

O FURO ESTRATIGRÁFICO DE RIACHO FECHADO (CURRAIS NOVOS/RN), DOMÍNIO RIO PIRANHAS-SERIDÓ (PROVÍNCIA BORBOREMA, NE BRASIL): PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

Vladimir Cruz de Medeiros¹
Rogério Cavalcante¹
André Luiz Carneiro da Cunha¹
Alexandre Ranier Dantas¹
Alan Pereira da Costa¹
Angeval Alves de Brito¹
Joseneusa Brilhante Rodrigues¹
Mateus de Araújo Silva²

10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v27n3p1-40

¹ CPRM-Serviço Geológico do Brasil. vladimir.medeiros@cprm.gov.br; rogerio.cavalcante@cprm.gov.br; andre.cunha@cprm.gov.br; alexandre.dantas@cprm.gov.br; alan.costa@cprm.gov.br; angeval.brito@cprm.gov.br; joseneusa.brilhante@cprm.gov.br

² PPGG-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, dearaujosilvamateus@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta os procedimentos e a metodologia utilizada na execução do furo estratigráfico (1200m de profundidade) na região Riacho Fechado (Currais Novos/RN) pela CPRM-Companhia de Pesquisa e de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil), enfocando deste a instalação da sonda, aquisição de dados através dos testemunhos, até a obtenção de dados que permitissem uma modelagem geológica da região. O furo de sonda está inserido no Domínio Rio Piranhas-Seridó da Província Borborema (nordeste do Brasil), porção central do estado do Rio Grande do Norte, tendo como objetivo principal avaliar as relações/feições estratigráficas do Grupo Seridó, com ênfase a caracterizar uma possível inversão estratigráfica desta unidade na referida região, na qual estão presentes minas de scheelita, tais como Brejuí, Boca de Lages e Barra Verde. Com relação aos procedimentos do referido furo, é abordada a metodologia referente ao posicionamento da sonda, orientação de testemunho, além de medidas de atitudes (planares e lineares), registro/descrições e análises de Fluorescência de Raios-X (portátil) nos testemunhos. A descrição das litologias associadas as medidas/parâmetros estruturais obtidos nos testemunhos e em campo, permitiram caracterizar uma inversão estratigráfica do Grupo Seridó, materializada por uma dobra recumbente com superfície axial subhorizontalizada, provocando repetição de unidades/formações do Grupo Seridó, onde ressaltamos a Formação Jucurutu na porção inferior do furo, e conseqüentemente ampliação o potencial exploratório da região. Um biotita leucogranito equigranular com idade (U-Pb) em zircão de 561±4 Ma observado na profundidade de 167,25 a 171,78m é sugerido como provável fonte para os fluidos magmáticos responsáveis pelo transporte e precipitação das mineralizações de tungstênio e molibdênio na região. A integração e análise de mapas e seções geológicas, furos estratigráficos, dados aeromagnéticos e da bibliografia permitiram sugerir um modelo/configuração geológica da porção leste do Domínio Rio Piranhas-Seridó durante o Neoproterozoico, bem como sua configuração atual.

Palavras chave: Inversão estratigráfica, Sondagem, Estratigrafia, Grupo Seridó, Mineralização

ABSTRACT

This study presents the procedures and methodology used by the CPRM- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (Geological Survey of Brazil) implementing a stratigraphic borehole (1200m deep) in the Riacho Fechado region (Currais Novos, RN), focusing on the probe installation and data acquisition via core, as well as obtaining data to allow the geological modeling of the region. The borehole is located in the Rio Piranhas-Seridó Domain in the Borborema Province (northeastern Brazil), central portion of Rio Grande do Norte state. The main objective was to evaluate the stratigraphic relationships/features of the Seridó Group, with emphasis on characterizing a possible stratigraphic inversion of this unit in the region, where scheelite mines, such as Brejuí, Boca de Lages and Barra Verde, are present. The methodological procedures regarding the borehole describe probe positioning, core orientation, in addition to attitude (planar and linear) measurement, record/descriptions and X-ray fluorescence analysis (portable) of cores. The description of the lithologies associated with the structural measures/parameters obtained in the field and from the cores, allowed characterizing the stratigraphic inversion of the Seridó Group, materialized by a recumbent fold with a subhorizontalized axial surface, causing repetition of units/formations of the Seridó Group, where the Jucurutu Formation is highlighted in the lower portion of the borehole, consequently, increasing the exploratory potential of the region. An equigranular leucogranite biotite aged 561 ± 4 Ma in zircon (U-Pb) was observed between 167.25 and 171.78 m deep and is suggested as a likely source for the magmatic fluids responsible for the transport and precipitation of tungsten and molybdenum mineralization in the region. The integration and analysis of maps and geological sections, stratigraphic boreholes, aeromagnetic data and the bibliography allowed to suggest a geological model/configuration of the eastern portion of the Rio Piranhas-Seridó Domain during the Neoproterozoic, as well as its current configuration.

Keywords: Stratigraphic inversion, Borehole, Stratigraphy, Seridó Group, Mineralization

INTRODUÇÃO

Durante o I Seminário das Províncias Metalogenéticas Brasileiras: A Província de W-Au do Seridó, na cidade de Currais Novos (RN), foram solicitadas pela CPRM (Companhia de Pesquisa e de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil) propostas para a realização de furos de sondagem estratigráficos na região da Província Metalogenética do Seridó (RN/PB).

Neste trabalho serão apresentados os procedimentos e resultados referentes ao furo de Riacho Fechado (FD-SE-001) localizado no município de Currais Novos (RN). A execução do furo propriamente dito foi realizada pela CPRM, através da GEOSOL-Geologia e Sondagens S/A (empresa contratada).

A região estudada encontra-se inserida no Domínio Rio Piranhas-Seridó da Província Borborema (Fig. 1) definida por Almeida et al. (1977), posicionada no nordeste do Brasil, porção central do estado do Rio Grande do Norte (Fig. 2), tendo como enfoque de pesquisa a estratigrafia e feições estruturais do Grupo Seridó (supracrustais neoproterozoicas) e a possível inversão estratigráfica desta unidade na região, a qual poderia ampliar as reservas dos jazimentos de scheelita da região.

O FURO ESTRATIGRÁFICO DE RIACHO FECHADO (CURRAIS NOVOS/RN)...

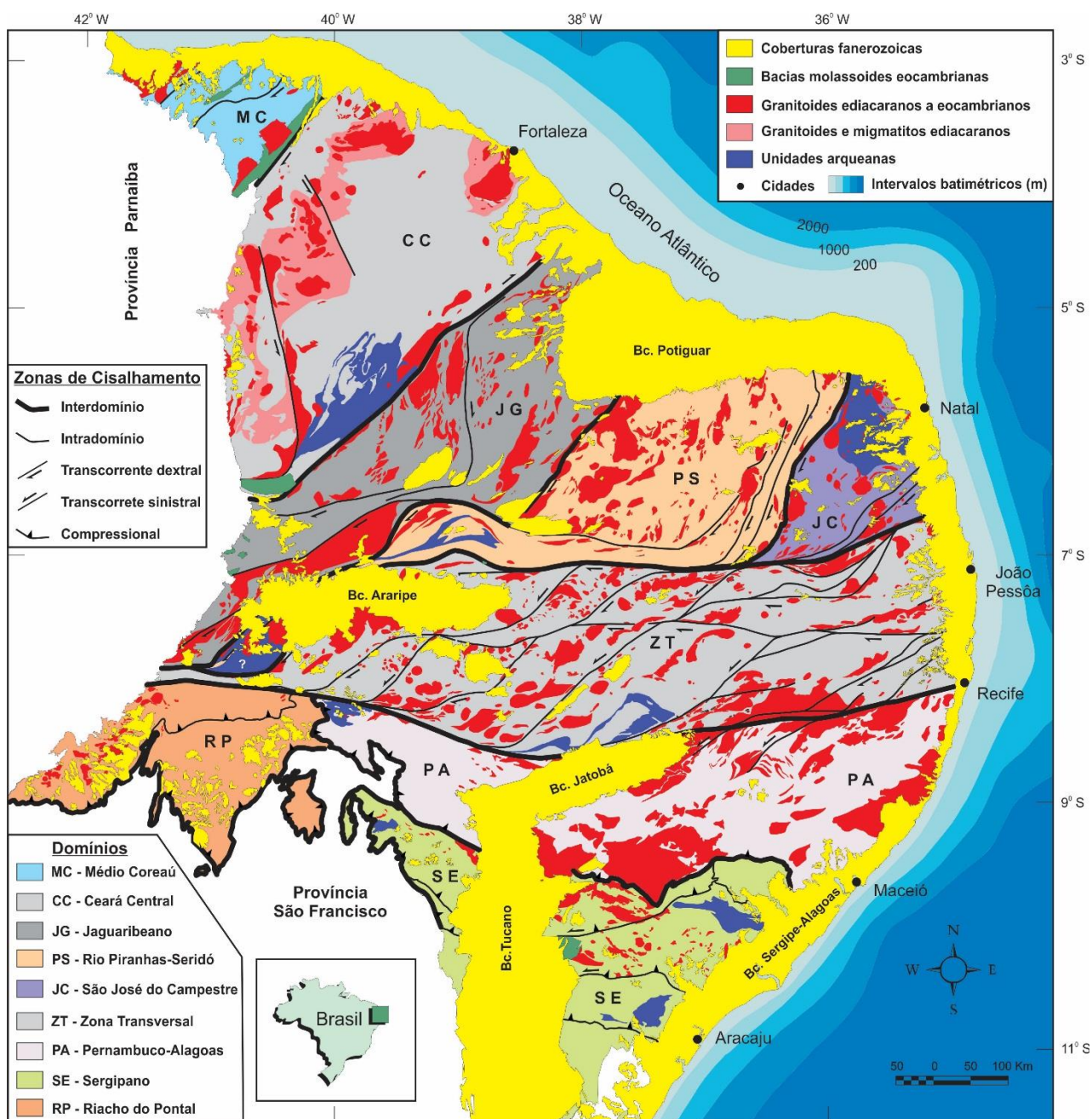


Figura 1 - Localização do Domínio Rio Piranhas-Seridó (PS) no contexto da Província Borborema.

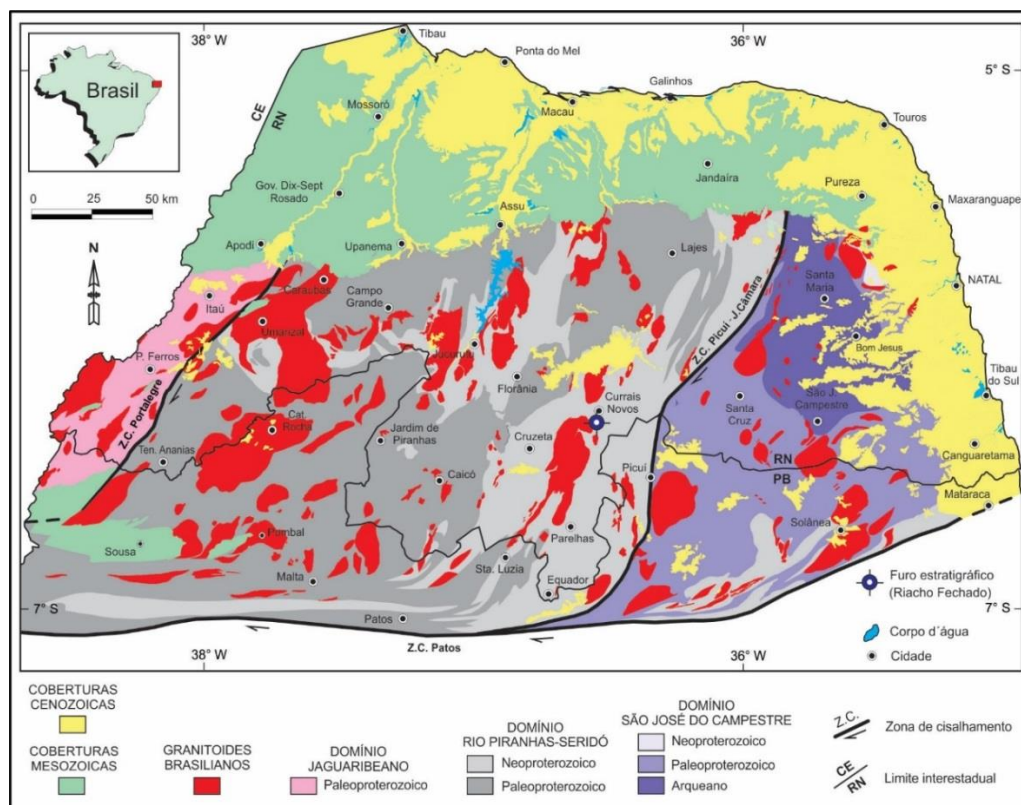


Figura 2 - Arcabouço geológico do extremo nordeste da Província Borborema, segundo Medeiros (2013), com a localização do furo estratigráfico de Riacho Fechado (Currais Novos/RN).

Uma inversão estratigráfica no Grupo Seridó na região de Currais Novos (RN), é referida na literatura e ressaltada por Angelim *et al.* (1980) e Cavalcante Neto (2009) em trabalhos de detalhe na região (Fig. 3).

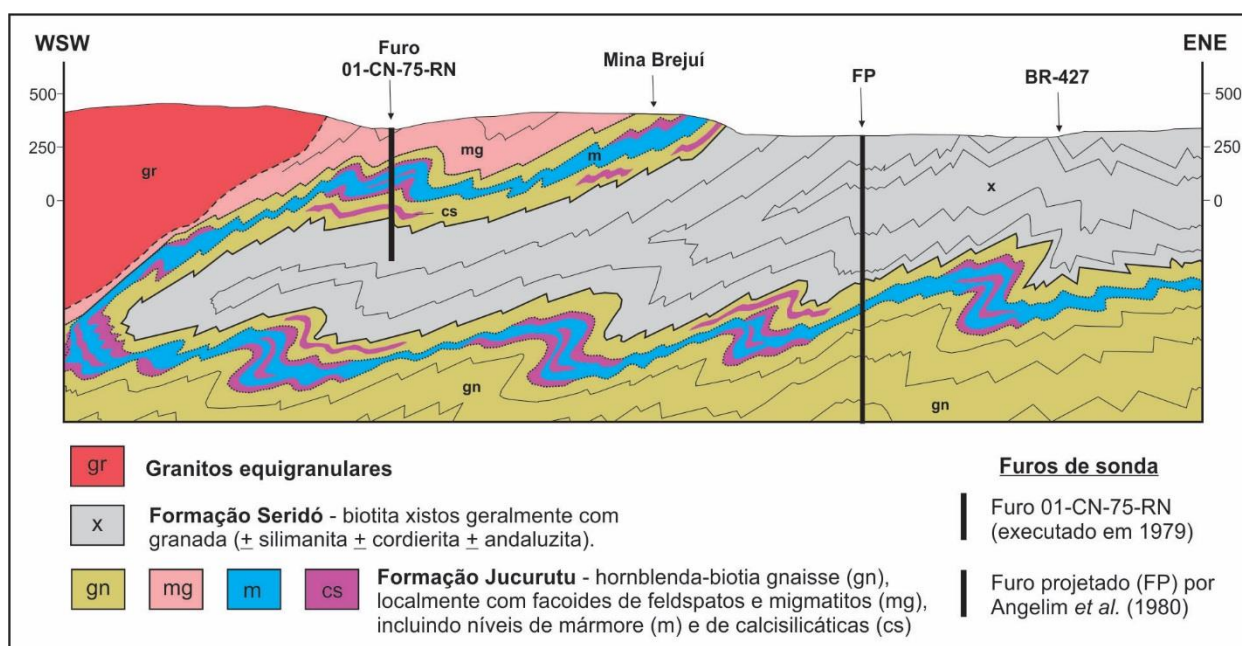


Figura 3 - Perfil geológico de Angelim *et al.* (1980) para a região da mina Brejui, sugerindo o modelo de inversão estratigráfica na região e propondo um furo estratigráfico na área (FP).

