

CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL E MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE DOS PEGMATITOS ALTO DO FEIO E ALTO SERRA BRANCA, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA (PB), PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DO SERIDÓ, NE DO BRASIL

Lauro Cézar Montefalco de Lira Santos¹

Vandriele Alves Genuíno¹

Emerson Diego Gomes Sales¹

Fabício Fernandes Vieira¹

Edilton José dos Santos²

DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n1p98-116

¹Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina – UFCG- PB. CEP: 58109.970.

²CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Email do autor principal para correspondência: lauromontefalco@gmail.com.

RESUMO

A região de Pedra Lavrada (PB) está inserida Província Pegmatítica do Seridó, um importante distrito mineiro no nordeste do Brasil. Mapeamento geológico revelou que esta região é formada por biotita xistos e granada-biotita xistos da Formação Seridó, os quais são intrudidos por granitos Ediacaranos e pelos pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca. Análise geométrica e cinemática mesoscópica, revelou que esta área foi submetida a uma trama poli-deformacional, materializadas pelas tectônicas D_n , D_{n+1} , D_{n+2} e D_{n+3} . As três primeiras possuem reologia dúctil, sendo a primeira relacionada a uma tectônica reliquiar, onde os planos de foliação fortemente transpostos pelas tectônicas posteriores. D_{n+1} produz superfícies de foliação milonítica de transposição relacionadas a tectonitos tangenciais restritos às adjacências de Nova Palmeira, enquanto que D_{n+2} é principalmente associada a tectonitos verticais, os quais representam a principal estruturação da região. Esta última deformação é caracterizada por deformação com forte componente não coaxial materializado nas zonas de cisalhamento de Nova Palmeira e Picuí João Câmara de cinemática transcorrente destrai. Por último, a tectônica D_{n+3} possui caráter dúctil-rúptil e rúptil tendo como principais elementos fraturas e juntas que podem ser ou não preenchidas por pegmatitos e aplitos nas direções NNW-SSE e E-W. Mapeamento de detalhe, revelou que estes pegmatitos possuem zoneamento mineral bem definido característico de pegmatitos heterogêneos e são condicionados pelo *trend* principal na direção NE-SW. A combinação destes dados indica que esses pegmatitos teriam se alojado na crosta continental por meio de um regime transtrativo relacionado às zonas de cisalhamento de Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, resultado da interação entre os eventos D_{n+2} e D_{n+3} . Os dados obtidos podem contribuir significativamente para estudos prospectivos em outros corpos pegmatíticos da região.

Palavras chave: Província Pegmatítica do Seridó, Análise estrutural, Pegmatito Alto do Feio, Pegmatito Alto Serra Branca, Tectônica Transtrativa

ABSTRACT

The Pedra Lavrada (PB) region is inserted in the Seridó Pegmatitic Province, an important mining district in northeast Brazil. Geological mapping revealed that this region is composed by biotite schists and garnet-biotite schists of the Seridó Formation, which is intruded by Ediacaran granites and the Alto do Feio and Serra Branca pegmatites. Kinematic and geometric analysis revealed that this area was subjected to poly-deformation including the D_n , D_{n+1} , D_{n+2} and D_{n+3} deformation phases. D_n , D_{n+1} and D_{n+2} has a ductile character, with the former related to a relic tectonics with foliation planes being strongly obliterated by later deformation stages. D_{n+1} is characterized by gentle-dipping mylonitic foliation that is related to tangencial tectonites in the vicinity of Nova Palmeira Town, whereas D_{n+2} is associated to vertical tectonites, that correspond to the main structural fabrics of the region. This latter is characterized by a strong Non-coaxial deformation related to the Nova Palmeira and Picuí João Câmara destrál transcurrent shear zones. At last, D_{n+3} tectonics has a ruptile-ductile and ruptile character, marked by fractures and joints that might be filled by aplitic and pegmatitic rocks in the NNW-SSE and E-W directions. In addition, detailed geological mapping has revealed a conspicuous and characteristic mineral zoning in the NE-SW heterogeneous Alto do Feio and Alto Serra Branca pegmatites. These dated allowed us to conclude that these pegmatitic bodies was emplaced in the continental crust trough a transtensive regime which is related to the Pedra Lavrada and Picuí-João Câmara shear zones trough D_{n+2} and D_{n+3} deformation.

Keywords: Seridó Pegmatitic Province, Structural Analysis, Alto do Feio Pegmatite, Alto Serra Branca Pegmatite, Transtrative Tectonics

INTRODUÇÃO

Pegmatitos graníticos são rochas conhecidas por portarem metais estratégicos para diversos segmentos industriais, tais como Ta, Nb, Be, W e elementos terras raras (Linnen *et al.* 2012; London & Morgan, 2012).

Apesar da maioria dos corpos pegmatíticos conhecidos apresentarem-se como pequenos *stocks* e não possuírem mais de alguns quilômetros de extensão, essas intrusões são normalmente bastante heterogêneas e caracterizadas por grande variabilidade mineralógica e química, favorecendo fortemente seu potencial econômico (London, 2014).

A região que compreende o Seridó nordestino concentra quantidade expressiva de pegmatitos, cuja vocação econômica é conhecida e aproveitada desde a segunda guerra mundial, bem como diversos corpos graníticos

associados (Santos & Ferreira, 2000; Santos *et al.* 2002; 2014). Além da presença de minerais portadores de metais nobres, tais como tantalita e columbita, esta região é privilegiada por produzir uma parcela considerável dos principais minerais industriais brasileiros. Alguns exemplos dessas *commodities* são quartzo, feldspato e mica branca, além de gemas de alto valor comercial, incluindo águas marinhas e a famosa turmalina Paraíba.

Geologicamente, estas mineralizações concentram-se na chamada Província Pegmatítica do Seridó (PPS), denominação empregada por Santos *et al.* (2014) para o distrito mineiro que ocorre na divisa dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, o qual concentra a maior quantidade de pegmatitos no Nordeste do Brasil. Esta região é também denominada de Província Pegmatítica da Borborema (Scorza, 1944), entretanto, preferimos utilizar a

definição de Santos *et al.* (2014), uma vez que a Província estrutural da Borborema agrupa outros campos pegmatíticos importantes, tais como Itapiúna, Cristais e Solonópole. Desde a década de 1940, sistemáticos trabalhos de reconhecimento e de mapeamento geológico contribuíram significativamente para o entendimento da evolução geológica deste distrito mineiro, com destaque para o trabalho pioneiro de Johnston Jr. (1945). Este autor definiu o principal modelo de zoneamento para os diversos corpos pegmatíticos da província, sendo amplamente utilizado até os dias de hoje, caracterizando grupos de pegmatitos homogêneos, heterogêneos e mistos.

Recentemente, trabalhos de cunho petrológico, gemológico e mineralógico de detalhe têm contribuído de forma expressiva para o entendimento genético das principais mineralizações, bem como suas relações com a evolução magmática de diversos corpos pegmatíticos, principalmente nas porções central e sul da PPS. Alguns exemplos incluem: Barreto, 1999; Barreto *et al.* 2011; Soares *et al.* 2008; Bermanec *et al.* 2012; Beurlen *et al.* 2011a, 2014. Por outro lado, o condicionamento e significado geotectônico regional dos pegmatitos da PPS foi explorado por Araújo *et al.* (2001). Entretanto, existe ainda relativa carência de trabalhos que foquem a evolução estrutural de detalhe de alguns desses corpos pegmatíticos, suas relações com as rochas encaixantes e granitos associados, bem como uma definição mais precisa das principais zonas mineralizadas de alguns destes corpos. Neste sentido, o principal objetivo deste artigo é apresentar as principais relações e estilos estruturais presentes nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca (região de Pedra Lavrada, PB), bem como as principais relações desses corpos com as rochas encaixantes e estruturas regionais. Adicionalmente,

apresenta-se mapas geológicos de semidetalhe e de detalhe da região edessas intrusões com ênfase nas principais zonas de ocorrências de minerais e as principais estruturas associadas, buscando contribuir para futuros trabalhos prospectivos na região.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A PPS encontra-se inserida na Faixa Seridó do Domínio Rio Grande do Norte (Fig. 1), que por sua vez está localizada na porção setentrional da Província Borborema. Esta última, foi definida por Almeida *et al.* (1981) como uma entidade tectônica neoproterozoica que ocupa a porção oriental do nordeste brasileiro, tendo sido consolidada pela convergência dos crátons São Francisco-Congo e São Luís-Oeste África durante o ciclo orogênico Brasileiro-Pan-africano.

