.; WOPENKA, B.; RODAS, M.; E BARRENECHEA J.F., , Natural fluid-deposited graphite: mineralogical characteristics and mechanisms of formation. *American Journal of Science*. [S.I.], v. 298, Jun, p. 471-498. 1998 LUQUE F. J.; RODAS M.; E GALÁN E. Graphite vein mineralization in the ultramafic rocks of southern Spain: Mineralogy and genetic relationships. *Journal Mineralium Deposita*. [S.I.], v.27, n.3, Jun, p. 226-233. 1992 MARTINS, G. *Litogeoquímica e Controle Geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró*. 2000. 218 p. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, 2000. 218 p.

MARTINS, G.; OLIVEIRA, E.P.; SOUZA FILHO, C.R.; LAFON, J.M. Geochemistry and Geochronology of the Algodões Sequence, Ceará, NE Barzil: A Paleoproterozoic Magmatic Arc in the Central Ceará Domain of the Borborema Province. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte. *Anais*...Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 28.

MATHEZ E. A.; DIETRICH V. J.; HOLLOWAY J. R.; BOUDREA A. E. Carbon Distribution in the Stiliwater Complex and Evolution of Vapor During Crystallization of Stillwater and Bushveld Magmas. *Journal of Petrology*. Oxford, v. 30, n. 1, p. 153-173. 1989.

MEDEIROS, V. C.. *Aracaju NE. Folha SC.24-X. Estados da Paraíba. Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.* Brasília, DF: CPRM, 2000. Escala 1:500.000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

NEVES, S. P. Zona de cisalhamento Tauá, Ceará: Sentido e estimativa do deslocamento, evolução estrutural e granitogênese associada. *Revista Brasileira de Geociências*. Curitiba, v. 21, n. 2, p.161-173. 1991.

NOGUEIRA, J.F. *Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central.* 2004. 123 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

OLIVEIRA, J.F; CAVALCANTI J.C. *Mombaça Folha SB.24-V-D-V, Estado do Ceará*. Brasília, DF: DNPM/CPRM, 1993. 240 p. 2 mapas. Escala 1: 100.000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

OHMOTO, H. Stable isotope geochemistry of ore deposits. *Reviews in Mineralogy*. [S.l.], v. 16, p. 491-560. 1986.

OLIVER R. L. The Borrowdale volcanic and associated rocks of the Scafell área, English Lake District. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, [S.l.], v.117, p.377-417. 1961.

PARENTE, C.V.; ARTHAUD, M.H. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará–NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 25, n. 4, p. 297-306. 1995

PRADEEPKUMAR, A.P.; KRISHNANATH R. A Pan-African `Humite Epoch' in East Gondwana: implications for Neoproterozoic Gondwana geometry. *Journal of Geodynamics*. [S.1.], v. 29, p. 43-62. 2000.

RAY, J. S. Carbon isotopic variations in fluid-deposited graphite: evidence for multicomponent Rayleigh isotopic fractionation. *International Geology Review*, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 45–57, Jan. 2009.

RODAS, M.; LUQUE, F. J.; BARRENECHEA, J. F.; FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C.; MIRAS, A.; FERNÁNDEZ- RODRÍGUEZ, C. Graphite occurrences in the low-pressure/high-temperature metamorphic belt of the Sierra de Aracena (southern Iberian Massif). *Mineralogical Magazine*. [S.1.], v. 64, n. 5, p. 801-814, Oct. 2000.

SANTOS, E. J. Contexto geotectônico regional, In: MEDEIROS, V. C. *Aracaju, NE. Folha SC. 24-X:* Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Brasília, DF: CPRM, 2000. 1 CD ROOM. Escala 1:500.000. (Programa de levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.)

SANTOS, E. J. Ensaio Preliminar sobre Terrenos e Tectônica Acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1996, Salvador. *Anais...*Salvador: SBG, 1996. v. 39, p.:47-50.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B.B. Província Borborema. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (Coord.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 378p.

_____. Petrogenegisis and Tectonic Setting of the Lagoa das Pedras Magmatism, Floresta, State of Pernambuco, Província Borborema. Northeast Brazil, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 65, Supl 1, p. 131-139. 1993

SANTOS, T.J.S.; DANTAS, E.L.; ARTHAUD, M.H.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; FETTER, A.H. Evidências de crosta juvenil neoproterozóica no Ceará. CONGRESSO BRASILEIRA DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. *Anais Digitais...* Araxá: SBG, 2004. p. 1175-1176.

SANTOS, E.J.; MEDEIROS, V.C. (). New insights on Grenville age and Brasiliano Granitic Plutonismo f the Transverse Zone, Borborema Province. NE Brazil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 10.; CONGRESO NATIONAL DE GEOLOGIA ECONOMICA, 6. 1998, Mar del Plata. *Actas...*Mar Del Plata, 1998. v. 2, p. 427-431.