Nesta região estão inseridas importantes minas de scheelita do país (Brejuí, Boca de Lages e Barra Verde), e tendo em vista a relevância estratigráfica e econômica do modelo geológico proposto, a CPRM-Serviço Geológico do Brasil, realizou o furo no intuito de verificar tal inversão estratigráfica, contribuir com o modelo estratigráfico/sedimentar entre as formações do Grupo Seridó e com os modelos de reservas econômicas de tungstênio na região.

A metodologia aplicada e os dados obtidos neste furo de sondagem, associados a mapeamentos regionais e de detalhe, e os principais resultados obtidos são à base dos dados/modelos apresentados neste trabalho.

GEOLOGIA REGIONAL

O furo de Riacho Fechado encontra-se inserido no contexto do Grupo Seridó, no qual Jardim de Sá & Salim (1980), Jardim de Sá (1984 e 1994) e Medeiros et al. (2012), dentre outros, consideram que este grupo estaria composto por paragneisses basais com intercalações de mármore, rochas calcissilicáticas, micaxistos, metavulcânicas e formações ferríferas (Formação Jucurutu), metaconglomerados e quartzitos (Formação Equador) em posição intermediária, e no topo micaxistos feldspáticos e aluminosos, possuindo subordinadamente intercalações de metavulcânicas, mármore e rochas calcissilicáticas (Formação Seridó).

Segundo Jardim de Sá & Salim (1980) e Jardim de Sá (1994) os contatos entre as formações do Grupo Seridó são quase sempre interdigitados entre si, indicando constituiriam uma sequência de deposição contínua (Fig. 4).

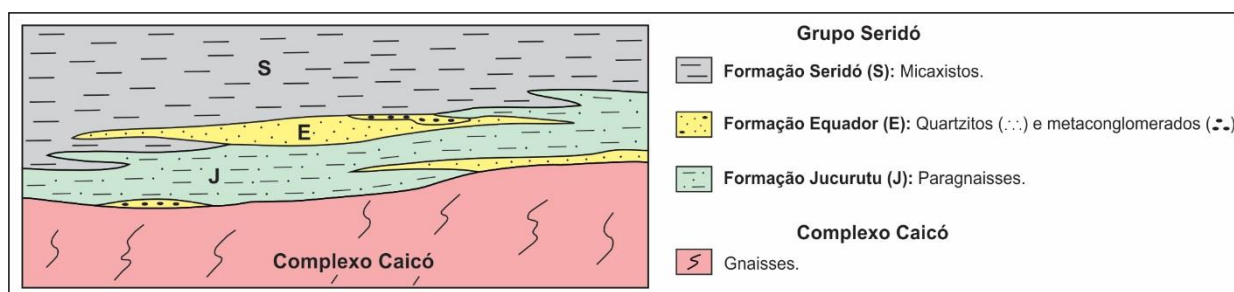


Figura 4 - Relações estratigráficas das formações/unidades que compõem o Grupo Seridó, segundo Jardim de Sá (1994).

Datações U-Pb (SHRIMP) obtidas por Van Schmus et al. (2003) a partir de zircões detríticos das formações Jucurutu e Seridó permitiram afirmar que as sedimentações destas unidades decorrem durante o final do Neoproterozoico (Ediacarano). Mais recentemente Holanda et al. (2015) também obtiveram idades ediacaranas para estas duas formações.

GEOLOGIA LOCAL

A região é constituída predominantemente por litotipos das formações Seridó (xistos) e Jucurutu (paragneisses, mármore e rochas calcissilicáticas), além de um corpo gabroico e diques de pegmatitos e de diabásios (Fig. 5).

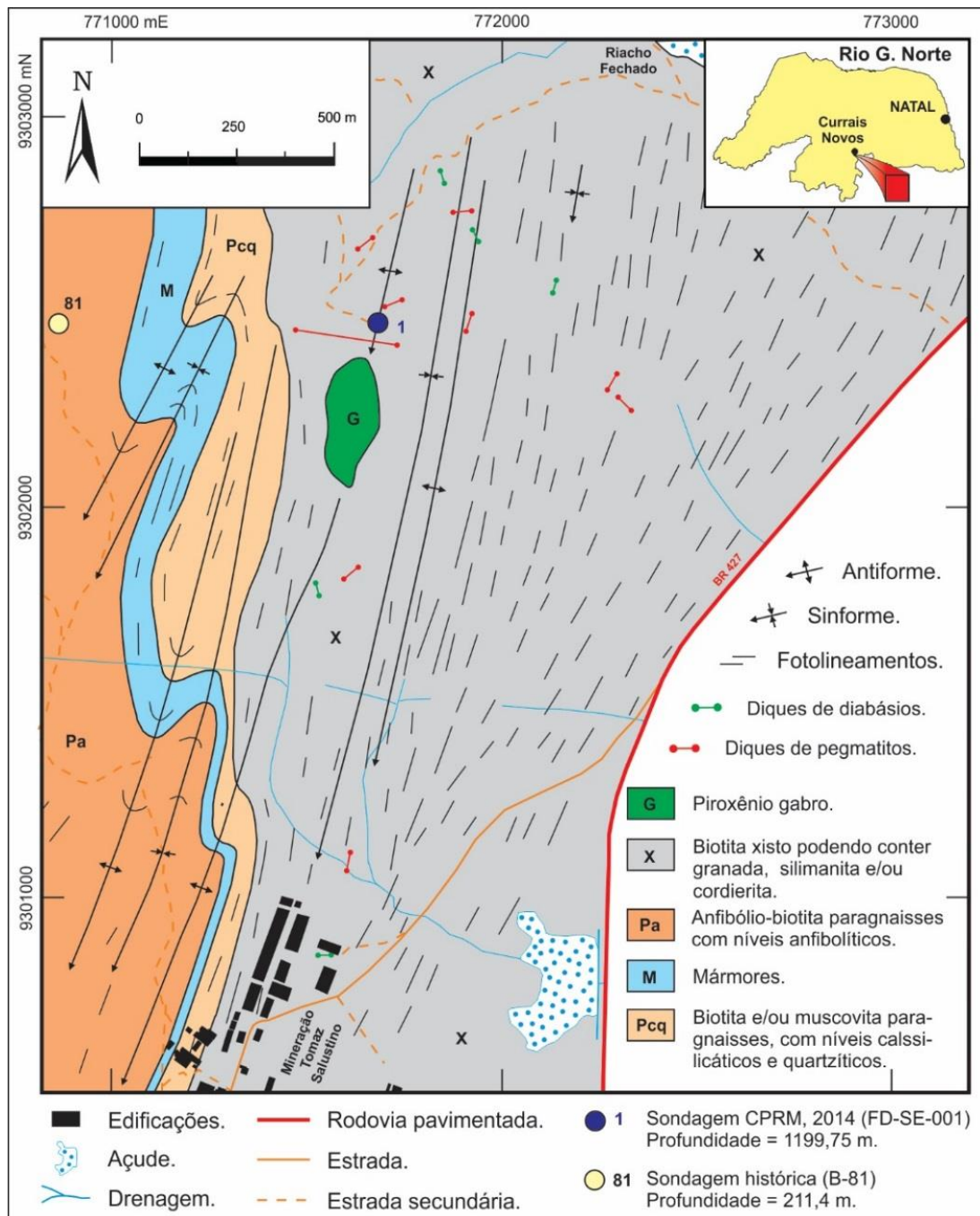


Figura 5 - Esboço geológico da região de Brejuí-Riacho Fechado (Currais Novos/RN), com a localização do furo estratigráfico de Riacho Fechado (FD-SE-001).

A Formação Equador (quartzitos e metaconglomerados) não estar representada nas figuras 3 e 5, entretanto mapas de detalhe da região (Cavalcante Neto, 1986; Souza, 1986; Cavalcante Neto et al, 1988 e Cavalcante Neto, 2009) cartografaram níveis estreitos, por vezes descontínuos de muscovita quartzitos na região do contato entre os xistos da Formação Seridó e os paragneisses da Formação Jucurutu.

Formação Jucurutu

Corresponde a porção oeste da região estudada, estando representada essencialmente por paragnaisses e mármore (Fig. 5). Níveis/camadas de anfibolitos e rochas calcissilicáticas também são observadas, sendo esta última, a litologia mineralizada em tungstênio (scheelita).

Na porção leste da unidade predominam biotita e/ou muscovita paragnaisses de granulação fina/média e coloração cinza, enquanto que na porção oeste predominam anfibólio-biotita paragnaisses de granulação média a grossa e coloração acinzentada (Figs. 6 e 7).

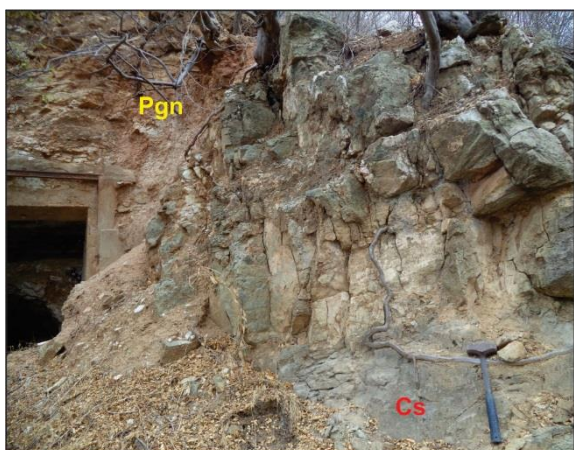


Figura 6 - Biotita paragnaisses (Pgn) com níveis calcissilicáticos (Cs) em uma das entradas das galerias da mina Brejuí (Currais Novos/RN).



Figura 7 - Anfibólio-biotita paragnaisses da porção NW da mina Brejuí (Currais Novos/RN).

Entre estes dois paragnaisses foi cartografada uma camada de mármore (Fig. 5), litologia esta também observada como camadas com menores espessuras/lentes nos paragnaisses desta formação.

Os mármore são constituídos essencialmente por calcita, apresentando uma coloração cinza esbranquiçada e granulação média a grossa (Fig. 8).

As rochas calcissilicáticas na região da mina Brejuí apresentam composição e textura diversificada, entretanto nos afloramentos visitados foram identificadas as rochas epidotíferas granonematoblásticas de granulação média e coloração esverdeada, sendo comum a presença de granada, diopsídio, quartzo e plagioclásio (Fig. 9).

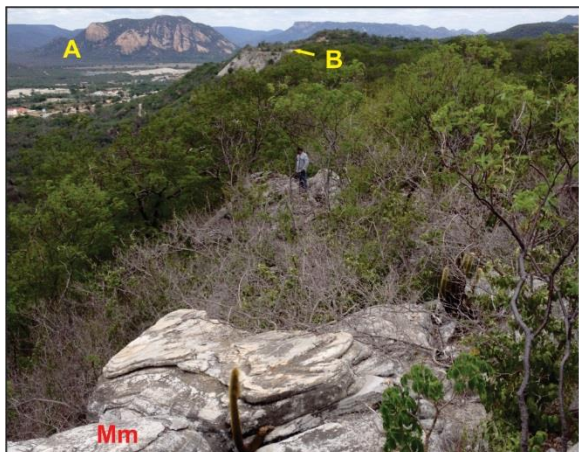


Figura 8 - Mármore (Mm) da Formação Jucurutu aflorante na região da mina Brejuí (B), apresentando dobras suaves com eixo mergulhando (15°) no sentido da referida mina. Em segundo plano o granito da Serra do Acauã (A).

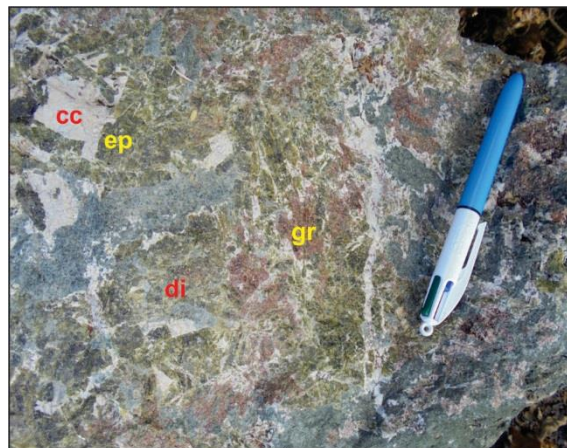


Figura 9 - Detalhe de um bloco de rocha calcissilicática da Formação Jucurutu na mina Brejuí (Currais Novos/RN), apresentando cristais de granada (gr), epidoto (ep), diopsídio (di) e calcita (cc).

Formação Equador

Unidade cartografada como uma camada estreita e descontínua por Souza (1986), Cavalcante Neto (1986), Cavalcante Neto et al. (1988) e Cavalcante Neto (2009). Seus litotipos foram observados apenas na forma de blocos na porção intermediária da serra Pau-Pedra, e fragmentos rolados na porção inferior da mesma, sendo constituídos por muscovita quartzitos esbranquiçados de granulação grossa (Figs. 10 e 11).



Figura 10 - Amostra de muscovita quartzito da região da mina Brejuí (Currais Novos/RN).



Figura 11 – Detalhe da textura grossa do muscovita quartzito nos arredores da mina Brejuí (Currais Novos/RN).

Formação Seridó

É constituída por biotita xistos com faixas/porções ricas em cordierita (atingem 15 cm de comprimento) e/ou granada (atingem 1,5 cm) quando imprimem uma textura porfiroblástica na rocha (Fig. 12). Em alguns locais também é observada a presença de silimanita.

Na região de Riacho Fechado, a foliação principal ressalta dobras antiformais e sinformais apertadas (Fig. 5), cujos planos axiais e eixos apresentam direção aproximadamente 010 a 025 Az, paralelos as zonas de cisalhamento transcorrentes regionais e referidas com D3. Localmente, em escala de afloramento e em porções mais preservadas da deformação/dobramento D3, podem ser observados padrões de dobras recumbentes (Fig. 13).

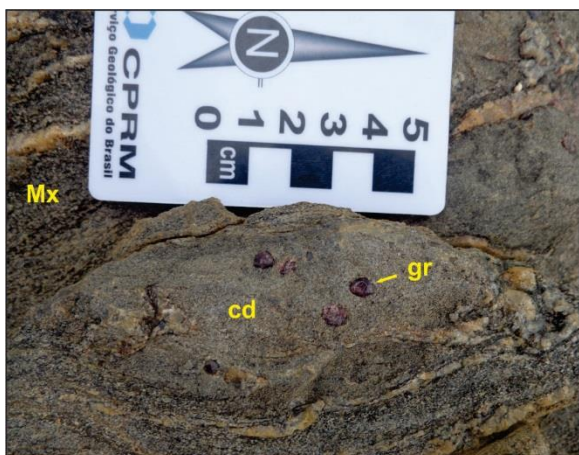


Figura 12 - Seção em planta de granada-cordierita-biotita xisto (Mx) da Formação Seridó na região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), com porfiroblasto centimétrico de cordierita (cd) apresentando inclusões de granada (gr).



Figura 13 - Seção em corte de granada-biotita xisto da Formação Seridó na região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), mostrando minidobras em “m” com planos axiais subhorizontalizados.

É comum a presença de vênulas e/ou veios boudinados/transpostos de quartzo, bem como veios/diques de pegmatitos intrusivos nestes metapelitos.

Gabro

Um corpo gabroico foi cartografado na porção central da área, posicionado na região de um antifórme materializado pelos xistos da Formação Seridó (Fig. 5), representado em campo essencialmente na forma de blocos e matacões. É constituída por um piroxênio gabro de coloração verde escura, apresentando textura média a grossa na porção central do corpo e fina a média nas bordas do mesmo (Figs. 14 e 15). A mineralogia é composta essencialmente por plagioclásio e piroxênio, aparentando biotita e minerais opacos como acessórios.



Figura 14 - Piroxênio gabro da região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), intrusivo em metapelitos da Formação Seridó.