Regionalmente, o domínio Rio Grande do Norte é composto por várias sequências de rochas gnáissicas e migmatíticas arqueanas e paleoproterozoicas, incluindo os terrenos ou subdomínios Jaguaribeano, Rio Piranhas e São José do Campestre, os quais são intrudidos por diversos granitos ediacaranos relacionados ao ciclo orogênico Brasileiro (Brito Neves *et al.* 2000). Este domínio é limitado pelos domínios Ceará Central ao norte e Transversal ao sul pela zona de cisalhamento Senador Pompeu e pelo Lineamento Patos, respectivamente (Brito Neves *et al.* 2000; Santos *et al.* 2000).

A Faixa Seridó ocupa a porção centro-sul do Domínio Rio Grande do Norte, sendo formada por vários segmentos de rochas supracrustais que hospedam localmente importantes mineralizações, tais como tungstênio e ouro, além de outros metais (Santos *et al.* 2014). Esta unidade geológica é datada do Neoproterozoico (Van

Schmus *et al.* 2003; Hollanda *et al.* 2015), sendo composta da base para o topo pelas formações Jucurutu (paragnaisses, mármore, *skarns* e rochas calcissilicáticas), Equador (quartzitos, meta-arcóseos e metaconglomerados) e Seridó (xistos e paragnaisses compostos pela associação biotita $\pm$ granada $\pm$ sillimanita $\pm$ cordierita, além de anfibolitos e esparsas ocorrências de mármore).

A região que abrange os municípios de Cubati, Pedra Lavrada e Picuí, correspondente ao Seridó paraibano é dominada por rochas supracrustais da Formação Seridó, onde ocorrem principalmente biotita xistos e granada-biotita xistos. Em menor escala, ocorrem diversas intrusões graníticas ediacaranas, além de ocorrências

subordinadas de rochas ortoderivadas (migmatitos, ortogneisses tonalíticos-graníticos e anfibolitos) do Complexo Serrinha-Pedro (Ferreira e Santos, 2000).

Ao longo deste *trend* de rochas supracrustais NNE-SW, ocorrem diversas intrusões de corpos pegmatíticos com destaque para os pegmatitos Roncador, Capoeira, Serraria, Alto Serra Branca e Alto do Feio, os quais representam fontes estratégicas de intensa atividade garimpeira nos dias atuais. Os dois últimos pegmatitos supracitados ocorrem próximos das margens da rodovia PB-117, na região de Pedra Lavrada (Paraíba), sendo o foco principal da presente investigação.

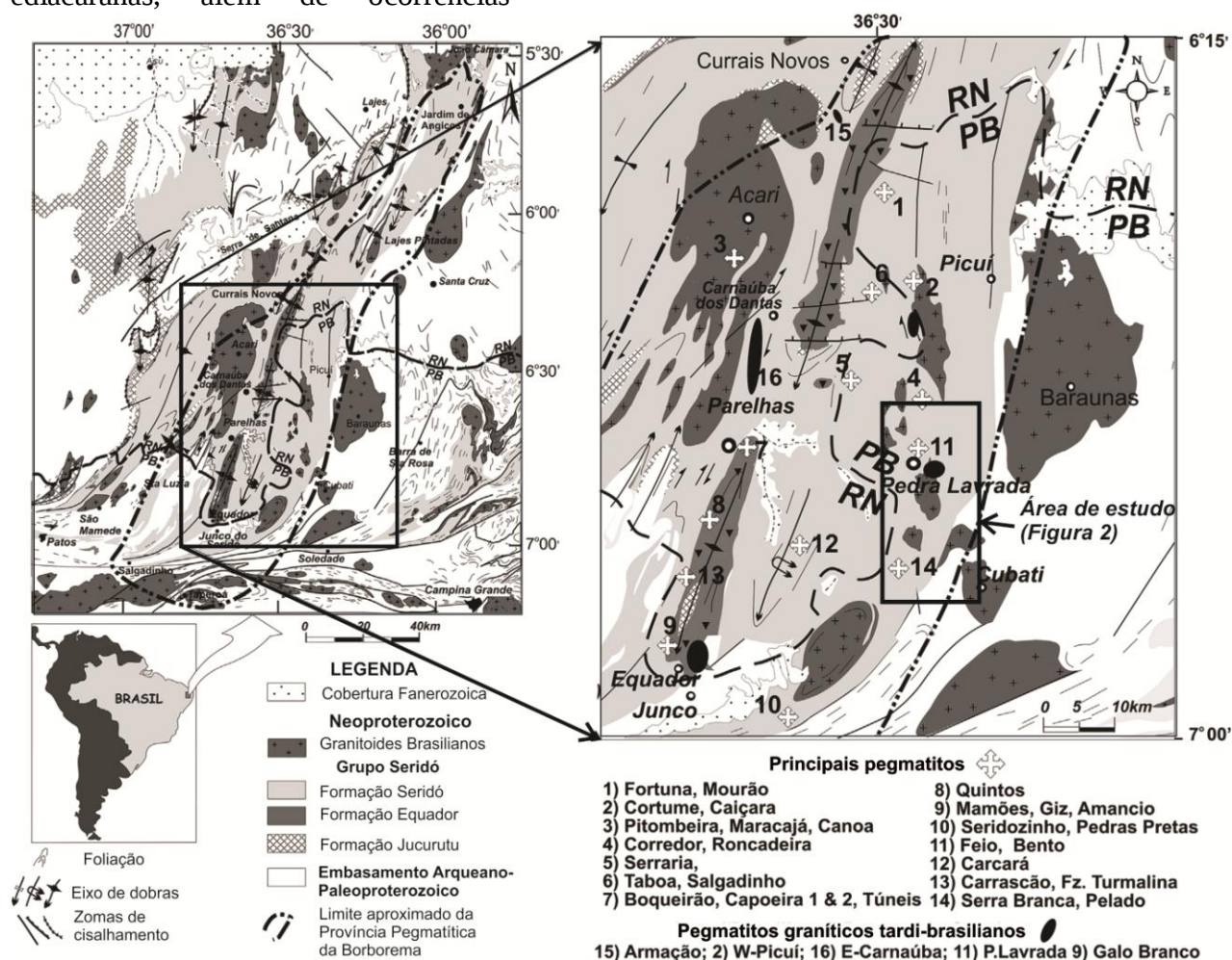


Figura 1 - Contexto geológico da Província Pegmatítica do Seridó e da Faixa Seridó com a localização dos principais pegmatitos da região (Beurlen *et al.* 2011).

ANÁLISE ESTRUTURAL

Por meio de estudos de campo, análise de fotografias aéreas e imagens de satélite *Landsat*, identificamos que os pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca, bem como outros corpos pegmatíticos da porção sul da PPS, possuem um forte controle estrutural, com destaque para as zonas de cisalhamento brasileiras de direção NNE-SSW que definem o *trend* predominante. Inegável ainda é a influência do Lineamento Patos de direção E-W que ocorre ao sul e fortemente a porção sul do Domínio Rio Grande do Norte, tal como demonstra Archanjo *et al.* (2008). A geologia da área de estudo é formada principalmente por rochas supracrustais da Formação Seridó e granitos Ediacaranos, alinhados na direção NE-SW, além dos pegmatitos estudados, que ocorrem nas adjacências destes últimos (Fig. 2). Completando este quadro, tanto os corpos pegmatíticos, quanto suas rochas encaixantes são cortadas por diversos diques pegmatíticos estéreis e tardios, que são comumente ortogonais à foliação regional.

Apesar da complexidade estrutural observada, por meio de análise mesoscópica e mapeamento de semi-detalle, foi possível identificar quatro tramas distintas de deformação, aqui hierarquizadas na sequência D_n , D_{n+1} , D_{n+2} , e D_{n+3} sendo as três primeiras de caráter dúctil, representadas por superfícies de foliação e xistosidade bem desenvolvidas (principalmente D_{n+2}), e a última por uma tectônica rúptil, a qual é caracterizada por diques de pegmatitos e aplitos que ocorrem preenchendo fraturas que cortam de maneira discordante ou não a foliação regional (Fig. 3). Adicionalmente, a trama estrutural principal é marcada por um corredor de cisalhamento localizado entre zonas de cisalhamento de Pedra

Lavrada e Picuí-João Câmara. Estas estruturas provocam sinuosidade na foliação regional, produzindo sigmoides regionais e alinhamento dos corpos pegmatíticos e graníticos ao longo da direção NE-SW (Fig. 4).