SANTOS, V.H. *Quimioestratigrafia Isotópica (C, Sr e Pb) em lentes de mármores nos terrenos Rio Capibariba e Alto Moxotó, Zona Transversal da Província Borborema NE do Brasil.* 2000. 129 p.Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

SANTOS, T.M.B. Petrologia, geoquímica e termocronologia das rochas granulíticas do sector São Fidélis - Santo Antonio de Pádua (zona central da Faixa Ribeira, Rio de Janeiro, SE do Brasil. 2008. 235 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Lisboa. Lisboa, 2008..

SANTOS, T.J.S.; SANTOS, A. A.; DANTAS, E.L.; FUCK, R.A. E PARENTE, C.V., - Nd Isotopes and the Provenance of Metassediments of the Itataia Group, Northwest Borborema Province, NE Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. *Short Papers*... Salvador, 2003. p. 286.

SCHIDLOWSKI, M. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of earth history: evolution of a concept. *Precambrian Research*. [S.I.], v. 106, p. 117-134, 2001.

SCHIDLOWSKI, M.; EICHMANN, R.; JUNGE, C.E. Precambrian sedimentary carbonates: carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget. *Precambrian Research.* [S.I.], v. 2 p. 1-69, 1975.

SCHOBBENHAUS, C.; RIBEIRO, C. L., OLIVA, L. A. et al. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*: Folha Goiás (SD.22). Brasília: DNPM, 1975. 99 p.

SCHOELL, M.; WELLMER, F.W. Anomalous 13C depletion in early Precambrian graphites from Superior Province, Canada. *Nature*, [S.I.], v. 290, p.696-699. 1981.

SHARMA, D. S.; KUMAR, B. Carbon isotope systematics of graphites from Dharwar craton, southern India: Implications to their source and post-depositional alterations. *Current Science*. [S.1.], v. 75, n. 4, p. 396-399, Aug, 1998. Research Communications.

SILVA L.C.; MCNAUGHTON, N.J., VASCONCELOS, A.M.; GOMES, J.R.C.; FLETCHER, I.R. U-Pb SHRIMP ages southern state of Ceará, Borborema Province, Brazil: Archean TTG accretion and proterozoic crustal rewoking, In: INTERNATIONAL. SYMPOSIUM. ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2, 1997, Salvador. *Extended Abstracts...* Salvador: SBG, 1997. p. 280-281.

SIMANDL, G.J.; KENAN, W. M. Crystalline Flake Graphite. In: GEOLOGICAL Fieldwork. Victoria: British Columbia Ministry of Employment and Investment, 1997a. Paper 1998-1, p. 24P-1 a 24P-3.

_____. Microcrystaline Graphite. In: GEOLOGICAL Fieldwork. Victoria: British Columbia Ministry of Employment and Investment. 1997b. Paper 1998-1, p. 240-1 a 240-3.

. Vein Graphite in Metamorphic Terrains, In: GEOLOGICAL Fieldwork. Victoria: British Columbia Ministry of Employment and Investment, 1997c. Paper 1998-1, p 24Q-1 to 24Q-3.

SOUZA. E. M. DE; BRAGA A.P.G.; NETTO, M. R. Geologia da Folha SB.24-X-A-IV (Itapiúna) – CEARÁ, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. 1984, Rio de Janeiro. *Anais*...Rio de Janeiro, 1984. p. 2501-2511.

STEVANATO, R.; FERREIRA, F. J. F.; FRAGOMENI, P. R. P. Geofísica Aplicada à Exploração Mineral de Grafita na Região de Aracoiaba-CE.- In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL, 2004, Ouro Preto. *Anais* ... Ouro Preto, 2004.

STRENS, R. G. J. The graphite deposit of Seathwaite in Borrowdale, Cumberland. *Geological Magazine*. [S.l.], v. 102; n. 5; p. 393-406, Sept. 1965.

TAZAKI, K.; FERRIS, E.G.; WIESE, R.G.; FYFE, W.S. Iron and graphite associated with fossil bacteria in chert. *Chem. Geol.*, [S.I.], v. 95, p. 313-325. 1992.

TEIXEIRA, M.L.A. Integração de dados aerogeofísicos, geológicos e isotópicos do limite norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria – CE (Província Borborema). 2005. 91 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005. TORRES, P.F.M.; PARENTE, C.V.; SIAL, A.N.; DANTAS, E.L.; FUCK, R.A.; VERÍSSIMO, C.U.V.; ARTHAUD, M.H.; Aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos dos mármores dolomíticos com nódulos de quartzo da seqüência metavulcano-sedimentar de Acarape-CE, *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 36, n. 4, p. 748-760. 2006

TORRES, P.F.M.; PARENTE, C.V.; DANTAS, E.L.; ARTHAUD, M.H.; FUCK, R.A.; NOGUEIRA NETO J.; CASTRO D.L.; VERÍSSIMO C.U.V. Sequência metavulcanosedimentar Acarápe,CE: aspectos geológicos e isótopos Sm/Nd – UFC - *Revista de Geologia*, [S.I.], v. 19, n. 2, p. 163-176, 2006.

VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, [S.I.], v.8, n.3/4, p.267-288. 1995

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M.; AMARO, V. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, [S.1.], v. 8, p. 247-266. 1995.

VEIZER, J.; HOLSER, W. T.; WIGULS, C. K. Correlation of ¹³C/¹²C and ³⁴S/³²S secular variations. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, [S.1.], v. 44, p. 579-587. 1980.

VINOGRADOV, A.B.; KROPOTOVA, O. I. The isotopic fractionation of carbon in geologic process. *International Geological Review*, [S.I.], n. 9/10, p. 497-506. 1968.

VOLKERT R.A.; CRAIG A.; JOHNSON C. A; TAMASHAUSKY A. V., , Mesoproterozoic graphite deposits, New Jersey Highlands: geologic and stable isotopic evidence for possible algal origins. *Canadian Journal of Earth Sciences*. [S.I.], v. 37, n.12, p. 1665–1675. 2000.

WILD, S.A; DORSETT-BAIN, H.L.; LENNON, R.G. Geological setting and controls on the development of graphite, sillimanite and phosphate mineralization within the Jiamusi Massif: An exotic fragment of Gondwanaland located in north-eastern China? *Gondwana Research*. [S.I.], v. 2, n. 1, p. 21-46. 1999.

WEIS, P.L.; FRIEDMAN, I.; GLEASON, J.P. The origin of epigenetic graphite: evidence from isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. [S.l.], v. 45, p. 2325-2332. 1981.

WILLIAM A. C.; VALLEY J. W. Origin of graphite in the Pickering gneiss and the Franklin marble, Honey Brook Upland, Pennsylvania Piedmont. *Geological Society of America Bulletin.* [S.1.], v. 102, n. 6; p. 807-811, Jun. 1990.

ZHANG, J.; ZHANG, Z.; XU, Z.; YANG, J.; CUI, J. Discovery of khondalite series from the western segment of Altyn Tagh and their petrological and geochronological studies. *Science in China (Series D)*, [S.1.], v. 43, n. 3, p. 308-316. 2000.



- Limite Tese
- Falha
- Falha de empurrão **. . .**
- Fratura ____
- Contato geológico Contato geológico provável
- ____ Lineamentos _____
- Veios de quartzo
- Estrada
- Cidade / Vila
- Drenagem 2
- Lagos



Complexo Gabro-Diorítico de Pedra Aguda (Np-PA) formado por gabros diorítios, granitos, com veios NPsg de quartzo na borda. (Suíte Gabróide Pós Orogênica) Granitóides cinzentos, geralmente de granulometria média a grossa (fácies porfirítica subordinada),

de composição granítica dominante. (Supersuite Granitóide Tardi a Pós Orogênica) COMPLEXO CEARÁ

Seqüência Metavulcano-sedimentar Acarápe - conjunto de rochas supracrustais de origem metavulcano-sedimentar. (cc- mármores; cs - calciossilicaticas; qtz -quartzito; xg - xisto grafitoso; gg - gnaisse grafitoso; anf - anfibolitos).



NPAba: i - indiviso; t - talude continental - sopé de talude; mp - fácies de mar profundo Sub-unidade Baturité (fácies de mar profundo) - biotita gnaisse, anfibolitos, gabros



PP

e piroxenitos. Turbiditos (anfibolitos com intercalações decimétricas de quartzitos puros) Sub-unidade Aracoiála (fácies de mar raso) - xistos e paragnaisses, com intercalações de mármores, quartzitos e rochas calciossilicáticas - rochas traquiandesiticas e metadaciticas

NPAar subordinadas. Embasamento paleoproterozóico formado por ortognaisses, migmatitos e granulitos (enderbítos), graníticos e tonalíticos, geralmente cinzentos, e migmatitos, dominando sobre anfibolitos, metagabros,

CCmb Complexo Cruzeta - Unidade Mombaça.

metaultramáficas e charnockitos

-1 - 11

> minério flake. com teores > 8% de C.

GNAISSE GRAFITOSO com intercalações subordinadas de rochas calciossilicáticas

intercalada em ortoanfibolitos

OCORRÊNCIAS DE GRAFITA G(e)- Depósitos Epigenéticos: Tipo veio, com teores >25% de C,

G(s) - Depósitos Singenéticos: Corpos de xisto grafitoso, de forma lenticular, de grande porte, com minério do tipo flake,

5.000

10.000m

FACULDADE DE GEOLOGIA - UERJ PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE DE BACIAS E FAIXAS MÓVEIS

Aluno: Paulo Roberto Pizarro Fragomeni Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira



DISTRITO GRAFITÍFERO ARACOIABA-BARURITÉ, CE MAPA GEOLÓGICO

Janeiro 2011