Figura 15 – Detalhe do piroxênio gabro da região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN).

Pegmatitos

Vários veios/diques de pegmatitos e granitos pegmatoides apresentam textura grossa a muito grossa, coloração esbranquiçada, possuindo xenólitos e porções parcialmente assimiladas dos xistos da Formação Seridó, evidenciando o caráter intrusivo nestes metassedimentos (Figs. 16 e 17).



Figura 16 - Dique de pegmatito (P) intrusivo em micaxistos (Mx) da Formação Seridó na região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN).

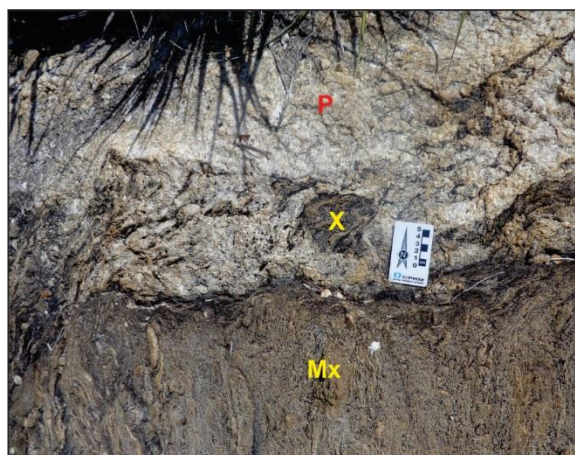


Figura 17 - Detalhe de um dique de pegmatito (P) truncando a foliação e com xenólito (X) do micaxisto (Mx) da Formação Seridó. Região de Riacho Fechado (Currais Novos/RN).

Diabásios

Diques/veios de diabásios com espessuras menores de 1,5 metro foram observados cortando as unidades do Grupo Seridó, e correlacionados ao magmatismo Rio Ceara-Mirim (toleítico e secundariamente alcalino), os quais foram caracterizados inicialmente por Sial (1974 e 1976) e Sial *et al.* (1981).

Regionalmente estes corpos apresentam direção essencialmente E-W (Figs. 18 e 19), entretanto localmente também foram observados com direções N-S e NW-SE.

O FURO ESTRATIGRÁFICO DE RIACHO FECHADO (CURRAIS NOVOS/RN)...



Figura 18 – Veio de diabásio/basalto (D) com direção E-W, cortando/truncando a foliação do micaxisto (Mx) da Formação Seridó. Região da mina Brejuí (Currais Novos/RN).



Figura 19 – Corpo de diabásio/basalto (D) de direção E-W, cortando a foliação do micaxisto (Mx) com destaque para reativação de falhas de direção NE (linha tracejada vermelha). No entorno da mina Brejuí (Currais Novos/RN).

Determinações isotópicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em plagioclásios, indicando idades do Cretáceo Inferior ($127\pm 1,3$ Ma, 113 ± 4 Ma e $111\pm 1,3$ Ma) para estes litotipos, foram obtidas Araújo et al. (2001), respectivamente nas regiões de João Câmara (RN), Florânia (RN) e Lages (RN). Usando o mesmo método em anfibólios, Souza et al. (2003) obtiveram uma idade de 132 ± 1 Ma em litotipos similares situados a sul de Pedro Avelino (RN).

O FURO ESTRATIGRÁFICO: PROCEDIMENTOS

Localção e Posicionamento da Sonda

Após a avaliação regional de mapas geológicos e geofísicos e visita ao campo, o furo de Riacho Fechado (FD-SE-001) foi locado nas coordenadas $36^{\circ}32'39,2''\text{S}$ e $06^{\circ}18'17,1''\text{W}$, com uma inclinação de 85° no Az 015° (Fig. 20), correspondendo ao contra azimuth do sentido de caimento do eixo do antiforme onde o furo foi posicionado (Fig. 5).

A inclinação de 85° foi utilizada no intuito de possibilitar a orientação dos testemunhos, a qual foi realizada em torno de cada 30 metros perfurados. Tal fato permitiu a obtenção de medidas de parâmetros planares e lineares (estruturais e estratigráficos) nos mesmos.

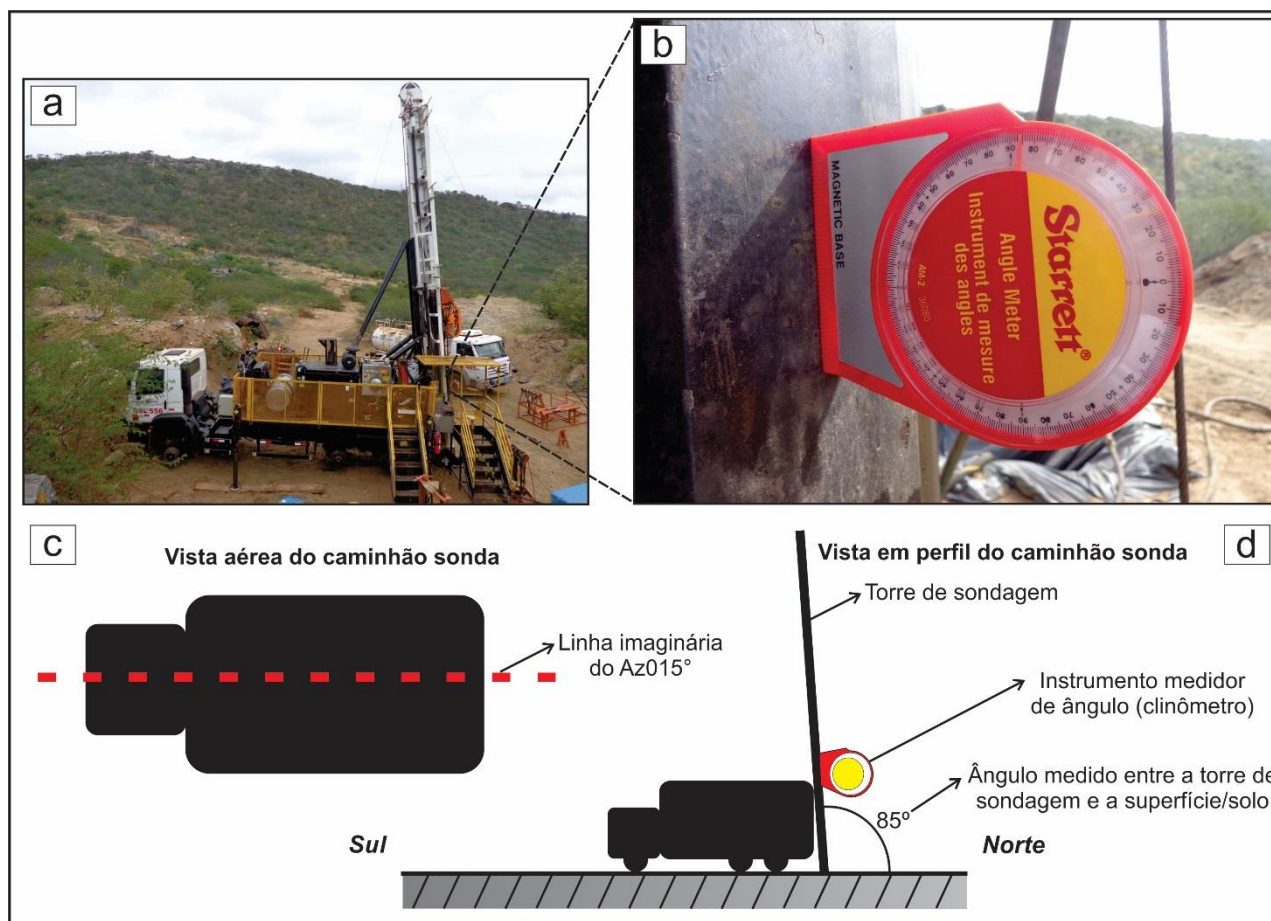


Figura 20 – Aspectos do posicionamento da sonda no furo de Riacho Fechado: (a) sonda acoplada a um caminhão com direção Az015°; (b) detalhe do clinômetro junto a torre de sondagem responsável pela medida do ângulo de inclinação do furo (85°); (c) esboço mostrando o posicionamento do caminhão sonda em planta com destaque para a linha do azimuth 015° medida com o auxílio da bússola; (d) esboço exibindo detalhe do processo de inclinação da torre de sondagem de acordo com ângulo de mergulho definido para o furo, no caso 85°.

Acondicionamentos dos Testemunhos em Caixas

Após as manobras de recuperação e limpeza dos testemunhos (Fig. 21), os mesmos foram acondicionados em caixas de polietileno de alta densidade, com tampa hermética, ordenados da esquerda para a direita e de cima para baixo, com “tacos” indicando medidas da manobra (profundidade atingida, extensão total e comprimento do testemunho recuperado), conforme observado na Figura 22. Em todas as caixas foram fixadas plaquetas de alumínio com a identificação das mesmas.



Figura 21 – Operação/manobra de recuperação e limpeza de testemunho.



Figura 22 - Acondicionamento dos testemunhos em caixas de polietileno, com “tacos” separando os intervalos de manobra.

Orientações dos Testemunhos

Para a realização desta atividade foi utilizado um orientador (tipo "João Bobo") inicialmente com massa de modelar (Fig. 23) e depois dos 250 metros, acoplado com um ponteiro de aço (Fig. 24). O equipamento apresenta uma ranhura na porção superior ao seu deslizamento ao longo do furo, indicando a posição do alinhamento do furo/torre da sonda, no caso/furo o Az 015°.



Figura 23 - Orientador com massa de modelar (lado esquerdo) e prolongamento da marcação (Az015°) no testemunho (linha em vermelho).



Figura 24 - Orientador com ponteiro (lado esquerdo) e de massa de modelar (lado direito).

Após a retirada do testemunho e confirmado que o equipamento realmente efetuou a marcação (Fig. 25), a operação de orientação do testemunho deve ser realizada neste momento (Figs. 26 e 27), quando é ajustado o testemunho (através da marcação) ao orientador e a seguir efetuado o prolongamento da marcação/ranhura do orientador no testemunho (Fig. 28).



Figura 25 - Marcação do ponteiro na porção inferior da seção circular do testemunho (ponta da seta amarela).



Figura 26 - Detalhe do encaixe da marcação no testemunho ao ponteiro do orientador.



Figura 27 - Ajustando o testemunho ao orientador, para posterior marcação/orientação do testemunho.



Figura 28 - Com o testemunho já ajustado ao orientador, efetua-se o prolongamento do traço/ranhura do orientador no testemunho.

Caso não possa ser reconhecida a marcação do testemunho, ou o mesmo não tenha continuidade física entre os seguimentos recuperados, a operação de marcação/orientação do testemunho deverá ser novamente efetuada no avanço operacional seguinte.

Metragens dos Testemunhos

Esta atividade consiste em conferir a relação/marcação entre as operações de avanço e a recuperação dos testemunhos assinalados nos marcadores ("tacos") das caixas de testemunhos, bem como assinalar nas referidas caixas os metros/profundidades perfurados (Figs. 29 a 31).



Figura 29 – Cálculo/conferência do intervalo perfurado (metro a metro).



Figura 30 - Marcação da metragem perfurada (numeração em cor azul), no caso 1072 metros.



Figura 31 - Caixa de testemunho com marcação da metragem perfurada. Notar a numeração em azul nos segmentos verticais das individualizações dos testemunhos. No caso 993 a 996 metros.

Registros Fotográficos das Caixas de Testemunhos

Após serem assinaladas as metragens da profundidade do furo e conferidas as anotações das testeiras e tacos, uma das atividades realizadas é a de fotografar tanto os testemunhos como as testeiras das caixas (Figs. 32 a 35). Tais fotografias são relevantes tanto para o registro geológico, bem como para as operações futuras de retirada e recolocação dos testemunhos na devida caixa, local e posicionamento (base x topo).



Figura 32 - Fotografia registrando o material amostrado/caixas de testemunho.



Figura 34 - Taco de uma caixa de testemunho, assinalando: profundidade (P) = 227,45m, avanço (A) = 2,95m e recuperação (R) = 2,95m.

Figura 33 - Detalhe de caixas de testemunho, ressaltando a placa/quadro com dados da porção fotografada.



Figura 35 - Testeira de uma caixa de testemunho em placa de metal com marcação em baixo relevo.

Ampliações das Marcações das Orientações dos Testemunhos

Utilizando o marcador de testemunhos em segmentos já orientados no campo (Figs. 36 e 37), foram encaixadas as continuidades (superior e inferior) dos testemunhos adjacentes ao segmento orientado na sonda, e dado a continuidade/prolongamento da marcação da orientação nos demais testemunhos (Figs. 38 e 39).



Figura 36 – Equipamento marcador de testemunhos, ressaltado em primeiro plano.



Figura 37 - Testemunho marcado (circunferência assinalada na porção frontal) e orientado (linha em azul na superfície lateral) no pátio de sondagem.



Figura 38 - Operação de complementação da marcação/orientação de testemunho.



Figura 39 - Testemunhos com orientação ampliada (linha em preto).

Medições de Atitudes/Feições Planares e Lineares nos Testemunhos

Tendo em vista que o furo teve uma inclinação de 85° foi construído um equipamento em madeira (posicionador de testemunho) com tal inclinação, o qual foi acoplado a uma mesa possibilitando a reconstituição do posicionamento do testemunho similar ao do mesmo em campo/furo (Figs. 40 e 43). Tal situação permitiu serem realizadas medidas de atitudes/feições planares e lineares, que para facilitar tais leituras foi utilizada uma prancheta com um corte em um dos lados com dimensão milimetricamente superior a uma semicircunferência do diâmetro dos testemunhos (Figs. 41 a 43).



Figura 40 - Orientador de testemunho com inclinação fixa de 85° , posicionado no sentido do furo executado (Az 15°).



Figura 41 - Operação de medida de plano de foliação em testemunho.



Figura 42 - Detalhe da operação de medida de plano de foliação em testemunho.

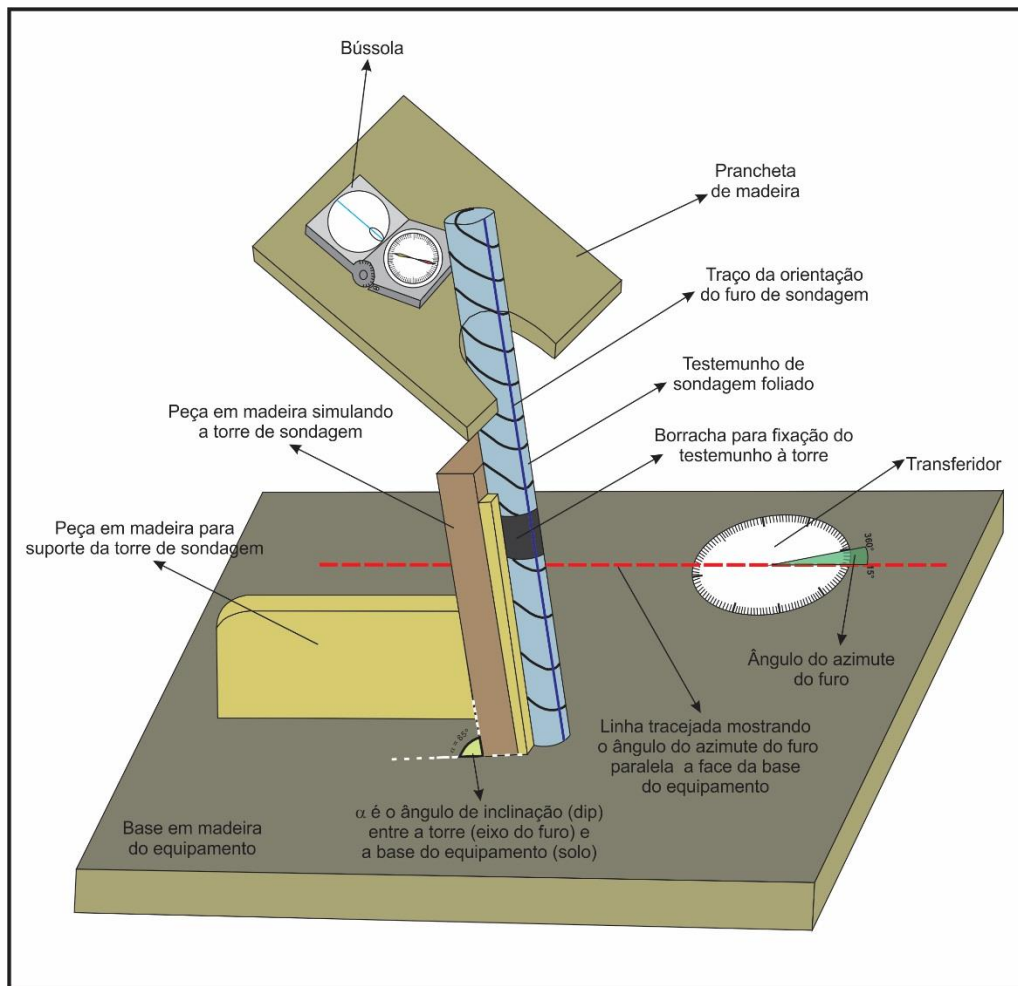


Figura 43 – Esquema de equipamento utilizado para medir feições planares e lineares (foliação, bandamento, fraturas, falhas, lineações, etc.) no testemunho de sondagem orientado.