A trama mais antiga (D_n) é representada principalmente por foliações sinuosas S_n em gnaisses migmatizados do Complexo Serrinha Pedro Velho e foliações reliquias da Formação Seridó. Em função da forte transposição estabelecida por foliações posteriores, a natureza desta deformação é ainda pouco conhecida. Por outro lado, a deformação D_{n+1} possui elementos estruturais bem materializados na porção NE da área, sendo definida por uma série de superfícies de xistosidade e foliações miloníticas com baixo ângulo de mergulho, sempre associadas à lineação de média a alta obliquidade. É comum se observar a leste do município de Nova Palmeira, planos de foliação com mergulho entre 6 e 12° em média para a direção ESE. Outras estruturas associadas incluem dobras abertas e fechadas de geração F_{n+1} , sempre com plano axial vertical a sub-vertical, ou pequenas dobras reviradas. Indicadores cinemáticos observados em cortes correspondentes ao plano XZ do elipsoide de deformação são representados principalmente por micas dobradas assimetricamente e pórfiroblastos de quartzo e feldspatos do tipo σ , que são observados em afloramentos escassos de xistos e tectonitos do tipo S-L, indicando sempre vergência tectônica *up-dip* (em geral) preferencial para WNW (Figura 5a).

A deformação D_{n+2} corresponde ao regime mais importante, sendo responsável pela estruturação predominante na região. Esta trama determina o formato alongado de corpos graníticos e pegmatíticos, orientando esses litotipos na direção da trama principal NNE de tectonitos preferencialmente planares

(tipo S-L). As principais características relacionadas a esta deformação incluem diversos planos de xistosidade e bandamento gnáissico (S_{n+2}) sub-verticais a verticais, com mergulhos que variam entre 85 e 90° (Fig. 5b). Essa deformação em alguns afloramentos é responsável pelo dobramento de superfícies de foliação com baixo ângulo de mergulho correspondente a S_{n+1} produzindo dobras isoclinais, fechadas e abertas de geração F_{n+2} , por vezes com plano axial verticalizado. Entretanto, o tipo mais freqüente que representa F_{n+2} é materializado sinformes fechadas ou com o desenvolvimento de superfícies axiais discretamente inclinadas ou invertidas e por lineações minerais de eixo b (L_{n+2b}).

Associado a estes planos o comportamento preferencial das lineações de estiramento mineral, as quais são formadas por discretos filetes de quartzo e biotita varia de sub-horizontal a horizontal (Fig.5c). As principais estruturas correspondentes a esta deformação são as a zonas de cisalhamento de rejeito direcional Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, caracterizadas por cinemática destal. Do ponto de vista regional, esta última é particularmente importante, pois coloca em contato os xistos da Formação Seridó com ortognaisses e migmatitos do Complexo Serrinha Pedro Velho do Terreno Rio Piranhas ou Domínio Rio Piranhas-Seridó. Apesar de possuir um forte componente de rejeito direcional na área de estudo, esta estrutura de caráter assume para norte, um regime transpressional ou puramente contraccional em alguns trechos, possivelmente representando um empurrão D_n , retomado pela deformação vertical de D_{n+1} .

Os principais litotipos associados a esta deformação

correspondem à biotita xistos ou biotita milonitos, os quais são caracterizados por variados critérios cinemáticos, tais como porfiroclastos rotacionados e estruturas S-C, que são facilmente observados em cortes paralelos ao plano XZ do elipsoide, sendo consequência de um regime de deformação tipicamente não coaxial destal. Adicionalmente, as duas estruturas supracitadas cortam quase toda área de estudo, sendo conectadas ao lineamento Patos ao sul, o que indica que devem fazer parte do mesmo regime estrutural, relacionado à orogenia Brasileira, como já identificado por diversos autores (Santos e Ferreira, 2000 e referências ali contidas).

A última fase deformacional (D_{n+3}) observada é marcada por uma mudança no regime reológico, onde predominam estruturas dúcteis-rúpteis ou puramente rúpteis, representadas principalmente por fraturas verticais, sub-verticais e horizontais. Estas estruturas ocorrem preferencialmente nas direções NNW-SSE, E-W e NE-SW, entretanto, existe uma predominância numérica de fraturas e juntas que são discordantes com relação S_{n+2} (foliação principal). Estas descontinuidades cortam os xistos da Formação Seridó e os corpos pegmatíticos, porém são extremamente abundantes nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca, controlando, inclusive, a presença de regiões mineralizadas em cassiterita e turmalina. Por outro lado, esta deformação é ainda caracterizada pela injeção de diversos veios e diques aplíticos e pegmatíticos tardios e estéreis que normalmente são discordantes e posteriores a D_{n+2} (Figs. 5d e 5e).

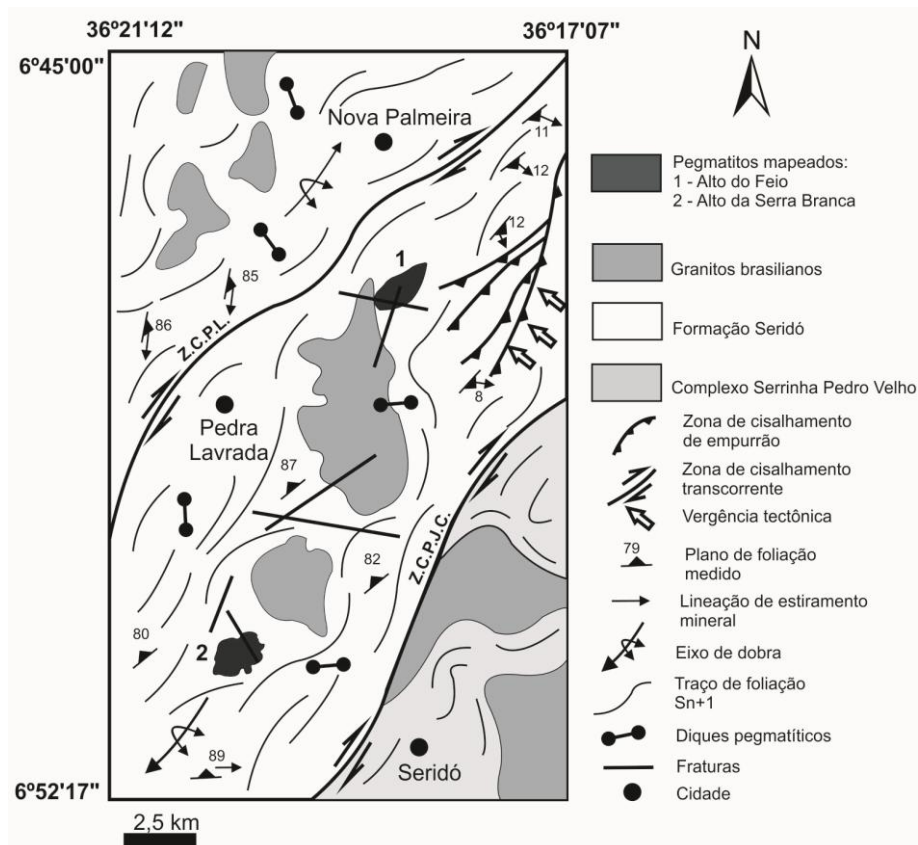


Figura 2 - Mapa geológico da área estudada com a localização dos pegmatitos Alto do Feio (1) e Alto da Serra Branca (2). Z.C.P.L. = Zona de cisalhamento Pedra Lavrada; Z.C.P.J.C. = Zona de cisalhamento Picuí-João Câmara.

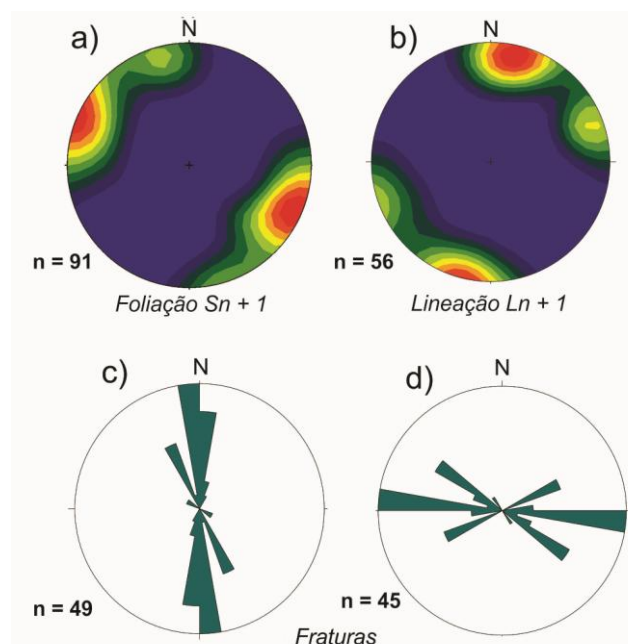


Figura 3 - a) Estereograma com medidas (n) das atitudes de foliação regional associadas aos planos S_{n+1} (relacionadas à tectônica predominante na área - D_{n+1}); b) Medidas de lineação de estiramento mineral L_{n+1} associadas ao regime transcorrente D_{n+1} ; c) e d) Medidas das principais fraturas preenchidas por diques de pegmatitos que cortam os xistos da Formação Seridó.

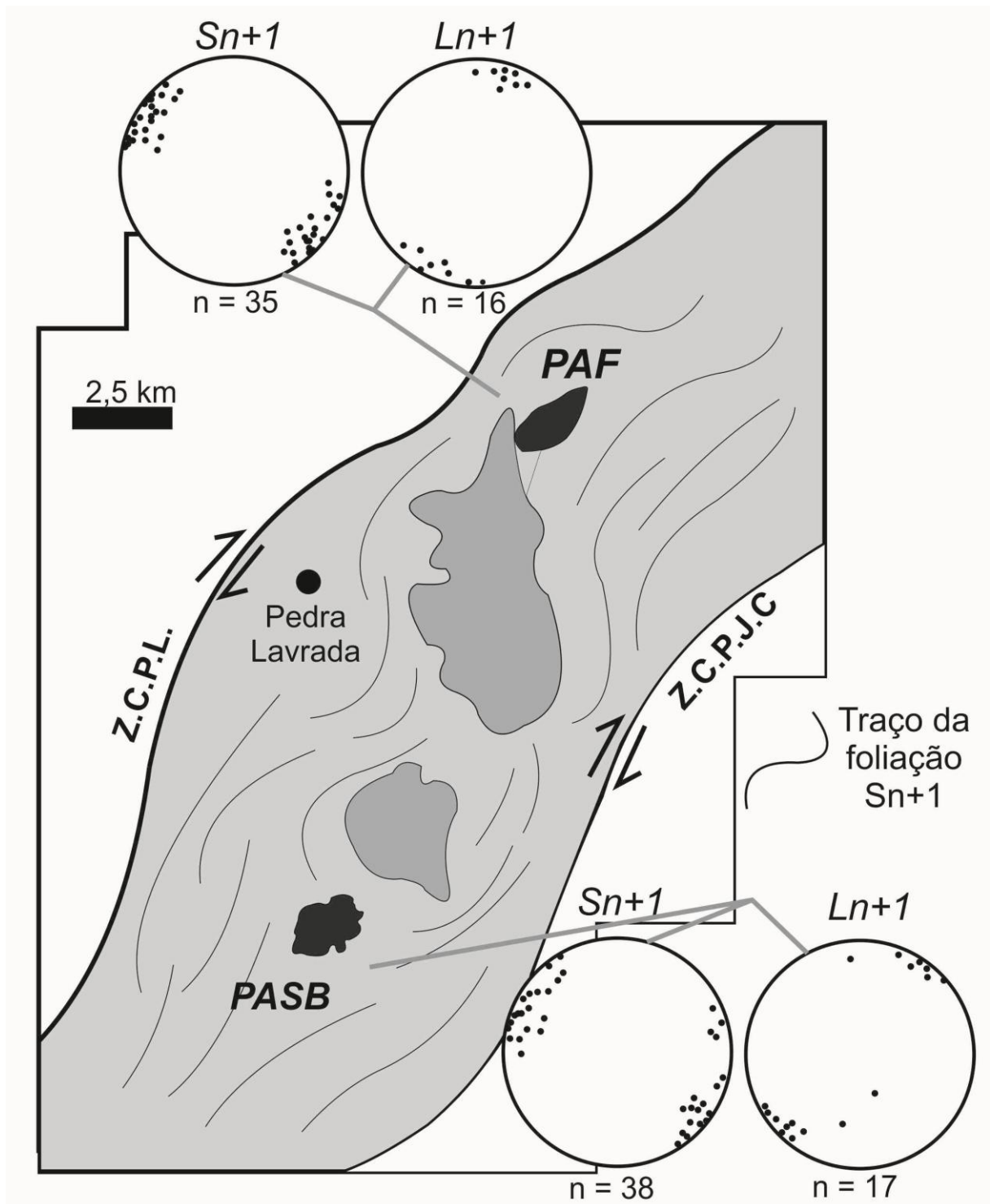


Figura 4 - Condicionamento estrutural dos pegmatitos, granitos adjacentes e pegmatitos pela tectônica D_{n+1} . Notar a sinuosidade da foliação conferindo formas de sigmoides direcionados para NE-SW. PAF = Alto do Feio, PASB = Alto Serra Branca.