Medidas Adquiridas de Fluorescência de Raios-X Portátil (FRXp)

Foram realizadas medições nos testemunhos com os equipamentos fluorescência de raios-X portátil – FRXp (Delta Dynamic XRF - Standard), o qual operando no módulo “*mining plus*”, com o tempo de duração da leitura de 1 minuto e 30 segundos fornece resultados de 37 elementos químicos (Fig. 44 e Tab. 1).

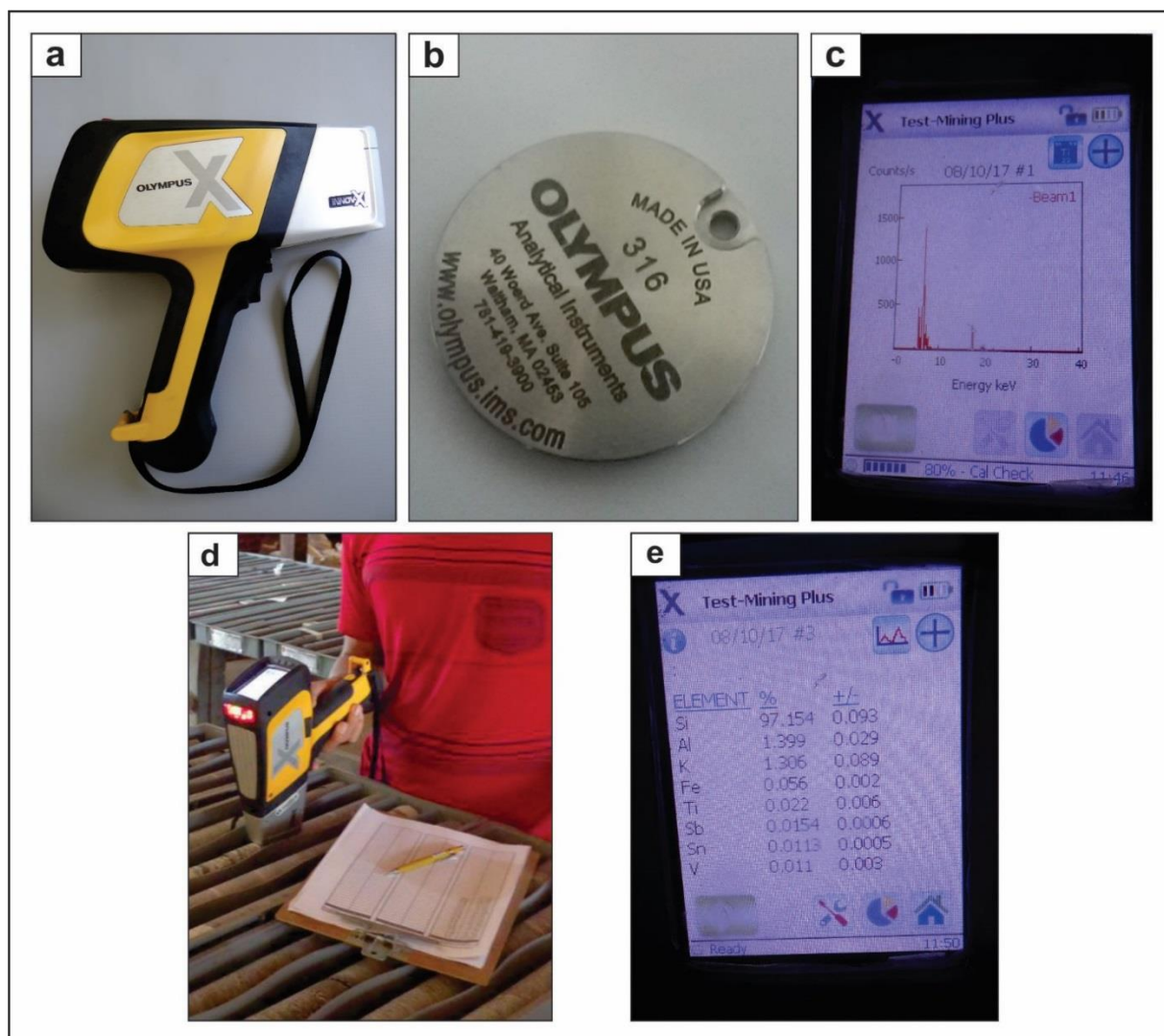


Figura 44 – Aspectos gerais da FRXp e de seu funcionamento: (a) Modelo do equipamento utilizado nas análises de FRXp “Delta Dynamic XRF – Standard”; (b) pastilha do elemento Cs (césio) empregada no processo de calibração do equipamento; (c) Visor mostrando a realização do método de calibração do equipamento; (d) Exemplo de análises de fluorescência de raio-X portátil em atividade; (e) Visor com amostra sendo analisada e alguns dos resultados desta análise.

Tabela 1 - Relação dos elementos químicos analisados (%) com a FRXp.

Modo de operação	Elementos químicos analisados (unidades)	Tempo de leitura
Mining Plus	P, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Hf, W, Hg, Pb, Bi, Th e U.	1' 30"

Rotineiramente o equipamento requer uma calibração antes de ser realizada a primeira medida do dia “cal check” (Fig. 44). Esta medida é realizada fazendo a leitura de uma placa de metal na forma circular com composição conhecida (padrão do equipamento). As medidas são acompanhadas em um *log*, onde são anotadas as profundidades que estão sendo medida, os números das medidas representados pela nomenclatura “reading” #1, # 2, #3... assim por diante, e a data. Este último dado é importante em ser registrado, pois no início de cada dia de trabalho, a FRXp solicita que a mesma seja calibrada e o sistema re-inicia a sua numeração sequencial (medidas #1, # 2, #3, etc).

As medidas foram realizadas em um suporte amostral de 1 em 1 metro, com adensamento de 0,5 m e até 0,25 m em algumas zonas de maior interesse, totalizando 1635 análises obtidas.

Os dados da FRXp são então transferidos para um computador e são confrontados com os dados existentes nos *logs* analógicos para se comparar os números das medidas (#1, # 2, #3, etc) e as respectivas profundidades. Monta-se então uma tabela onde as colunas iniciais são o número da medida e a profundidade do furo, as demais são compostas pelos elementos químicos analisados.

Descrições de Testemunhos

As descrições dos testemunhos foram realizadas antes das serragens dos mesmos, onde os geólogos descreveram os testemunhos em fichas previamente adequadas para cada furo, utilizando lupa, canivete/riscador, ácidos, imã, borrifador de água (Figs. 45 a 47), etc. De acordo com a logística possível, também pode dispor de análises dos equipamentos FRXp, Gamaespectrômetro, Kappameter e Mineralight, como auxílio nas descrições dos testemunhos.



Figura 45 - Geólogo analisando a sequência de testemunhos a serem descritos.



Figura 46 - Geólogo retirando testemunho a ser molhado com água.



Figura 47- Geólogo analisando testemunho com auxílio de lupa.

Serragens de Testemunhos

A serragem dos testemunhos estava prevista para o furo completo em 1/2 e em um segmento deste em 1/4, entretanto alguns cuidados e ressalvas foram aplicados, conforme relação abaixo:

i) sempre que possível procurou-se preservar (não serrar) os testemunhos onde foram realizados os locais das marcações da orientação dos mesmos, regiões com feições geológicas importantes (contatos geológicos, padrões de dobramentos, etc.), principalmente onde, em primeira instância, os mesmos não apresentassem relevância para análises que necessitassem de serragem do testemunho.

ii) testemunhos de rochas bastante porosas/friáveis também foram evitadas de serem serrados em virtude de produzir uma grande quantidade de fragmentos durante a operação de serragem, o que dificultaria recolocá-los exatamente nas mesmas posições nas caixas de testemunhos.

iii) foram também evitados a serragem de testemunhos com dimensões inferiores a cerca de 10 cm, no intuito de evitar a mistura dos fragmentos (centimétricos) após a serragem, reconstituição e transporte dos mesmos.

iv) testemunhos que apresentaram feições de intenso fraturamento também foram, na medida do possível, evitados de serem serrados, considerando que as segmentações dos mesmos também poderiam provocar a mistura dos fragmentos (centimétricos) após a serragem, reconstituição e transporte dos mesmos, e se fosse o caso a amostragem poderia ser realizada de forma manual.

Para os testemunhos a serem serrados, houve uma marcação prévia para tal, onde foi considerada para os 1/2 dos testemunhos a serem preservados a permanência das orientações dos mesmos (Fig. 48). Para os testemunhos não orientados, foi considerado/marcado em giz (Fig. 49) uma seção que permitisse a continuidade das feições geológicas observadas, objetivando guiar o processo de serragem.



Figura 48 - Testemunhos orientados com marcações permanentes (linhas em preto). Serragem de 1/2 perpendicular a marcação para preservação da mesma.



Figura 49 - Testemunhos com marcações em giz (azul ou rosa). Serragem de 1/2 ao longo da marcação para preservação do segmento a esquerda da mesma.

Medidas de RQD (Rock Quality Designation)

Neste projeto também foi calculado o índice RQD (Deere & Deere, 1988) do furo, o qual corresponde a medição da porcentagem de recuperação de segmentos de testemunhos com mais de 10 cm comprimento em relação ao comprimento de cada avanço de perfuração, conforme apresentado na Figura 50. A partir da obtenção do índice RQD, é possível qualificar o maciço rochoso, conforme apresentado na Tabela 2.

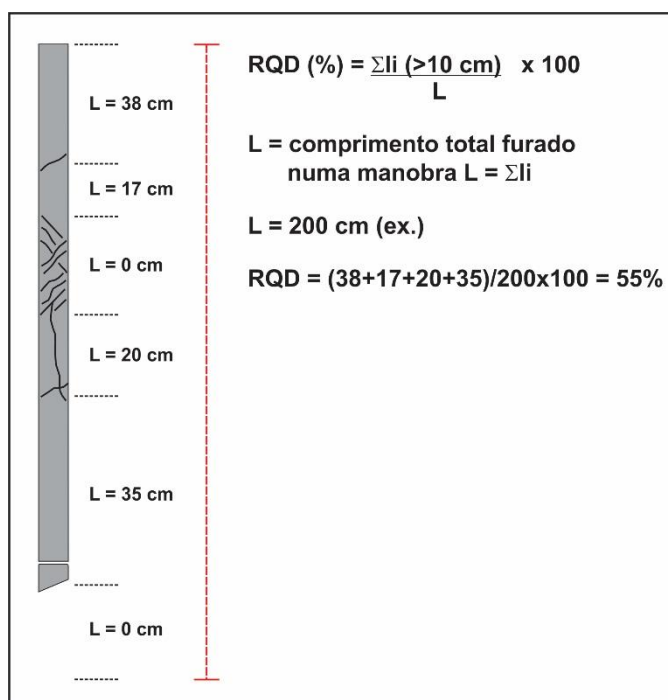


Figura 50 – Exemplo de cálculo de RQD, segundo Deere & Deere (1988).

Tabela 2 – Classificação dos maciços com base nos índices de RQD, segundo Deere & Deere (1988).

RQD	Qualidade do Maciço Rochoso
0 – 25%	Muito fraco
25 - 50%	Fraco
50 - 75%	Razoável
75 - 90%	Bom
90 - 100%	Excelente

Outra medida realizada em cada manobra foi a verificação do espaçamento entre as fraturas existentes no testemunho, para qual foi utilizada a classificação de Ulusay & Hudson (1985), representada na Tabela 3.

Tabela - Classificação de faturamento para maciços rochosos, segundo Ulusay & Hudson (1985).

Símbolos	Intervalo entre fraturas (cm)	Designação
F ₁	> 200	Muito afastadas
F ₂	60-200	Afastadas
F ₃	20-60	Medianamente afastadas
F ₄	6-20	Próximas
F ₅	< 6	Muito próximas

Coordenadas da Boca do Furo e Marco

Após a execução do furo de Riacho Fechado foi realizada a obtenção das coordenadas e altitude do mesmo, utilizando o receptor GPS GTR-G2 (Figs. 51 e 52).



Figura 51 - Levantamento de coordenadas do furo de Riacho Fechado.



Figura 52 - Antena receptora do GPS sobre o marco do furo de Riacho Fechado.

Os dados obtidos foram recalculados através de programa/sistemática do IBGE, onde foram obtidas as seguintes coordenadas (Sirgas 2000) para a boca do furo: Meridiano Central = -39; Altitude (m) = 358,40; UTM N (m) = 9302468,778; UTM E (m) = 771702,329.

RESULTADOS OBTIDOS

Seção Litológica/Estratigráfica

Litologicamente o furo atravessou xistos, quartzitos, paragnaisses, rochas calcissilicáticas, ortognaisses e vários diques/veios de pegmatitos, além de um corpo/dique granítico. Tendo em vista o padrão estrutural/dobramentos o empilhamento estratigráfico do Grupo Seridó é mais facilmente observado no intervalo de 0 a 670m de profundidade (Fig. 53).