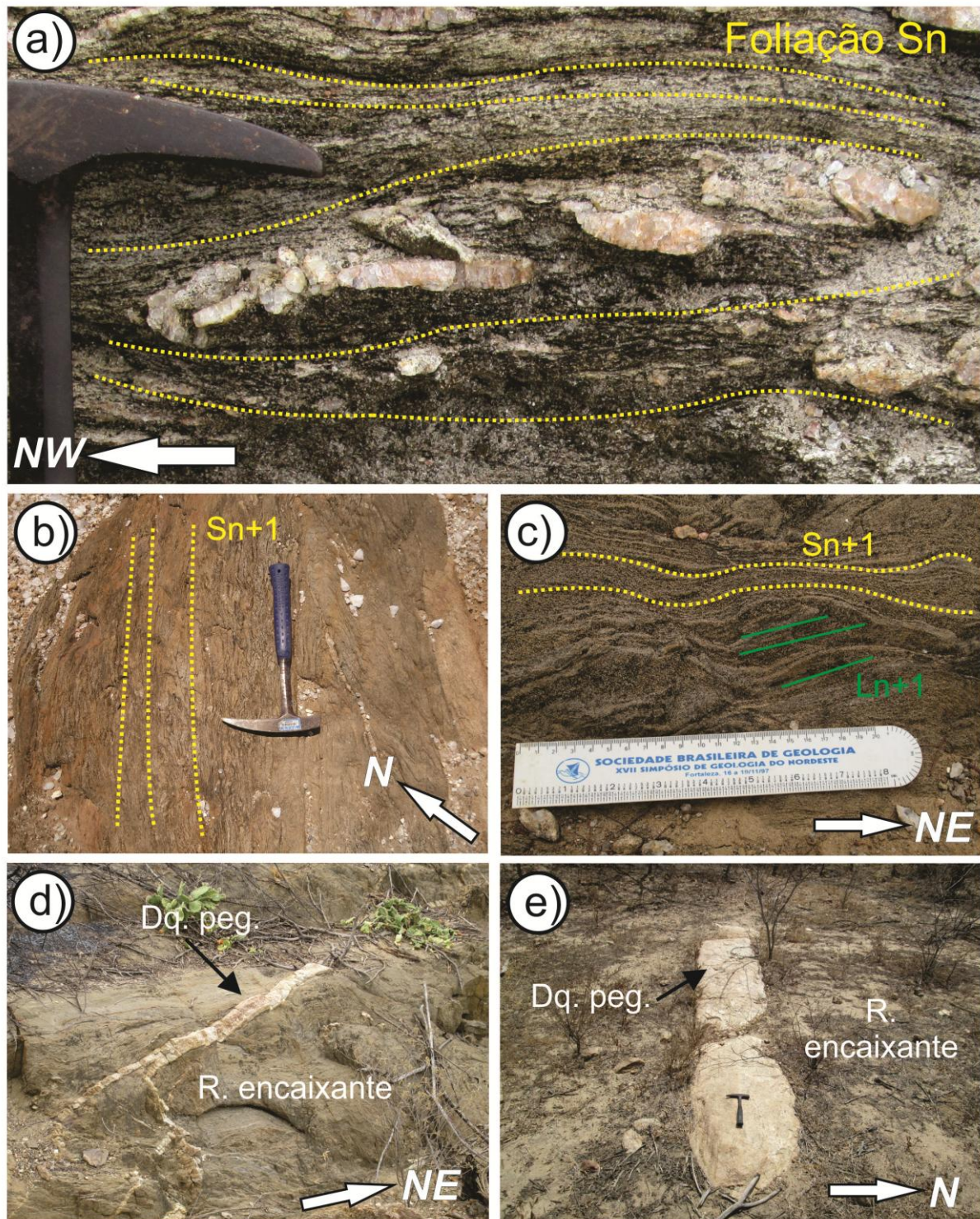


Figura 5 - Aspectos vinculados aos eventos deformacionais determinados no presente trabalho. a) Corte vertical em biotita xisto da Formação Seridó exibindo o baixo mergulho da foliação e cristais de quartzo deformados sugerindo vergência tectônica para NNW relacionado à tectônica Dn+1; b) granada-biotita milonitos da formação Seridó vinculados à tectônica Dn+1; c) Lineação sub-horizontal Ln+1 em paragnaisse da Formação Seridó; d) e e) Injeções de diques pegmatíticos cortando xistos da Formação Seridó, como registro da trama deformacional Dn+2. Dq.peg. = Dique pegmatítico e R. encaixante = Rocha encaixante.

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE DOS CORPOS PEGMATÍTICOS

Com objetivo de separar as principais zonas minerais dos corpos pegmatíticos estudados, foi realizado mapeamento geológico de detalhe na escala 1:2000 (Figs. 6 e 7). Para esta etapa foram realizados perfis transversais aos pegmatitos espaçados regularmente de 10 em 10 m.

Pegmatito Alto do Feio

Este pegmatito possui uma forma irregular, contornada por uma foliação com *trend* regional NE, sendo encaixado em biotita-xistos da Formação Seridó (Figura 8a) e apresentando comprimento ao longo de seu maior eixo de aproximadamente 400 m. De uma maneira geral, afloramentos ligados a este corpo são formados por rochas inequigranulares com mineralogia variada e predominância de textura pegmatítica, com cristais variando de alguns centímetros até dimensões métricas em sua zona central. Entretanto porções com granulação mais fina são localmente observadas, principalmente na região intermediária do pegmatito.

Mapeamento de detalhe revelou que este corpo é formado por três zonas minerais bem definidas. Da borda para o centro, tem-se: i) zona de borda, 2) margem do núcleo e iii) núcleo homogêneo. Na zona de borda, predominam feldspato potássico e ocorrências centimétricas a métricas de plagioclásio e quartzo. Minerais que ocorrem subordinadamente e de forma disseminada ao longo dessa região incluem turmalina preta (schorlita), apatita euédrica a subédrica, granada euédrica amarronzada e lamelas esparsas de muscovita. Nesta zona, predominam redes de fraturas que possuem direção preferencialmente

NW-SE localmente preenchidas por diques aplíticos. Entretanto, uma rede secundária de fraturas ocorre deslocando as fraturas preenchidas na direção aproximada N-S.

A região da margem do núcleo corresponde à porção mais delgada do corpo. Esta zona é caracterizada pela predominância de feldspato potássico e quartzo desenvolvendo intercrescimento gráfico. Um aspecto mesoscópico distintivo desta região é a predominância de cristais anédricos, porém, não maiores que 3 cm de largura ou comprimento, conferindo a esta zona uma textura predominantemente fanerítica grossa. Localmente, é possível observar níveis de caulinita que ocorre com hábito vermiforme, denotando processo de alteração do feldspato potássico. Fraturas locais predominam nesta região sendo preenchidas por sílex, quartzo e muscovita, sugerindo que fluídos ricos em SiO₂ tardios percolaram por meio de estruturas dilatacionais, principalmente nesta zona, provenientes dos magmas graníticos adjacentes. Estas fraturas possuem atitudes similares à da zona de borda, porém, é notável a presença de fraturas com direção preferencial E-W.

Por outro lado, ocupando a porção central do pegmatito ocorre uma região homogênea do ponto de vista mineralógico denominada de núcleo. Esta zona é formada por uma massa de quartzo, predominando as variedades leitosas e róseas (Fig. 8b) e, em menor proporção, a variedade "murion" com coloração escura a hialina. Nesta zona, ocorrem alguns cristais de plagioclásio albítico do tipo cleavelandita (Fig. 8c), além de ocorrências pontuais de óxidos de manganês representados por pirolusita com hábito dendrítico. Por fim, de maneira similar à zona de margem do núcleo, fraturas de direção E-W ocorrem preenchidas por sílica amorfa de coloração vermelha escura,

além de fraturas secundárias que cortam as anteriores na direção NE-SW.

Pegmatito Alto Serra Branca

Este pegmatito segue um *trend* similar ao Alto do Feio na direção NE-SW. Por outro lado, este corpo possui bordas fortemente irregulares em função da ação de estruturas de caráter rúptil, as quais são muito mais frequentes do que no pegmatito Alto do Feio. De maneira geral, este corpo é caracterizado por megacristais de quartzo e feldspato potássico que podem atingir pouco mais de 1 metro em todas as zonas caracterizando uma textura preferencialmente pegmatítica, além de definir essa rocha como predominantemente leucocrática.

Definimos neste corpo quatro zonas minerais principais. Da borda para o centro têm-se: 1) zona de contato, 2) zona intermediária externa, 3) zona intermediária interna e 4) núcleo homogêneo. A zona de contato é caracterizada por uma forte influência da foliação regional sendo definida pela interface entre os biotita-xistos e milonitos encaixantes e a borda do pegmatito propriamente dito. Por vezes, estes xistos podem ocorrer como xenólitos dentro de zonas ricas em feldspato do pegmatito. Nesta zona, os afloramentos ligados ao pegmatito ocorrem de forma rasteira, sendo caracterizados pela associação quartzo + feldspato potássico $\pm$ muscovita com hábito lamelar ou dobrado.

A zona intermediária externa é caracterizada por mineralogia similar a zona de borda, mas com predominância de muscovita com hábito radial concêntrico e por regiões enriquecidas em turmalina schorlita e elbaíta de coloração azul escura. Esses minerais apresentam tanto formas euedrais, quanto subédricas, mas cristais anedrais, principalmente de turmalina são frequentemente observados. Adicional-

mente, de forma disseminada mineralizações ocorrem pontualmente, representadas por cristais de amblygonita (fosfato de lítio) e albita, além de granada euédrica com coloração marrom escura. Nesta zona, ocorrem ainda diques quartzo-feldspáticos de direção E-W e fraturas não preenchidas de direção NW-SE, entretanto, não foi possível estabelecer relações de cronologia na geração dessas fraturas. Diferentemente das zonas anteriores e similarmente à zona de margem do núcleo do pegmatito Alto do Feio, a zona intermediária interna possui mineralogia simples, sendo formada por quartzo e feldspato potássico desenvolvendo textura gráfica (Fig. 8d). Esta textura normalmente é interpretada como resultado de desequilíbrio químico em estágios tardios de cristalização (Fenn, 1986). Entretanto, é comum nesta zona observar lamelas de albita (superiores a 8 cm) e turmalina schorlita prismática (Figura 8e) e azul escura, a qual pode ocorrer de forma disseminada em regiões onde a textura torna-se mais grossa passando para uma trama pegmatítica. Esta região é cortada por fraturas de direção E-W que concentram quartzo leitoso com lamelas de muscovita orientados nesta direção e na direção NE-SW.

Por fim, a região central do corpo é formada por megacristais de quartzo com coloração predominantemente leitosa, cobrindo grandes paredões que podem exceder 3,5 m de espessura. Não obstante, é possível observar variedades amareladas (citrino), esfumadas e hialinas, principalmente em regiões fortemente fraturadas. Alguns minerais subordinados nessa região incluem muscovita com hábito radial (Figura 8f) e lamelar e cassiterita encrustada nos megacristais de quartzo leitoso. Diversas fraturas cortam estes cristais na direção N-S, porém sem serem preenchidos,

causando apenas cominuição dos cristais de quartzo.