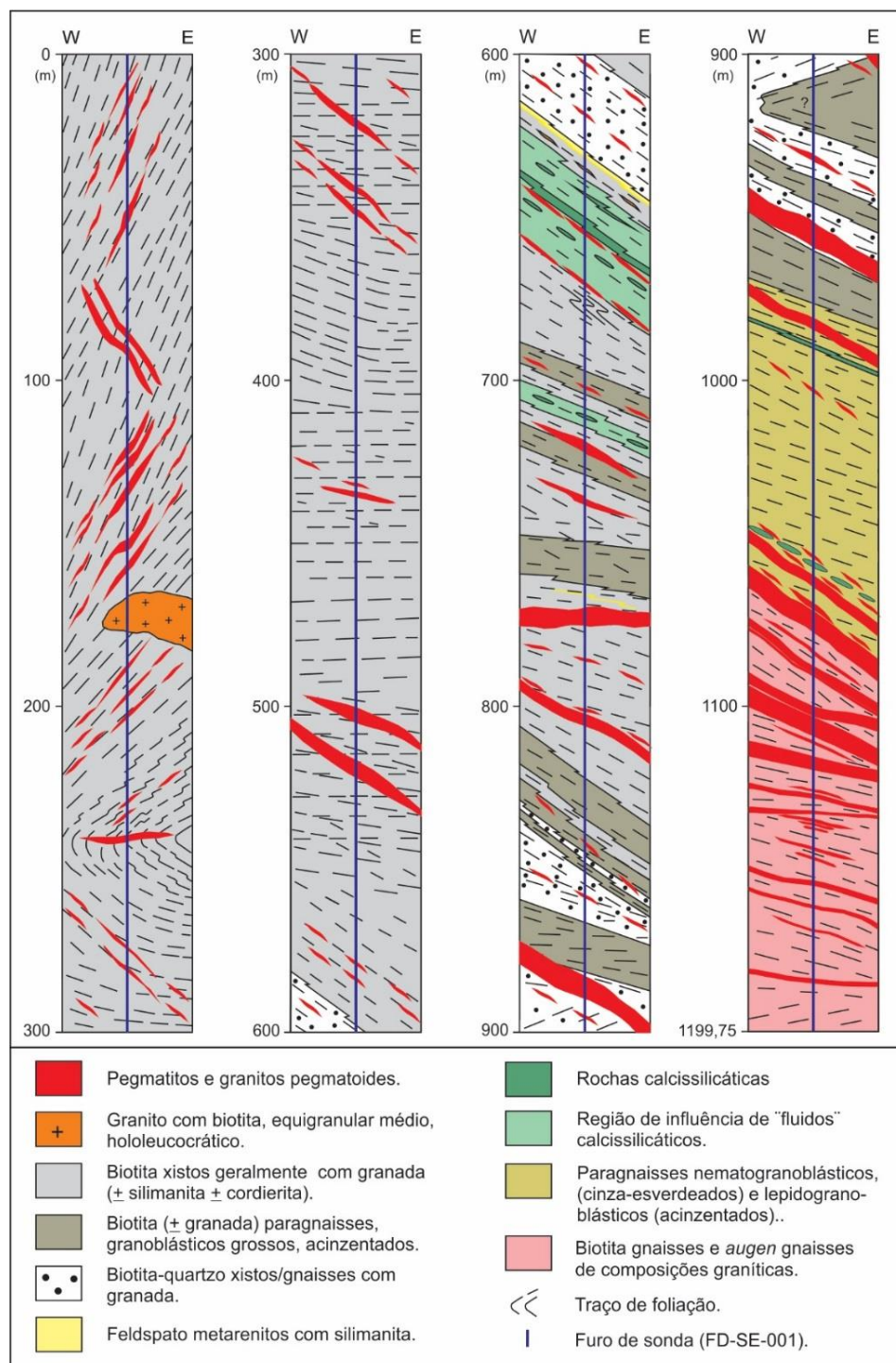


Figura 53 - Perfil geológico do furo estratigráfico de Riacho Fechado. Notar o fechamento de uma dobra recumbente na profundidade de 240 metros.

PROFUNDIDADE DE 000,0 A 598,0m

Caracterizada pela presença de biotita xistos granadíferos por vezes com silimanita e/ou cordierita, apresentando texturas lepidoblástica e porfiroblásticas (cristais de granada atingindo 1,5 cm), de coloração acinzentada (Formação Seridó), os quais são intrudidos por veios e diques pegmatíticos (Fig. 54).

Na profundidade de 167,25 a 171,78m o xisto é intrudido por um dique de monzogranito com biotita, hololeucocrático de coloração cinza-esbranquiçada (Fig. 55), o qual foi alvo de determinação geocronológica U-Pb em zircão.



Figura 54 - Biotita xisto da Formação Seridó (X) cortado por um dique de pegmatito (P).

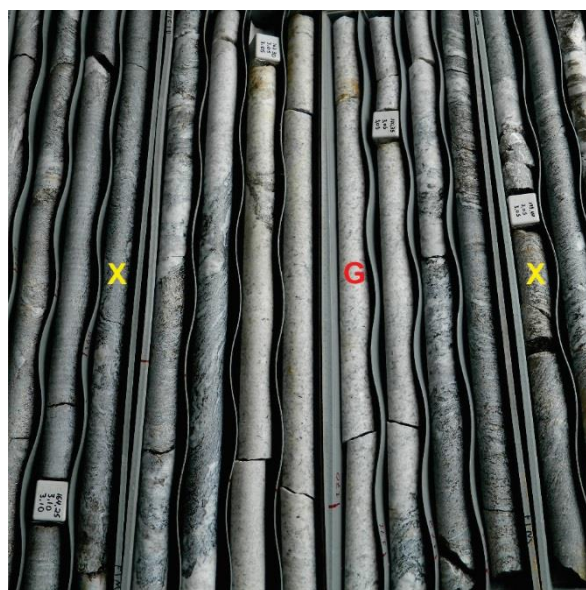


Figura 55 – Monzogranito (G) intrusivo em biotita xistos (X) da Formação Seridó.

As medidas de foliações obtidas nos testemunhos, bem como padrões de dobras em “M” observados nas profundidades de 230 a 250m, configuram um dobramento recumbente com superfície axial na profundidade de 240m (Figs. 56 e 57).

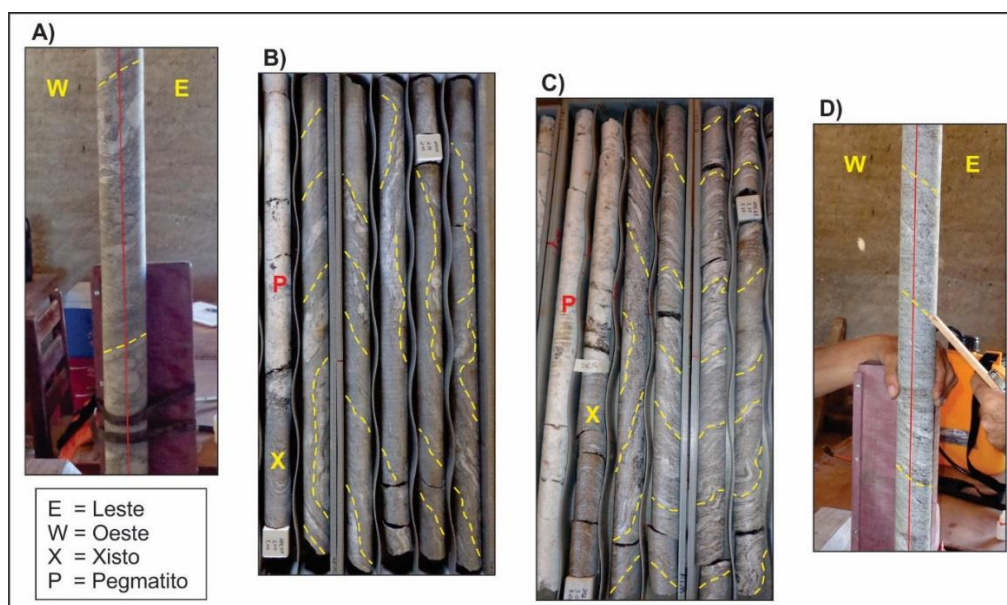


Figura 56 – Exemplos de medidas de foliação e padrão de dobras em “M” observado em testemunhos de sondagem nos micaxistos da Formação Seridó. A = foliação mergulhando para oeste, acima da zona de charneira do dobramento de 230 a 250m; B = dobras em “M” recumbentes na profundidade de 223,5 a 229,2m; C = dobras em “M” recumbentes na profundidade de 240,4

a 246,3m; D = foliação mergulhando para leste, abaixo da zona de charneira do dobramento de 230 a 250m.

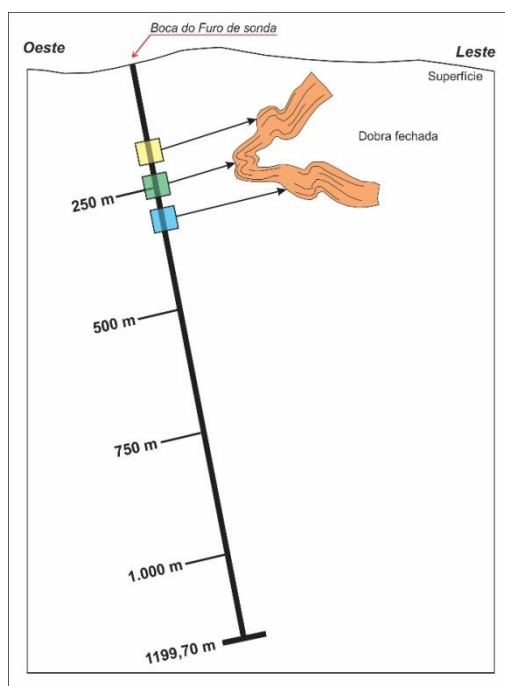


Figura 57 – Materialização da dobra recumbente existente na Formação Seridó. Observar foliação mergulhando para oeste (quadrado amarelo), próximo a profundidade de 230 m; dobras em “M” recumbentes (quadrado verde) entre as profundidades de 230 a 250 m; foliação mergulhando para leste (quadrado azul), logo após a profundidade de 250 m.

PROFUNDIDADE DE 598,0 A 631,3m

Na porção superior deste intervalo (598,0 a 629,4m) ocorrem biotita-quartzo xistos por vezes com granada, apresentando granulação fina a média e coloração acinzentada (Fig. 58), sendo interpretado como a região de interdigitação/gradação entre as formações Seridó e Equador.

No intervalo de 629,4 a 631,3m foi observado um silimanita quartzito feldspático com biotita, de coloração esbranquiçada e granulação fina a média, o qual foi correlacionado com os litotipos da Formação Equador (Fig. 59).



Figura 58 - Testemunhos do granada-biotita-quartzo xisto. Profundidade = 626,80m.



Figura 59 - Testemunhos do silimanita quartzito feldspático com biotita. Profundidade = 630,95m.

PROFUNDIDADE DE 631,3 A 671,8m

O FURO ESTRATIGRÁFICO DE RIACHO FECHADO (CURRAIS NOVOS/RN)...

Este intervalo é caracterizado pela predominância de paragnaisses, gnaisses calcissilicáticos e rochas calcissilicáticas da Formação Jucurutu.

Os paragnaisses são representados por biotita-anfibólio paragnaisses lepidonematoblásticos de granulação média, com porções e níveis calcissilicáticos de coloração esverdeada (Figs. 60 e 61). As litologias calcissilicáticas são predominantemente ricas em epidoto/anfibólio, entretanto na profundidade de 663,11 a 663,85 m o intervalo é carbonático e friável (Fig. 62).



Figura 60 - Testemunhos do granada-biotita-quartzo xisto (X) com intercalações de rochas calcissilicáticas (CS). Profundidade = 653,1m.



Figura 61- Testemunhos do feldspato-biotita-quartzo xisto (X). Profundidade = 659,7m.

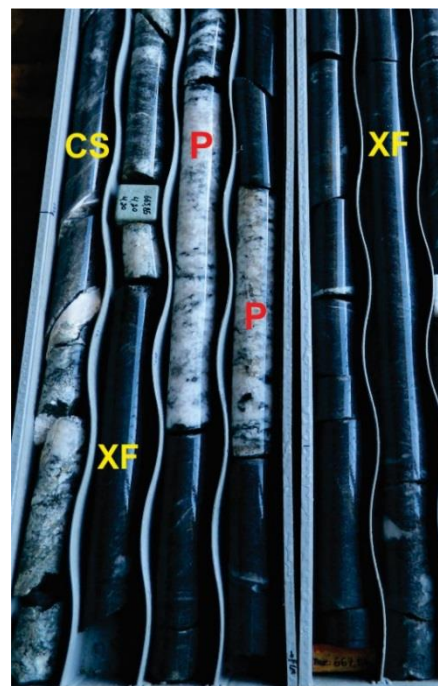


Figura 62 - Testemunhos do epidoto-biotita-quartzo xisto com feldspato (XF) com lentes de rocha calcissilicática (CS) e intrusões de corpos de espessura centimétrica de pegmatitos (P). Profundidade = 667,1m.

PROFUNDIDADE DE 671,8 A 974,2m

Caracterizado pela presença de paragnaisses, metapelitos quartzosos, quartzitos, além de níveis/camadas de metapelitos (Figs. 63 e 64), os quais foram interpretados como materializando a interdigitação/gradação entre as formações Equador e Jucurutu, e também considerados como efeitos de dobramentos.



Figura 63 – Aspectos gerais de testemunhos do biotita-quartzo xisto com muscovita (X). Profundidade = 695,50m.



Figura 64 - Testemunhos do biotita-quartzo xisto com muscovita (X), com detalhe de veios de quartzo (Vqz) paralelo a subparalelo a foliação do xisto. Profundidade = 695,50m.

PROFUNDIDADE DE 974,2 A 1077,4m

Intervalo caracterizado pela presença de paragnaisses, gnaisses calcissilicáticos, rochas calcissilicáticas e uma lente de mármore (porção inferior), o qual foi considerado como a porção basal da Formação Jucurutu na seção/furo (Fig. 53).

São observados epídoto/anfibólio paragnaisses (por vezes com biotita e/ou granada), lepidoblásticos de granulação fina a/ou média e coloração acinzentada, ou nematogranoblásticos de granulação média a grossa e coloração cinza-esverdeada (Figs. 65 e 66).



Figura 65 - Testemunhos do paragnaisse (PGN) fino a médio. Profundidade = 1028,4m.



Figura 66 - Testemunhos do paragnaisse (PGN) médio a grosso com intercalações de veios de quartzo (Vqz) paralelo ao bandamento. Profundidade = 1048,0m.

Um nível de mármore cinza claro/rosado ocorre intercalado entre os paragnaisse desta unidade na profundidade de 1058,55 a 1058,64m (Figs. 67 e 68).



Figura 67 - Testemunhos com lente de mármore (M) em micaxistos (X) com intercalações de rochas calcissilicáticas (CS)



Figura 68 – Detalhe da figura 67, com destaque para bordas do mármore (M) no contato com os micaxistos (X) apresentando

e pegmatitos (P) sobre ortogneisses (OGN).
Profundidade = 1056,80 a 1062,50m.

lentes de rochas calcissilicáticas (CS) e o
ortogneisse inferior (OGN).

PROFUNDIDADE DE 1077,4 A 1199,7m

Na porção basal do furo ocorrem ortogneisses do Complexo Caicó compostos por alternância de bandas félsicas de cor clara constituída por quartzo+feldspatos, e bandas máficas formadas por biotita, anfibólio e magnetita, todas com espessura variando entre 2-10 mm. No geral os ortogneisses apresentam composição variando entre álcali-feldspato granítico a sienítico. São cortados por diques de pegmatitos de coloração esbranquiçada a rosada (Fig. 69).

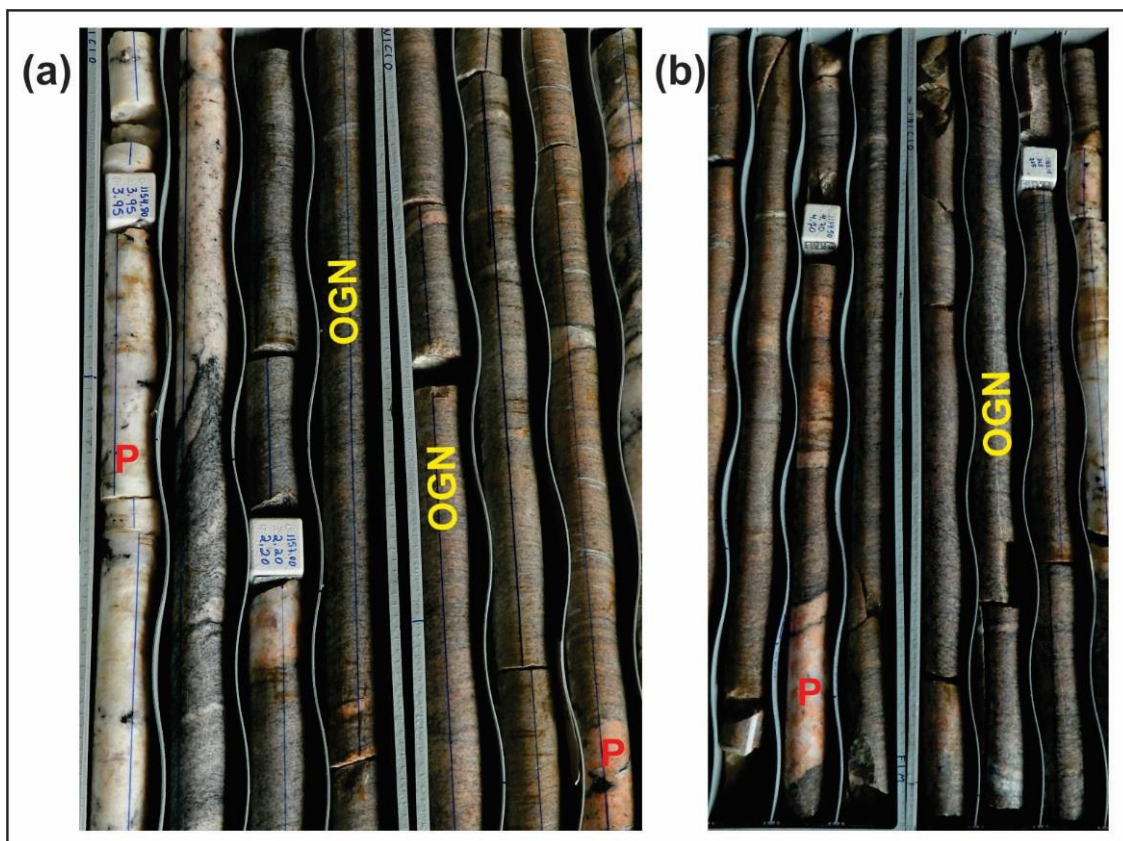


Figura 69 - Testemunhos do ortogneisse de composição álcali-feldspato granítica (OGN), sendo cortados por diques de pegmatitos (P). A) profundidade entre 1153,5 e 1160,0m.; b) profundidade 1177,7 a 1183,53m.