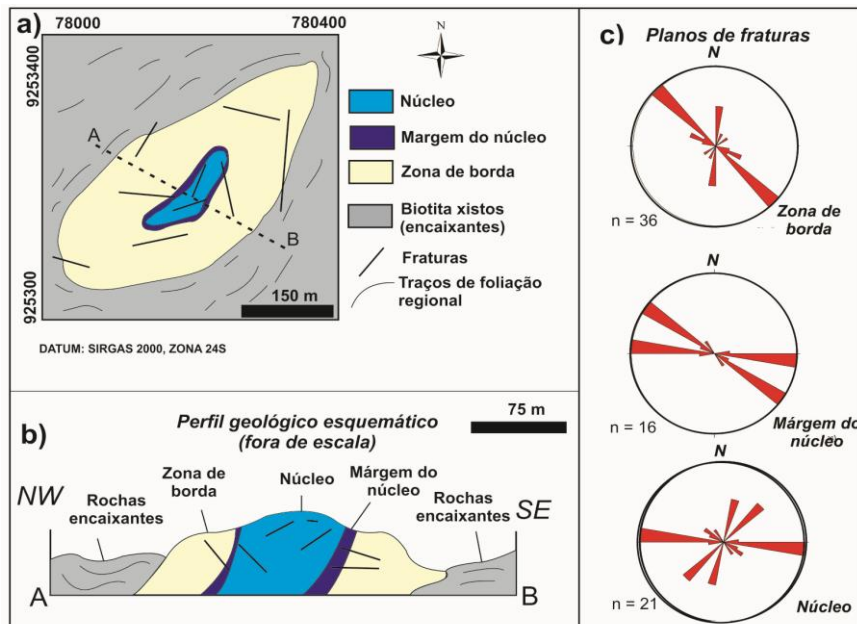


Figura 6 - a) Mapa geológico de detalhe do pegmatito Alto do Feio e as principais zonas definidas no presente trabalho; b) Perfil NW-SE do corpo pegmatítico e c) Atitudes das famílias de fraturas medidas (n) que cortam as principais zonas deste pegmatito.

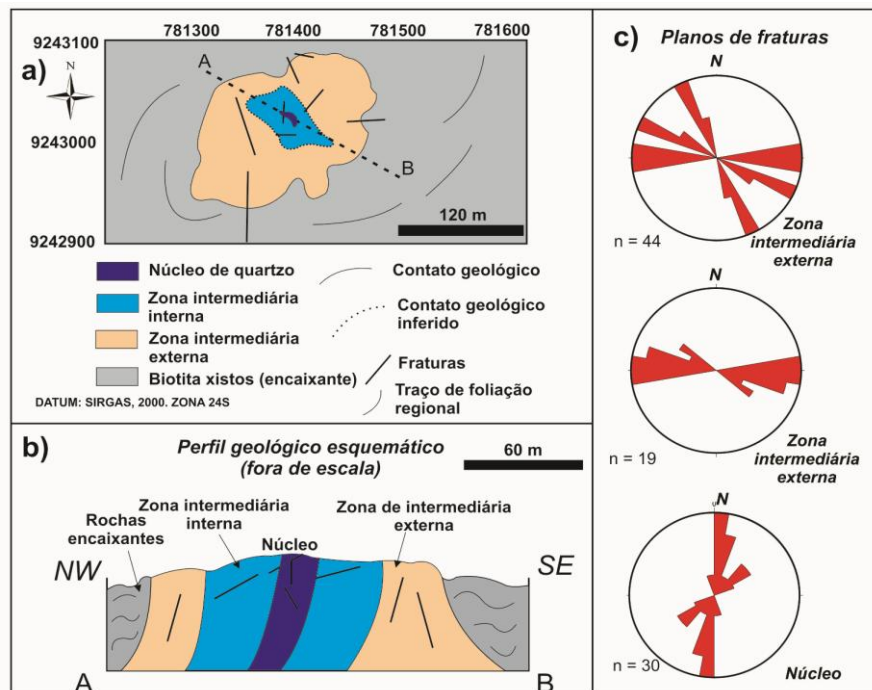


Figura 7 - a) Mapa geológico de detalhe do pegmatito Alto Serra Branca e as principais zonas definidas no presente trabalho; b) Perfil NW-SE do corpo pegmatítico e c) Atitudes das famílias de fraturas medidas (n) que cortam as principais zonas deste pegmatito.

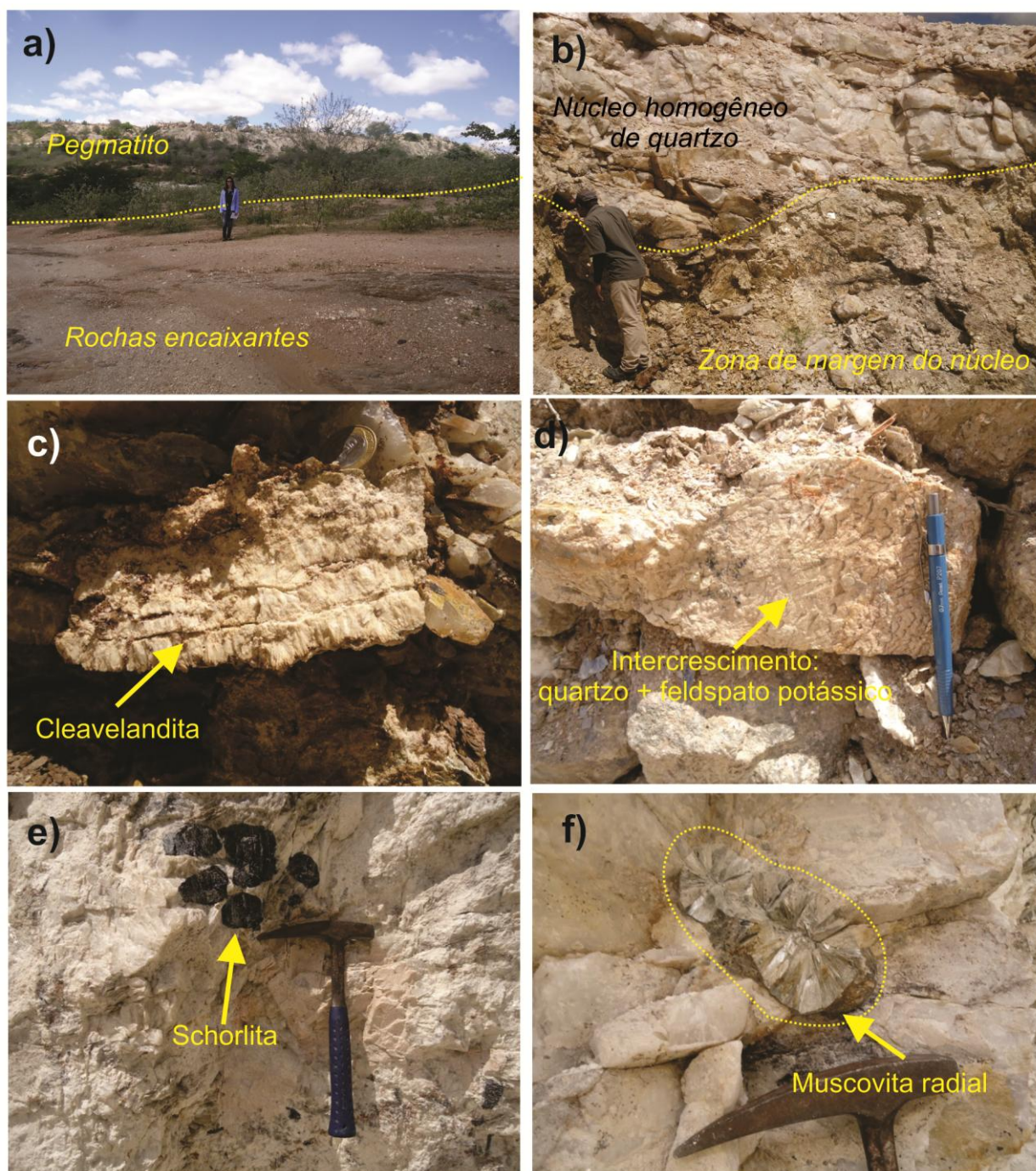


Figura 8 - Aspectos de campo dos pegmatitos estudados: a) Região que define a zona de contato entre biotita xistos da Faixa Seridó e o pegmatito Alto do Feio; b) zona de contato entre a margem do núcleo e núcleo homogêneo de quartzo no pegmatito Alto do Feio; c) Variedade de albita (cleavelandita) identificado na zona de núcleo do pegmatito Alto do Feio; d) Intercrescimento gráfico e textura fanerítica típicos da zona intermediária interna do pegmatito Alto Serra Branca; e) Cristais de turmalina escura disseminada na zona intermediária interna do pegmatito Alto Serra Branca; f) Cristais de muscovita radial na zona de núcleo do pegmatito Alto Serra Branca.