Correlação Magmatismo Versus Mineralização de Tungstênio

O monzogranito observado na profundidade de 167,25 a 171,78 m do furo de Riacho Fechado foi coletado no intuito de obter sua idade de cristalização, considerando que o mesmo faça parte da Suíte Dona Inês referida por Angelim *et al.* (2006), e por Nascimento *et al.* (2015) como Suíte Cálcio-alcalina de Alto Potássio Equigranular (ediacarana).

Tal objetivo levou em consideração que os dados geocronológicos desta suíte, sumarizados em Nascimento *et al.* (2015), apontam como mais jovem que a Suíte Calcioalcalina de Alto Potássio Porfirítica (p.ex. granito porfirítico de Acari) e mais antigos que os diques/corpos pegmatíticos da região, podendo então estar relacionado a fonte da mineralização de tungstênio na região, considerando a idade de 555 ± 5 Ma (Re-Os em molibdenita), correlacionadas a mineralização de W, referida por Holanda (2012) e Holanda *et al.* (2012 e 2017).

A referida relação temporal entre o magmatismo é observada na região, onde diques de granitos correlacionados à Suíte Calcioalcalina de Alto Potássio Equigranular (granito de Lagoa Sêca, município de Acari/RN), são intrusivos em granitos da Suíte de Alto Potássio Porfirítica (granito porfirítico de Acari), e posteriormente é cortado por diques/veios de pegmatitos (Fig. 70), conforme ressaltado por Medeiros et al. (2017).

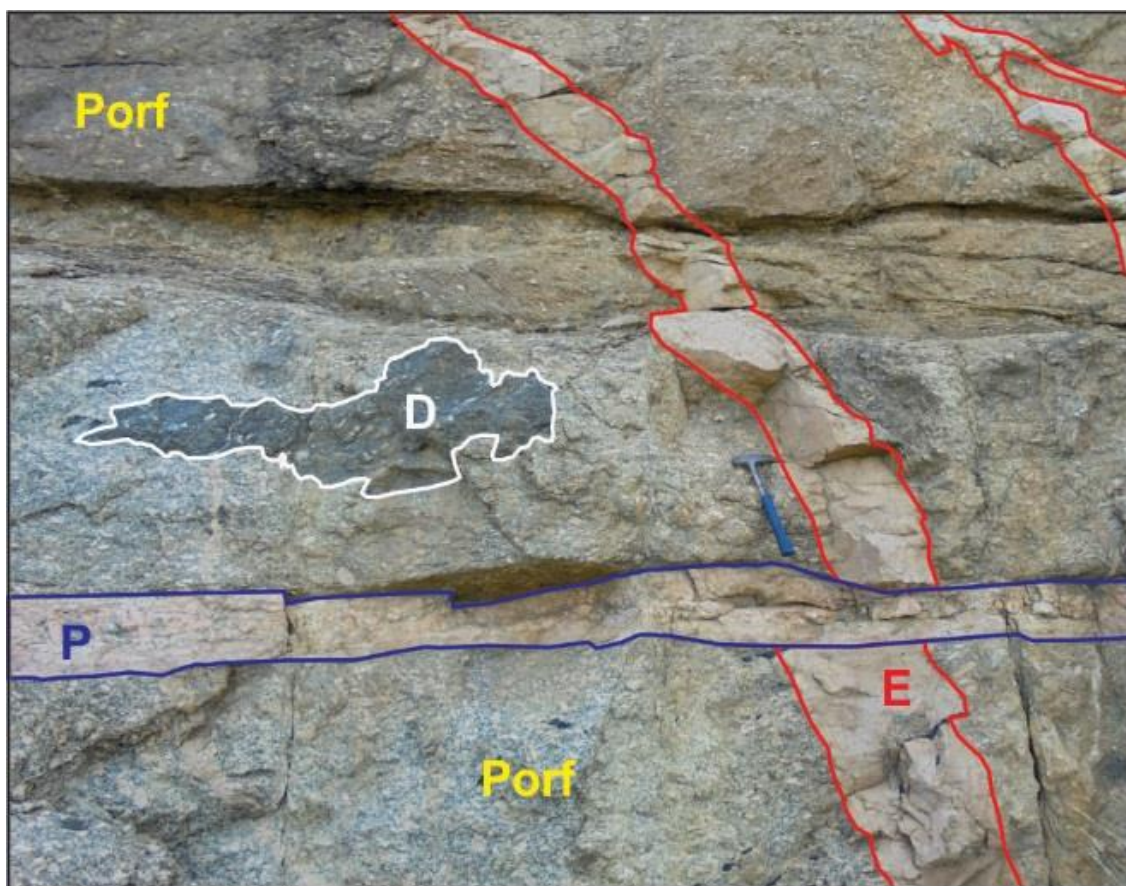


Figura 70 - Relação entre suítes graníticas observadas no granito de Acari/RN. Granito porfirítico de Acari (Porf) com relações de mistura de magma com termos dioríticos (D), cortado por granitos equigranulares (E) e posteriormente por um dique de pegmatito (P).

U-Pb EM ZIRCÃO

A amostra do monzogranito do furo de Riacho Fechado foi coletada no intervalo de 170,15 a 171,15m, o qual é hololeucocrático com biotita, equigranular de grã média, apresenta coloração esbranquiçada e é intrusivo em biotita xistos da Formação Seridó (Fig. 71).

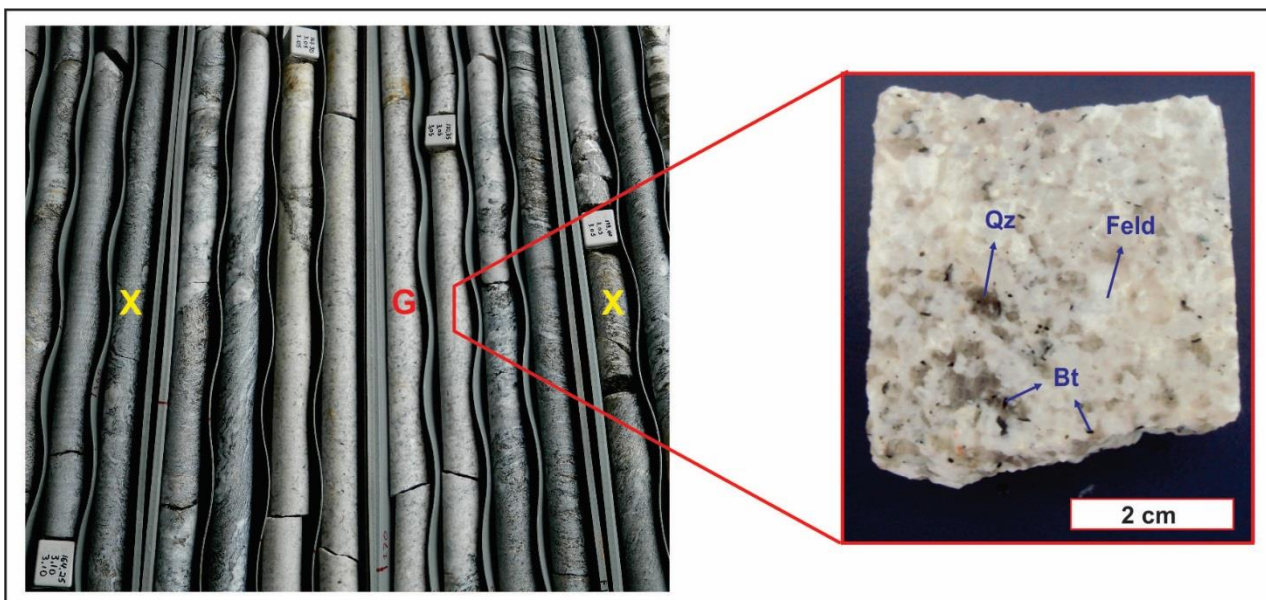


Figura 71 – Monzogranito com biotita (G) intrusivo em biotita xistos (X) da Formação Seridó, com detalhe para o intervalo da amostra datada (170,15 a 171,15 m de profundidade). Qz=quartz, Bt=biotita, Feld=feldspato.

Para a separação do zircão foi utilizado o Laboratório de Moagem do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DG/UFRN), onde a amostra foi britada, peneirada e os minerais pesados concentrados via bateamento. Os minerais não-magnéticos deste concentrado foram filtrados no Separador Magnético Isodinâmico Frantz, e posteriormente passaram por líquidos densos.

A partir do supracitado concentrado, o zircão foi separado manualmente em lupa binocular. Para a confecção dos *mounts*, os cristais foram fixados em fita dupla face (cerca 50 grãos), embutidos em resina epóxi (a frio), desgastados para a exposição do interior dos grãos e polidos em pasta de diamante 0,25 μm .

As análises foram efetuadas no Laboratório de Geocronologia da UnB e seguiram o procedimento apresentado por Buhn et al. (2009). Para a limpeza dos *mounts* foi utilizado banho com ácido nítrico diluído (3%), água Nanopure® em ultrassom e por último em acetona para extração de qualquer resíduo de umidade.

As determinações isotópicas foram realizadas no LAM-MC-ICP-MS Neptune (Thermo-Finnigan) acoplado ao Nd-YAG ($\lambda=213\text{nm}$) Laser Ablation System (New Wave Research, USA). A ablação ocorreu em *spots* de 25-40 μm , com frequência de 10 Hz e fluência de 0.19 a 1.02 J/cm². O material pulverizado foi carregado por um fluxo de He (~ 0.40 L/min) e Ar (~ 0.90 L/min). Em todas as análises foi utilizado o padrão internacional GJ-1 para a correção da deriva do equipamento, assim como o fracionamento entre os isótopos de U e Pb. Para a verificação da acurácia foram realizadas análises no padrão internacional 91500.

Os dados foram adquiridos em 40 ciclos de 1 segundo. O procedimento de coleta de dados seguiu a sequência de leitura: - 1 branco, 1 padrão, 4 amostras, 1 banco e 1 padrão. Em cada leitura foram determinadas as intensidades das massas 202Hg, 204 (Pb+Hg), 206Pb, 207Pb, 208Pb e 238U.

A redução dos dados brutos, que inclui as correções para branco, deriva do equipamento e chumbo comum, foi executada com ferramentas do Programa Chronus criado em plataforma Excel (Oliveira, 2015). As idades foram calculadas e os gráficos construídos com os recursos do ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003).

Determinações isotópicas U-Pb em zircão (LAM-MC-ICP-MS) obtidos em sete análises de zircões do monzogranito (AL-24A) do intervalo de 170,15 a 170,25 metros de profundidade do furo (Tab. 4), forneceram uma idade concórdia de 561 ± 4 Ma com MSWD=0,101 (Fig. 72), a qual foi considerada como a idade de cristalização deste granito.

Tabela 4 – Dados analíticos/isotópicos de determinações U-Pb em zircões do granito do furo estratigráfico de Riacho Fechado (FD-SE-001). Amostra AL-24A, coordenadas UTM: 771.706 mE; 9.302.468 mN (Sirgas 2000 e meridiano central -39), profundidade/intervalo amostrado = 170,15 a 171,115 m.

Grão spot	f206 (%)	Th/U	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	err (%) 1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	err (%) 1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	err (%) 1σ	Rho	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ (Ma)	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ (Ma)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ (Ma)	Conc. (%)
ZR05	0,00	0,031	1024201	0,05906	0,95	0,744	1,83	0,0914	1,52	0,83	569 ± 41	565 ± 16	564 ± 16	99,00
ZR06	0,00	0,035	574293	0,05914	0,70	0,739	3,85	0,0906	3,77	0,98	572 ± 30	562 ± 33	559 ± 40	97,73
ZR10	0,00	0,027	904515	0,05825	1,64	0,734	2,22	0,0914	1,45	0,65	539 ± 71	559 ± 19	564 ± 16	104,58
ZR13	0,00	0,038	477641	0,05842	1,29	0,734	2,84	0,0911	2,50	0,88	546 ± 56	559 ± 24	562 ± 27	102,99
ZR14	0,33	0,184	4693	0,05807	0,92	0,683	2,97	0,0853	2,80	0,94	532 ± 40	528 ± 24	527 ± 28	99,06
ZR22	0,00	0,033	1987046	0,05914	1,08	0,766	2,34	0,0940	2,04	0,87	572 ± 47	578 ± 20	579 ± 23	101,23
ZR28	0,01	0,037	150274	0,05885	1,73	0,734	2,87	0,0904	2,26	0,79	561 ± 75	559 ± 25	558 ± 24	99,42

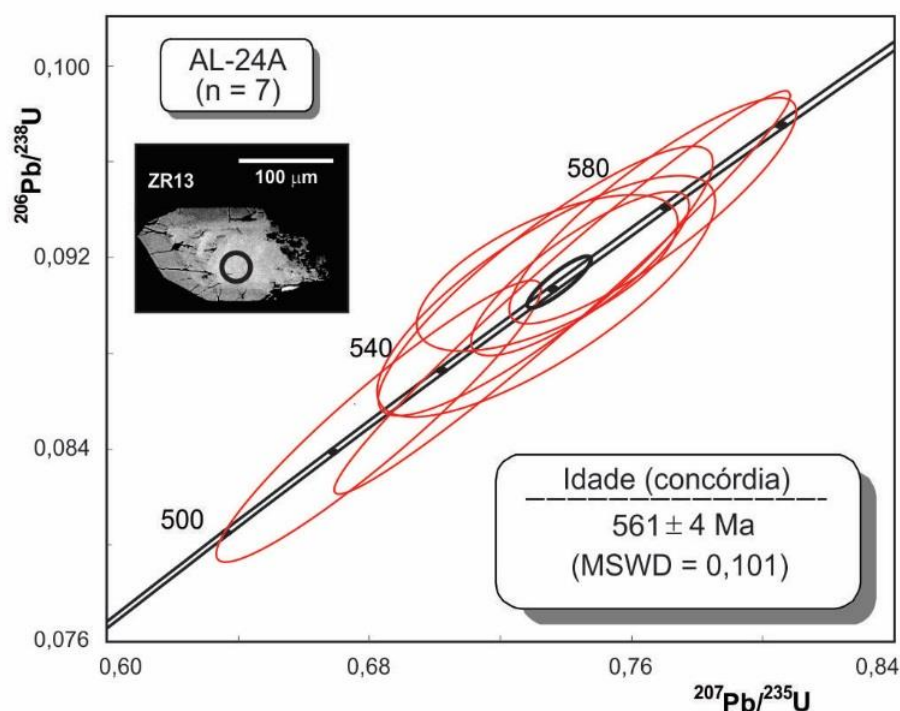


Figura 72 - Diagrama concórdia U-Pb com zircões do monzogranito entre as profundidades de 170,15 a 171,15m do furo estratigráfico de Riacho Fechado.