DISCUSSÃO

A Província Pegmatítica do Seridó representa uma importante entidade metalogenética no Nordeste do Brasil, uma vez que concentra grande parte dos minerais industriais explorados atualmente, além de um rico acervo gemológico (Beurlen *et al.* 2014). Seu potencial econômico é reconhecido desde a primeira guerra mundial, pela presença de pegmatitos férteis portadores de minérios de Nb, Ta, Sn, além de minerais extremamente valiosos tais como a turmalina Paraíba (Beurlen *et al.* 2011b).

Pesquisas recentes têm levado em consideração aspectos genéticos de corpos pegmatíticos bem como focado análises de caracterização mineral refinadas (fluorescência de raios X, espectrometria Raman, microsonda eletrônica, etc.) com o objetivo de entender a gênese de mineralizações e até descoberta de novas fases minerais, tais como demonstram Beurlen *et al.* (2014) e referências ali contidas. Por outro lado, existe ainda uma carência significativa dos trabalhos envolvendo condicionamento estrutural e mapeamento geológico de detalhe em corpos pegmatíticos na província, como é o caso dos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca.

A presente pesquisa revelou que a região que compreende as adjacências do município de Pedra Lavrada é hospedeira de corpos pegmatíticos importantes, tais como os pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca. Estes corpos encontram-se encaixados em biotita xistos e granada-biotita xistos da Formação Seridó e estão geograficamente associados a intrusões graníticas ediacaranas. Esta região é afetada fortemente por tectônica dúctil, sendo a fase mais antiga denominada de D_n , representada por relictos de uma foliação pretérita, a qual é fortemente transposta pela fase D_{n+1} que é

caracterizada por tectonitos contracionais que ocorrem nas proximidades do município de Nova Palmeira, os quais devem estar relacionados a uma fase de baixo ângulo da zona de cisalhamento Picuí-João Câmara que predomina a norte da área de estudo. Estes tectonitos possuem mergulho preferencial para SE e lineação de estiramento mineral de alta obliquidade, o que associado com critérios cinemáticos indica transporte tectônico principal para NNW. Os principais marcadores estruturais nos permitiu a correlação de D_{n+1} com fases de empurrão e retro-empurrão regionais relacionadas a fases de escape lateral definidas por Hackspacher *et al.* (1997) que afetaram metapelitos da Faixa Seridó durante a orogenia Brasileira.

Por outro lado, a deformação predominante na região é representada por corredores miloníticos de direção NE-SW, os quais são representados por milonitos com planos de foliação subverticais a verticais com mergulho ora para SE, ora para NW, sempre associados à lineação horizontal ou sub-horizontal, com *rakes* tipicamente baixos. Esta deformação corresponde a fase tipicamente não coaxial D_{n+2} , tendo suas principais estruturas associadas as zonas de cisalhamento Picuí-João Câmara (dextral) que coloca em contato tectônico a Formação Seridó com os ortognaisses e migmatitos do Complexo Serrinha-Pedro Velho e a zona de cisalhamento de Pedra Lavrada (dextral) que corta os xistos na porção W da área de estudo. Esta tectônica, que é dominada por uma foliação S_{n+2} transcorrente, e é responsável pela forma e orientação das rochas que ocorrem na região incluindo as rochas supracrustais encaixantes, granitos Ediacaranos e os corpos pegmatíticos.

Por fim, a última fase de deformação identificada (D_{n+3}) é marcada por uma mudança no regime deformacional de dúctil para rúptil-

dúctil, seguida de fases puramente rúpteis. Associados a estes estágios, regionalmente ocorrem fraturas de direções N-S e E-W, as quais podem ser preenchidas por pegmatitos estéreis que cortam os xistos encaixantes ou deslocam essas estruturas preenchidas, além de cortarem os corpos pegmatíticos e serem responsáveis pela irregularidade de suas formas.

Em escala de detalhe, é possível identificar a forte influência das fases D_{n+2} e D_{n+3} nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca. A primeira afeta principalmente as zonas de bordas desses corpos, orientando principalmente as rochas encaixantes e suas formas alongadas na direção NE-SW. Por outro lado, a deformação D_{n+3} é singularmente importante, pois além de cortar todas as zonas dos corpos pegmatíticos, pode, em alguns casos, controlar veios e diques mineralizados, como veios aplíticos e pegmatíticos ricos em minerais importantes, tais como cassiterita e turmalina elbaíta. Por fim, ocorrem vários de pegmatitos normalmente discordantes com a foliação regional, sendo normalmente são estéreis com relação a mineralizações importantes.

O forte controle estrutural dos pegmatitos da PPS foi demonstrado por Agrawal (1992), agrupando-os em duas suítes cronologicamente distintas. A mais antiga, corresponderia a pegmatitos intensamente deformados relacionados a fases de dobramentos regionais, definidas por este autor como F_1 , F_2 e F_3 , e uma suíte mais jovem posterior a esta cinemática ou seja, com uma trama deformacional incipiente ou inexistente. Por outro lado, Jardim de Sá (1994) hierarquizou com detalhe os eventos poli-deformacionais da Faixa Seridó, que consequentemente influenciariam fortemente a geração desses corpos pegmatíticos. Este trabalho foi complementado por Araújo *et al.* (2001), cuja análise geométrica e

cinemática definiu ambientes estruturais distintos para os pegmatitos da região. De acordo com estes autores, os pegmatitos da PPS poderiam ser agrupados em: i) pegmatitos homogêneos, os quais teriam sido injetados ao longo de descontinuidades estruturais, tais como superfícies de foliação e xistosidade e ii) pegmatitos heterogêneos, os quais teriam intrudidos ao longo de estruturas dilatacionais, desenvolvidas em um evento tardi cinemático. Tendo em vista que os pegmatitos estudados correspondem a variedades heterogêneas, influenciadas principalmente pelas tectônicas D_{n+2} , e D_{n+3} , sugerimos que estes foram alojados ao longo de estruturas dilatacionais locais, as quais seriam coevas à transcorrência das zonas de cisalhamento de Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, indicando que área de estudo, essas estruturas assumiriam um caráter preferencialmente transtrativo, correspondendo ao segundo grupo de pegmatitos definidos por Araújo *et al.* (2001).

Por fim, as zonas minerais observadas nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca, permitem defini-los como pegmatitos heterogêneos de acordo com a classificação de Johnston Jr. (1945). As características texturais e mineralógicas definidas para as zonas de borda e do núcleo dos pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca no presente trabalho são compatíveis aquelas com as definidas para pegmatitos graníticos clássicos, tais como definem Cameron (1949), Uebel (1977) e outros. Embora, existam variações locais em campos pegmatíticos ao redor do mundo, estudos experimentais sugerem que eventos aleatórios nos primeiros estágios de cristalização de pegmatitos determinariam os padrões gerais de zonation, entretanto, as primeiras associações minerais a serem formadas seriam resultado de condições químicas

específicas intrínseca a cada pegmatito (London, 2008 e referências ali contidas). Por outro lado, o zoneamento interno proposto por Cameron (1949) ainda corresponde a um critério de classificação geral e bem aplicado aos pegmatitos estudados. A similaridade das ocorrências minerais observadas nos pegmatitos estudados sugere que estes devem fazer parte da mesma geração definindo um evento específico de alojamento de pegmatitos, desta forma, os dados apresentados no presente trabalho podem servir como critérios prospectivos para outros pegmatitos ainda pouco conhecidos na região.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa revelou os seguintes resultados:

i) A região que compreende as adjacências de Pedra Lavrada é fortemente controlada por estruturas regionais, tais como as zonas de cisalhamento Picuí-João Câmara e Pedra Lavrada e o lineamento Patos que representa uma mega estrutura que ocorre ao sul da área estudada;