As relações de campo (corpo intrusivo na Formação Seridó) e a idade de 561 ± 4 Ma obtida para o granito do furo de Riacho Fechado, em relação a idade de 555 ± 2 Ma referida por Hollanda (2012) e Hollanda et al. (2012 e 2017) em molibdenitas da região da mineralização de tungstênio (scheelita) na mina de Brejuí (Currais Novos/RN), permitem sugerir que pelo menos pulsos mais jovens da Suíte Calcioalcalina Potássica Equigranular, possam ser um dos percursos/fontes do aporte de fluidos para a mineralização de tungstênio e molibdênio na região, como exemplo dos corpos das serras Acauã, Lagoa Seca e Soin.

Neste contexto geológico é possível ressaltar a presença de granitoides equigranulares (Suíte Calcioalcalina Potássica Equigranular) na região da mina de tungstênio (scheelita) de Bodó (Bodó/RN), tais como os corpos de Cerro Corá e Bodó, este último subaflorante.

RESULTADOS DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X PORTÁTIL (FRXp)

O estudo dos dados analíticos semi-quantitativo de FRXp no furo de Riacho Fechado (Figs. 73 e 74) obedeceu a compartimentação de acordo com as principais unidades que compõem este furo: Formação Seridó (profundidade: 0,0-598,0m), Formação Equador (profundidade: 598,0-631,3m, com termos gradacionais na porção superior), Formação Jucurutu (profundidade: 631,3-1077,4m, com termos gradacionais/interdigitações na porção intermediária do intervalo) e Complexo Caicó (1077,4-1199,7m). Os comentários a seguir sobre valores altos, médios ou baixos dos elementos químicos analisados dizem respeito a média dos valores, e para isso foi utilizado um critério relativo para estes teores (comparação entre os compartimentos).

O FURO ESTRATIGRÁFICO DE RIACHO FECHADO (CURRAIS NOVOS/RN)...

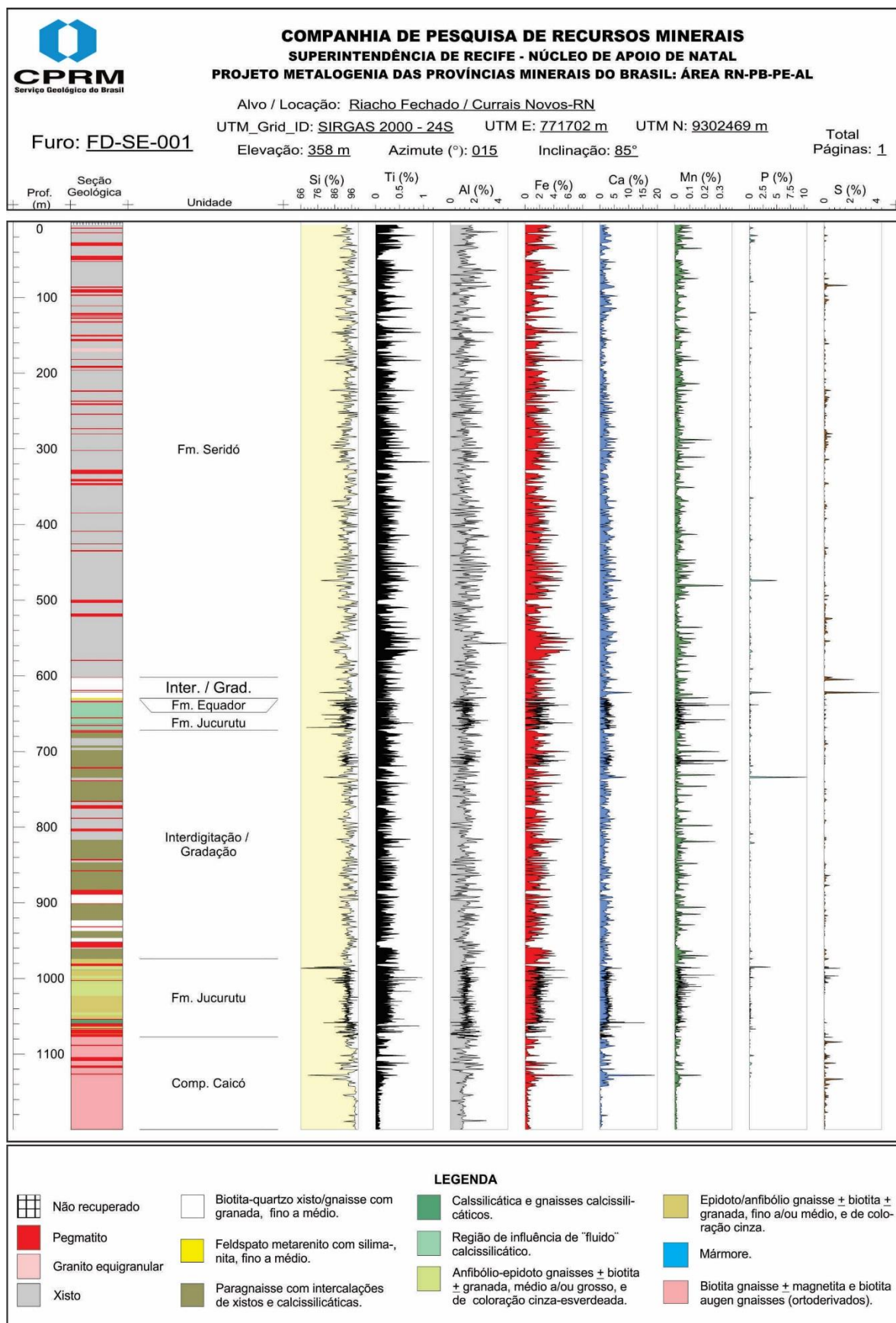


Figura 73 - Log do furo de Riacho Fechado (FD-SE-001) com dados obtidos a partir da descrição dos testemunhos e dos elementos maiores obtidos através de fluorescência de raio-X portátil (Delta Dynamic XRF - Standard).

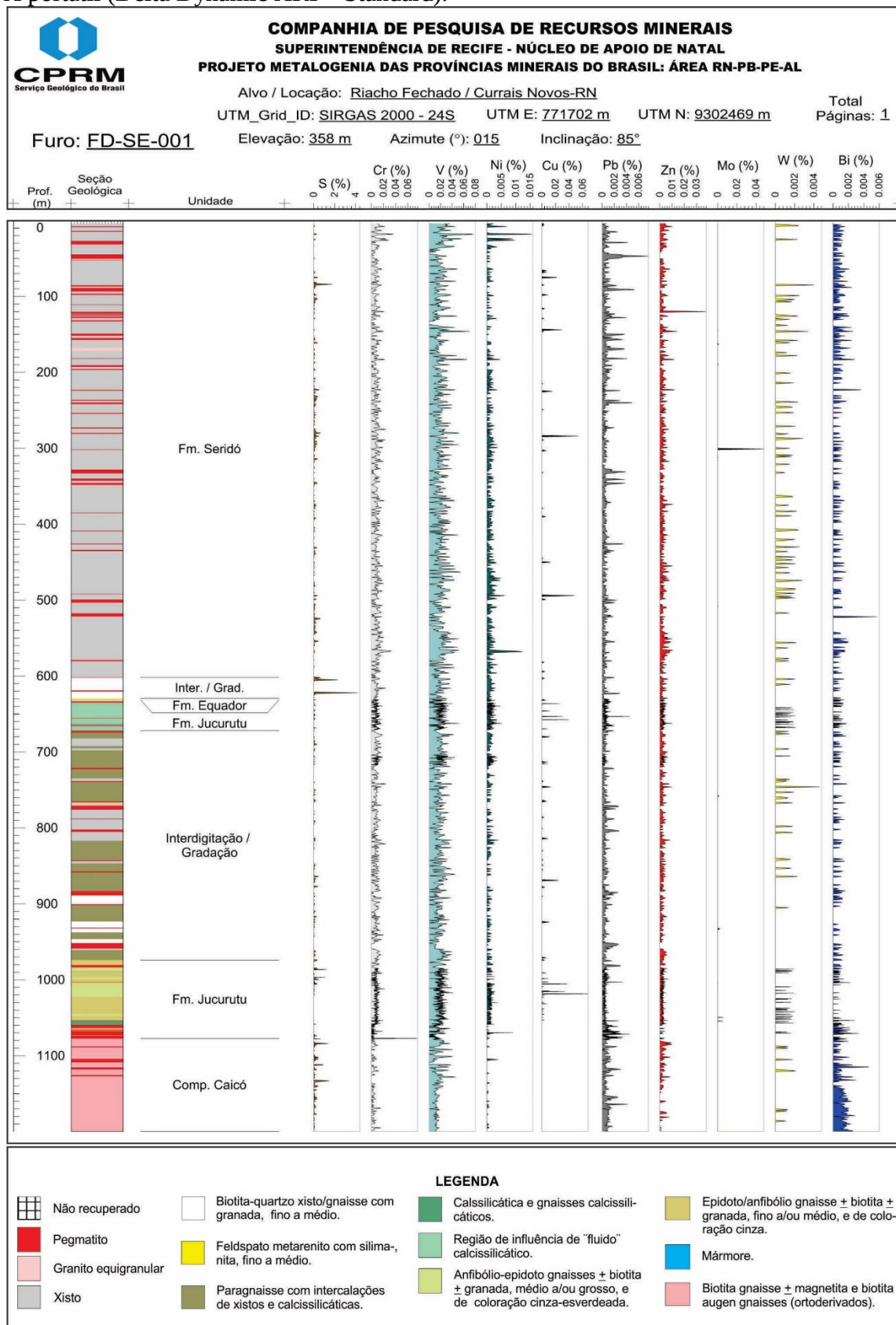


Figura 74 - Log do furo de Riacho Fechado (FD-SE-001) com dados obtidos a partir da descrição dos testemunhos e dos elementos menores obtidos através de fluorescência de raio-X portátil (Delta Dynamic XRF - Standard).

Na Formação Seridó os dados analisados (586 análises) mostram no geral uma assinatura com valores mais altos para alguns elementos maiores e traços, tais como:

(i) O Al (atinge 4,7%) pode refletir a maior quantidade de minerais aluminossilicáticos (granadas, cordierita, andaluzita, estaurolita, silimanita e muscovita) associados aos micaxistos da Formação Seridó. (ii) O Fe (atinge 8,0%) provavelmente estaria associado ao enriquecimento em magnetita mais restrita a esta unidade do que as demais e/ou a presença de mica de composição mais ferrífera (annita) e anfibólios mais enriquecidos em ferro. (iii) Os elementos traços possuem uma assinatura mais marcadamente na associação básica-ultrabásica principalmente com valores significativos para V, Cr, Ni e Co, no geral podendo estar ligado a presença de anfibólios.

Já para a Formação Equador (34 análises) mostram teores mais altos em alguns elementos como Ca (atinge 11,1%) e Mn (até 0,12%), em relação aos demais compartimentos devido ao: (i) Ca possivelmente está relacionado às lentes de rochas calcissilicáticas em paragneisses interdigitadas na Formação Equador (muscovita quartzitos e/ou quartzo xisto/gnaiss quartzoso); (ii) Mn localizar-se como substituição isomórfica nos sítios octaédricos da muscovita. Como esperado atingem também valores elevados de Si, atingindo 99,1%

A Formação Jucurutu (876 análises) apresenta maiores valores para Ca (atinge 15,5%) e Fe (atinge 6,6%), onde o cálcio estaria relacionado às lentes de rochas calcissilicáticas e/ou paragneisses epidotíferos (incluindo mármore), sendo justificada pela assembleia cálcica (epídoto, diopsídio, anfibólio, vesuvianita e carbonatos). O ferro estaria associado principalmente a presença de magnetita nos paragneisses.

O Complexo Caicó (127 análises) possui em algumas litologias um maior enriquecimento em K (valores com até 8,1%) do que nos demais compartimentos devido a maior presença de K-feldspato existentes nos ortogneisses e em diques pegmatíticos ricos em (K-feldspato, muscovita e biotita) intercalados nos mesmos.

Os teores de Ti apresentam maiores valores nas rochas metassedimentares do Grupo Seridó em se comparando com as do embasamento gnáissico (Complexo Caicó).

De um modo geral os teores de Ni, Co, Cr e V respectivamente apresentam um crescimento como um todo da base para o topo do furo, ou seja, das rochas gnáissicas do embasamento para as rochas metassedimentares do Grupo Seridó.

Os valores de Sb, Sn, Zn e Zr praticamente são similares entre todos os compartimentos.

Neste contexto, é possível sugerir que pelo menos na região de Riacho Fechado: a) a Formação Seridó apresenta no geral uma assinatura bem delineada para o Al o que reflete a presença de minerais aluminossilicáticos (granadas, cordierita, andaluzita, estaurolita, silimanita e muscovita) associados aos micaxistos desta formação. Associação básica-ultrabásica bem marcada por V, Cr, Ni e Co provavelmente existentes em biotita e anfibólios. (b) A Formação Equador apresenta maior enriquecimento em Si, Al, K, Mn, S e Pb, com empobrecimento em Ca, V e Ni. (c) A Formação Jucurutu apresenta maiores valores em Ca estando relacionado às lentes de rochas calcissilicáticas e mármore, e o Fe associado principalmente a magnetita. (d) O Complexo Caicó mostra um maior enriquecimento em K devido a maior presença de K-feldspato, biotita e muscovita existentes nos ortogneisses e em diques pegmatíticos.

MODELO ESTRATIGRÁFICO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados de cartografia geológica de superfície (Fig. 5), as seções geológicas do furo perfurado (FD-SE-001) e do furo histórico B-81 (Cavalcante et al., 2016), foi possível elaborar a

seção geológica da região de Riacho Fechado-Brejuí (Fig. 75), onde fica ressaltada a inversão estratigráfica do Grupo Seridó nesta região, configurada por um dobramento recumbente e fechado, com superfície axial subhorizontalizada.

Vladimir Cruz de Medeiros *et al.*

Com relação a gradação/interdigitação entre as formações do Grupo Seridó, a mesma fica ressaltada/evidenciada entre as profundidades 670 a 1020m.

No esboço geológico da Figura 5, pode ser observado que na região do furo de Riacho Fechado foi constatada a presença de antiformes e sinformes, os quais sugerem continuidade física com os dobramentos observados nas regiões das minas. Tal fato foi considerado através da realização de perfis de campo (direção E-W) entre o furo e a vila da mina Brejuí,

Com relação à inversão estratigráfica do Grupo Seridó e a presença de um dobramento recumbente na região, podem ser observadas na Figura 75, por motivo do referido dobramento, o flanco invertido constituído pela Formação Jucurutu apresenta-se em posição normal na porção inferior do furo estratigráfico.

Tal fato confirma a suposta inversão estratigráfica do Grupo Seridó, e consequentemente amplia o potencial exploratório da região.