ii) Esta área possui evolução estrutural poli-deformacional, registrada por quatro fases de principais: a) Fase D_n - Representada por superfícies de foliações sinuosas reliquias fortemente transpostas pelas fases subsequentes, b) D_{n+1} - Representada por tectonitos com baixo ângulo de mergulho para ESE, associados à lineação de alto *rake* e transporte tectônico para NW, sendo restrita às proximidades de Nova Palmeira; b) Fase D_{n+2} - Predominante na área, sendo representada por milonitos com alto ângulo de mergulho da foliação (S_{n+2}) associados à lineação (L_{n+2}) de estiramento mineral horizontal a sub-horizontal com direção de mergulho NE-SW e N-S. As principais estruturas associadas a esta tectônica são as zonas de cisalhamento NE-SW Picuí João Câmara e a zona de

cisalhamento de Pedra Lavrada, ambas caracterizadas por regime de deformação fortemente não coaxial destral e c) fase D_{n+3} que possui caráter preferencialmente dúctil-rúptil e rúptil, sendo responsável pelo desenvolvimento de fraturas normalmente discordantes que podem ou não ser preenchidas por pegmatitos ou aplitos que cortam todas as unidades da área, eventualmente portando mineralizações importantes;

iii) Mapeamento geológico de detalhe permitiu a definição de diversas zonas mineralizadas nos pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca, tais como zonas de margens e núcleo homogêneo de quartzo. A definição dessas zonas levou à identificação de áreas potencialmente mineralizadas em cassiterita, amblygonita e turmalinas, elbaíta, além de silicatos com valor comercial agregado;

iv) No interior dos pegmatitos estudados ocorrem famílias de fraturas que podem ou não ser preenchidas por pegmatito ou quartzo/silex. O mapeamento dessas fraturas revelou um padrão de orientação diferente para cada zona mapeada, que pode auxiliar como guias prospectivos dentro destes corpos pegmatíticos, facilitando a extração de determinados minerais controlados estruturalmente;

v) A heterogeneidade e zoneamento observado nos corpos, bem como a forte influência de D_{n+2} e D_{n+3} na sua geração, sugere que estes pegmatitos foram alojados ao longo de estruturas dilatacionais associadas à transcorrência, ou seja, teriam sido injetados ao longo de campos transtrativos das zonas de cisalhamento regionais de Pedra Lavrada e Picuí-João-Câmara.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pelo

financiamento do presente trabalho por meio do projeto intitulado "Projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltado para o aproveitamento regional e sustentável de minerais de pegmatitos e rochas de quartzitos", sendo mais uma contribuição da área de geologia da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da UFCG para o fortalecimento da atividade mineira na região e ampliação da relação Universidade-Indústria. Agradecemos ainda a cooperativa de garimpeiros de Pedra Lavrada que nos auxiliou durante todas as etapas da pesquisa, em especial ao colega José Ramilson pelo valioso conhecimento que nos foi repassado. Os comentários, críticas e sugestões do revisor anônimo adicionados ao texto melhoraram substancialmente o manuscrito original, por isto e pelo seu valioso tempo, estamos sinceramente agradecidos. Por fim, agradecemos ainda ao editor da revista Estudos Geológicos, Professor Gorki Mariano (UFPE) pelo auxílio prestado durante a condução das etapas de publicação do artigo.

REFERÊNCIAS

- Agrawal, V.N. 1992. Relationship between pegmatite emplacement and tectono-metamorphic events in the Seridó Group, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 282-289.
- Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-19.
- Araújo, M.N.C., Silva, F.C.A., Jardim de Sá, E.F. 2011. Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, Northeastern Brazil: Late stage kinematics of the Brasiliano Orogen. *Gondwana Research*, 4: 75-85.
- Archanjo, C.J., Hollanda, M.H.B.M., Rodrigues, S.W.O., Brito Neves, B.B., Armstrong, R. 2008. Fabrics of the pre- and syntectonic granite plutons and chronology of shear zones in the eastern Borborema Province, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 30: 310-326.
- Barreto, S.B. 1999. *Caracterização química, óptica e estrutural de turmalinas gemológicas dos pegmatitos Capoeiras, Quintos, Bulandeira e Batalha, Província Pegmatítica da Borborema*. Tese de doutorado, Universidade de Barcelona - 198p.
- Barreto, S.B., Cobic, A., Gobac, Z.Z., Bermanec, V., Kniewald, G. 2011. Chemical characterization and chromophore elements in elbaïtes from Borborema Province, Brazil. *Asociación Geológica Argentina*, 14: 41-44.
- Bermanec, V., Horvat, M., Zigoveckí, G.Z., Zebec, V., Scholz, R., Skoda, R., Wegner, R., Brito, B.S.D., Dodony, I. 2012. Pseudomorphs of low microcline after adularia fourlings from the Alto do Cabeça (Boqueirão) and Morro Redondo Pegmatites, Brazil. *Canadian Mineralogist*, 50: 975-987.
- Beurlen, H., Muller, A., Silva, D., Da Silva, M.R.R. 2011a. Petrogenetic significance of LA-ICP-MS trace-element data on quartz from the Borborema Pegmatite Province, northeast Brazil. *Mineralogical Magazine*, 75: 2703-2719.
- Beurlen, H., Moura, O.J.M., Soare, D.R., Da Silva, M.R.R., Rhede, D. 2011b. Geochemical and geological controls on the genesis of gem-quality "Paraíba tourmaline" in granitic pegmatites from northeastern Brazil. *Canadian Mineralogist*, 49: 277-300.
- Beurlen, H., Thomas, R., Da Silva, M.R.R., Muller, A., Rhede, D., Soares, D.R. 2014. Perspectives for

- Li- and Ta-Mineralizations in the Borborema Pegmatite Province, NE Brazil: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 56: 110-127.
- Brito Neves, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds) Tectonic evolution of South America. International Geological Congress p. 151-182.
- Cameron, E.N., Jahns, R.H., McNair, A.H., Page, L.R. 1949. Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology Monograph*, 2: 115p.
- Fenn, P.M. 1986. On the origin of graphic granite. *American Mineralogist*, 71: 325-330.
- Hackspacher, P.C., Dantas, E.L., Brito Neves, B.B. and Legrand, J.M., 1997. Northwestern overthrusting and related lateral escape during the Brasiliano orogeny north of the Patos lineament, Borborema province, Northeast Brazil. *International Geology Review*, 39: 609-620.
- Hollanda, M.H.B.M., Archanjo, C.J., Batista, 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.
- Jardim de Sá, E.F. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Panafricana*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília - 762p.
- Johnston Jr, W.D. 1945. Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 56: 1015-1070.
- Linnen, R.L., Van Lichtenvelde, M., Cerny, P. 2012. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. *Elements*, 8: 275-280.
- London, D. 2008. Pegmatites. *Canadian Mineralogist Special Publication*, 10: 368p.
- London, D., Morgan, G, V.I. 2012. The pegmatite puzzle. *Elements*, 8: 263-268.
- London, D. 2014. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. *Lithos*, 184: 74-104.
- Santos, E.J., Wanderley, A.A. 2000. Nota explicativa da Folha Jaguaribe - SB-24. Serviço Geológico do Brasil, 64 p.
- Santos, E.J., Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Oliveira, R.G., Medeiros, V.C. 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. In: 31th International Geological Congress, 2000)...Bouletin 1, p. 5-9.
- Santos, E.J., Ferreira, C.A., Silva Jr, J.M. 2002. Nota explicativa do Mapa Geológico da Paraíba. Serviço Geológico do Brasil, 234 p.
- Santos, E.J., Souza Neto, J.A., Silva, M.R.R., Beurlen, H., Cavalcanti, J.A.D., Silva, M.G., Costa, A.F., Santos, L.C.M.L., Santos, R.B. 2014. Metalogênese das porções norte e central da Província Borborema. In: Silva, M.G. Neto, M.B.R. Jost, H. Kuyumjian, R.M. (Eds) Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. CPRM p. 343-388.
- Scorza, E.P. 1944. Província Pegmatítica da Borborema. Rio de Janeiro. Departamento Nacional de Produção Mineral, 55 p.
- Soares, D.R., Beurlen, H., Barreto, S.B., Da Silva, M.R.R., Ferreira, A.C.M. 2008. Compositional variation of

- tourmaline-group minerals in the Borborema Pegmatite Province, northeastern Brazil. *Canadian Mineralogist*, 46: 1097-1116.
- Uebel, P.J., 1977. Internal structure of pegmatites, its origin and nomenclature. *Neues Jarbuch für Mineralogie Abhandlugen*, 131: 83-113.
- 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 pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from Shrimp U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. *Precambrian Research*, 127: 287-327.