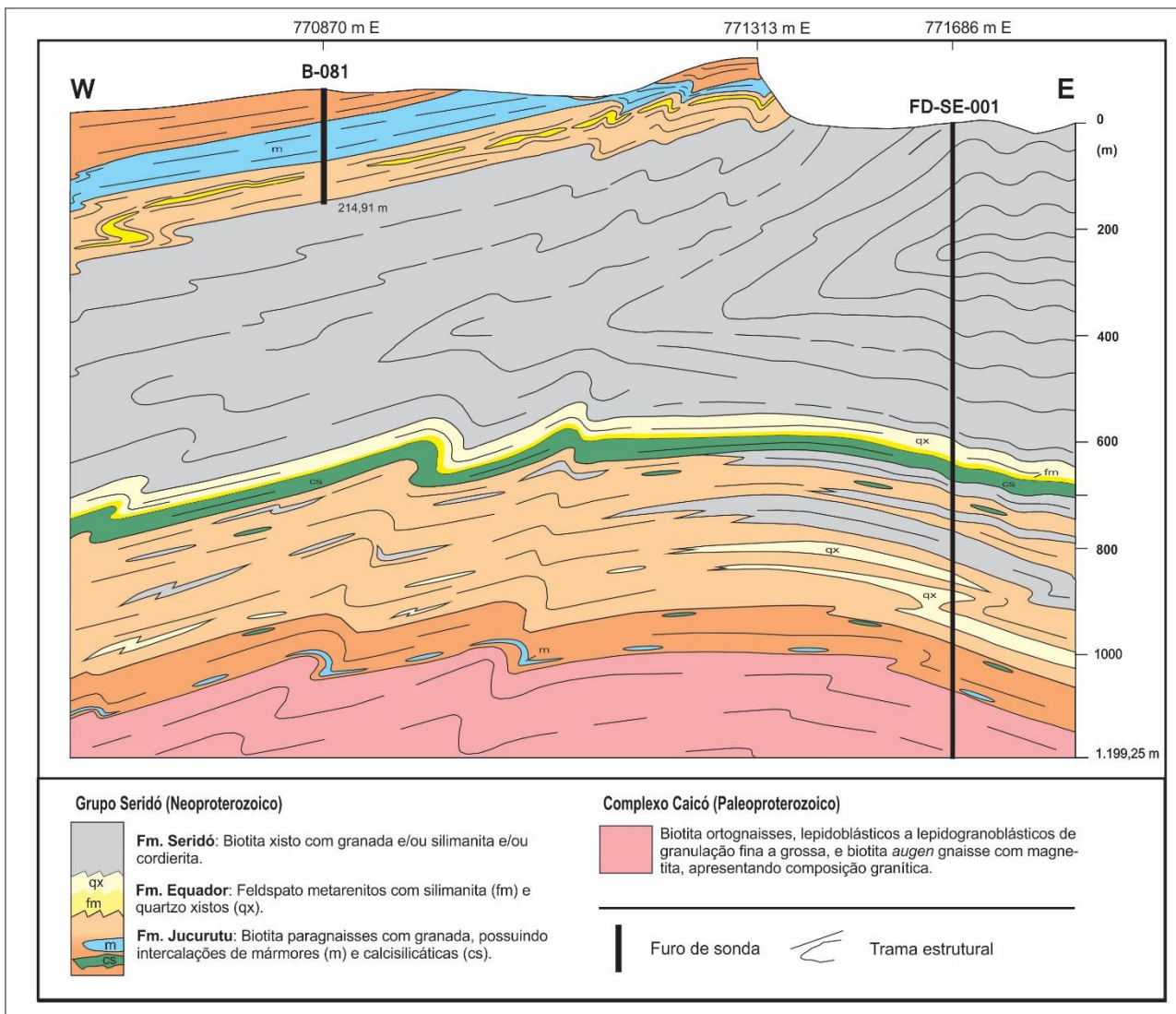


Figura 75 - Modelo/perfil geológico da região de Brejuí-Riacho Fechado (Currais Novos/RN), com a localização do furo estratigráfico de Riacho Fechado (FD-SE-001) e de um furo da Mina Brejuí (B-081) (Cavalcante *et al.*, 2016).

Considerando as informações aqui apresentados, além de outros furos estratigráficos da região do Seridó (Cavalcante et al., 2016 e 2017), feições de campo, dados aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria), mapas geológicos em várias escalas da CPRM (Companhia de Pesquisa e de Recursos Minerais) e da bibliografia foi possível elaborar um modelo de evolução geológica da porção leste do Domínio Rio Piranhas-Seridó, conforme apresentado na Figura 76.

No modelo proposto (Fig. 76A) ressalta-se que a sedimentação do Grupo Seridó ocorreu sobre um substrato composto de rochas arqueanas (embasamento Saquinho-Bonfim), siderianas (Complexo Arábia), riacianas (Complexo Caicó e Suíte Poço da Cruz) e possivelmente estaterianas-orosirianas (Suíte Serra Negra?). As unidades deste grupo (formações Jucurutu, Equador e Seridó) por vezes apresentam relações de contatos gradacionais e/ou de interdigitação, podendo também não estarem presentes em algumas seções (não depositadas ou erodidas?).

Posteriormente toda a sequência foi afetada pelo ápice da deformação e granitogênese brasileira/ediacarana, responsável pelo encurtamento espacial da sequência (dobramentos), intrusão de várias suítes plutônicas e afetado por diversas zonas de cisalhamentos (Fig. 76B), as quais são consideradas como geradores/condutores e trapas de fluidos mineralizantes na região do Domínio Rio Piranhas-Seridó, principalmente para mineralizações de tungstênio e ouro.

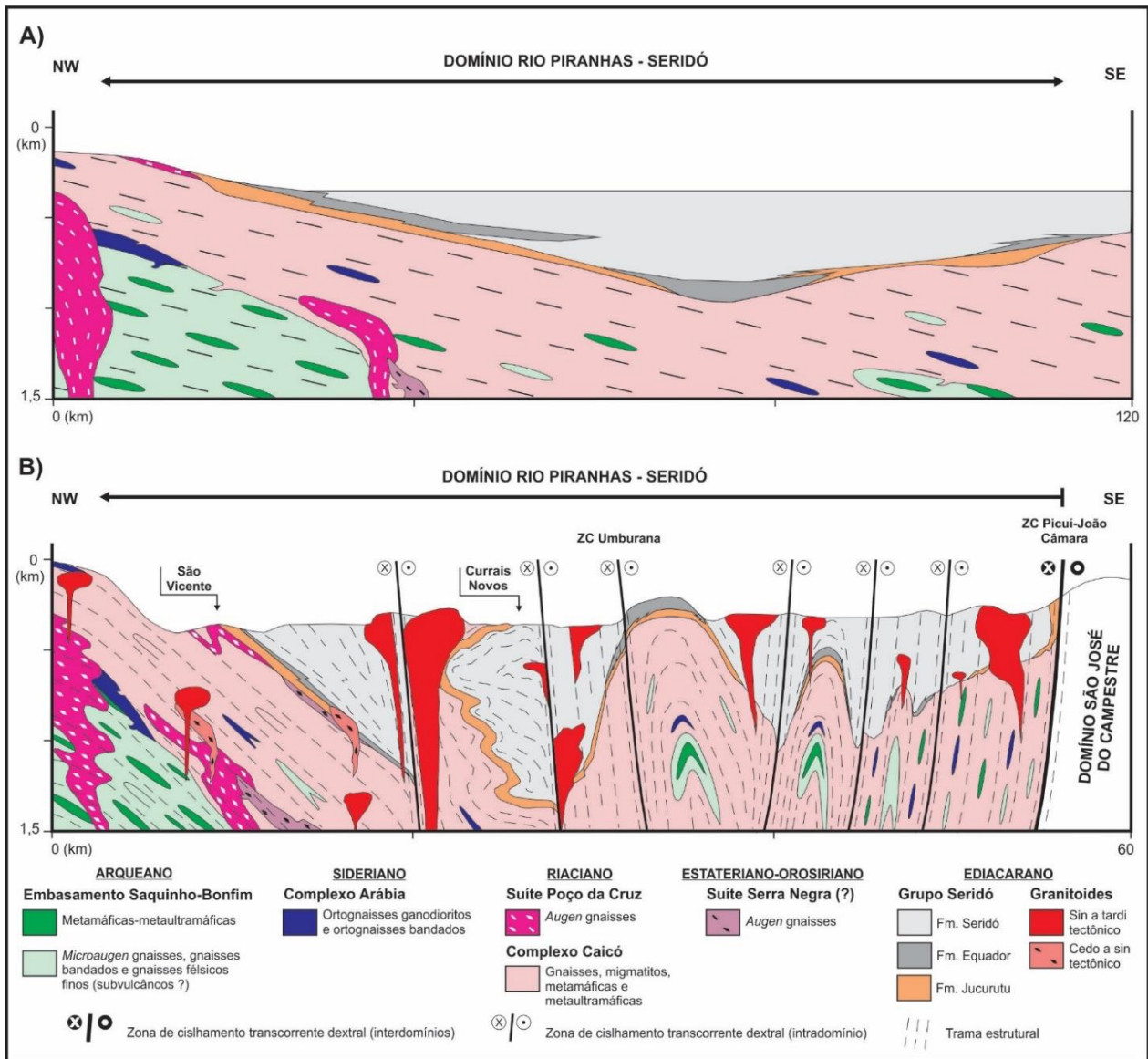


Figura 76 – Modelos geológicos de evolução da porção leste do Domínio Rio Piranhas-Seridó. A) situação pré-deformação e magmatismos brasileiros (ediacaranos); B) situação atual. ZC = zona de cisalhamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM-Serviço Geológico do Brasil pela liberação dos dados/informações aqui apresentadas e ao Laboratório de Moagem do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Também agradecem à Mineração Tomaz Salustino S.A pelo apoio, liberação ao acesso as áreas e de furos de sondagens da referida empresa.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R., 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG VIII Simp. Geol. Nordeste, 2003... Boletim 6 p.363-391.
- Angelim, L. A. A. et al., 1980. Projeto Scheelita do Seridó. Currais Novos. Folha SB.24.Z-B-II-4NE. Carta geológica. CPRM/DNPM. Escala 1:50.000.
- Angelim, L. A. A. et al., 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. CPRM/SEDEC-RN/FAPERN, 2006. 119 p.
- Araújo, M. G. S., Brito Neves, B. B., Archanjo, C. J., 2001. Idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ do magmatismo básico Meso-Cenozóico da Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil. In: SBG XIX Simp. Geol. Nordeste, 2001... Boletim 17 p.260-261.
- Buhn, B., Pimentel, M. M., Matteini, M., Dantas, E. L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-IC-MS). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 81:99-114.
- Cavalcanti Neto, M. T. O., 1986. Geologia da área de Brejuí e São Sebastião, Currais Novos-RN.: Geologia da Mina Brejuí e Anexos. Relatório de graduação, Departamento de Geologia - UFRN. 422p.
- Cavalcanti Neto, M. T. O., 2009. A estratigrafia da região entre as minas Brejuí e Malhada Limpa, Currais Novos/RN. In: IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica... Atas 8p.
- Cavalcanti Neto, M. T. O.; Jardim de Sá, E. F., Salim, J., 1988. Geologia da faixa scheelitífera de Currais Novos (RN): reavaliação de dados. In: SBG XXXV Cong. Bras. Geologia, 1988... Atas p.2752-2764.
- Cavalcante, R., Cunha, A. L. C., Oliveira, R. G., Medeiros, V. C., Dantas, A. R., Costa, A. P., Lins, C. A. C., Larizzatti, J. H., 2016. Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: área Seridó leste, extremo NE da Província Borborema (RN-PB). Serviço Geológico do Brasil, Informe de recursos minerais, série províncias minerais do Brasil, nº 8, 103 p.
- Cavalcante, R., Medeiros, V. C., Costa, A. P., Sá, J. M., Santos, R. V., Rodrigues, J. B., Nascimento, M. A. L., Cunha, A. L. C., Dantas, A. R., 2017. Stratigraphic model of the Saquinho iron deposit (Cruzeta, RN), eastern portion of the Rio Piranhas-Seridó domain (NE Brazil): Archean-Noproterozoic. Journal of South America Earth Sciences, Submitted.
- Deere, D. U., Deere, D. W., 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes, p 91-101.
- Hollanda, M. H. B. M., 2012. Geocronologia de eventos magmáticos e mineralizações associadas no Precambriano da Faixa Seridó, Província Borborema. Tese de livre docência, Instituto de Geociências e Astronomia - USP. 94p.
- Hollanda, M. H. B. M., Souza Neto, J. A., Archanjo, C. J., Stein, H., Maia, A. C. S., 2012. Relação temporal entre mineralizações de W-Mo e magmatismo granítico neoproterozoico-cambriano na Faixa Seridó. In: SBG XXV Congr. Bras. Geol. 2012.
- Hollanda, M. H. B. M., Archanjo, C. J., Bautista, J. R., Souza, L. C., 2015. Detrital zircon ages and Nd isotope compositions of the Seridó and Lavras da Mangabeira basins (Borborema Province, NE Brazil): Evidence for exhumation and recycling associated with a major shift in sedimentary provenance. Precambrian Research, 258:186-207.

- Hollanda, M. H. B. M., Souza Neto, J. A., Archanjo, C. J., Stein, H., Maia, A. C. S., 2017. Age of the granitic magmatism and the W-Mo mineralizations in skarns of the Seridó belt (NE, Brazil) based on zircon U-Pb (SHRIMP) and Re-Os determinations, *Journal of South American Earth Sciences* (2017), doi: 10.1016/j.jsames.2017.07.011.
- Jardim de Sá, E. F., 1984. Geologia da região Seridó: reavaliação de dados. In: SBG VIII Simp. Geol. Nordeste, 2003... Boletim 9 p.278-296.
- Jardim de Sá, E. F., 1994 A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Brasília, 1994. 803p. 2 mapas. Tese de doutorado, Instituto de Geociências - UnB. 803p.
- Jardim de Sá, E. F., Salim, J., 1980. Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB). *Mineração e Metalurgia*, 80(421):16-28.
- Ludwig, K. R., 2003. Isoplot 3.00 - A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No 4.
- Medeiros, V. C., 2013. Geologia da Província Seridó. In: CPRM/UnB/SEBRAE I Seminário das Províncias Metalognéticas Brasileiras: A Província de W-Au Seridó. 2013
- Medeiros, V. C., Nascimento, M. A. L., Dantas, B. L., Cunha, A. L. C., 2012. Programa Geologia do Brasil-PGB. Currais Novos. Folha SB.24-Z-B-II. Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Carta Geológica. CPRM, 2012. Escala 1:100.000.
- Medeiros, V. C., Cavalcante, R., Cunha, A. L. C., Costa, A. P., Sá, J. M., Silveira, F. V., Rodrigues, J. B., Silva, M. A., Dantas, A. R., 2017. Magmatismo ediacarano-cambriano da região das mineralizações de W de Currais Novos (RN), domínio Rio Piranhas-Seridó. In: SBG XXVII Simp. Geol. Nordeste, 2017... Resumos.
- Nascimento, M. A. L., Galindo, A. C., Medeiros, V. C., 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Journal of South America Earth Sciences*, 58:281-299.
- Oliveira, F. V., 2015. Chronus: um novo suplemento para a redução de dados U-Pb obtidos por LA-MC-ICPMS. Dissertação de mestrado, UNB. 91p.
- Sial, A. N., 1974. Petrology and tectonic significance of the post-paleozoic basaltic rocks of northeast Brazil: Ph. D. Dissertation, University of California, Davis, Calif. 405p.
- Sial, A. N., 1976. The Rio Grande do Norte alkali-olivine basalt association, northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 6:1-14.
- Sial, A. N., Long, L. E., Pessoa, D. A. R., Kawashita, K., 1981. Potassium-argon ages and strontium isotope geochemistry of mesozoic and tertiary basaltic rocks, northeastern Brazil: *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 53:115-122.
- Souza, O. O., 1986. Mapeamento Geológico da Região de Boca de Lage/Talhado. Currais Novos/RN. Relatório de graduação, Departamento de Geologia - UFRN. 148p.
- Souza, Z. S., Vasconcelos, P. M. P., Nascimento, M. A. L., Silveira, F. V., Paiva, H. S., Dias, L. G. S., Thied, D., Carmo, I. O., 2003. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of Mesozoic and Cenozoic magmatism in NE Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, 2003... Short papers. p. 691-694.
- Ulusay, R., Hudson, J. A., 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, p. 53-60.
- Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Williams, I. S., Hackspacher, P. C., Fetter, A. H., Dantas, E. L., Babinski, M., 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pré- to syncollisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. *Precambrian Research*, 127:287-386.