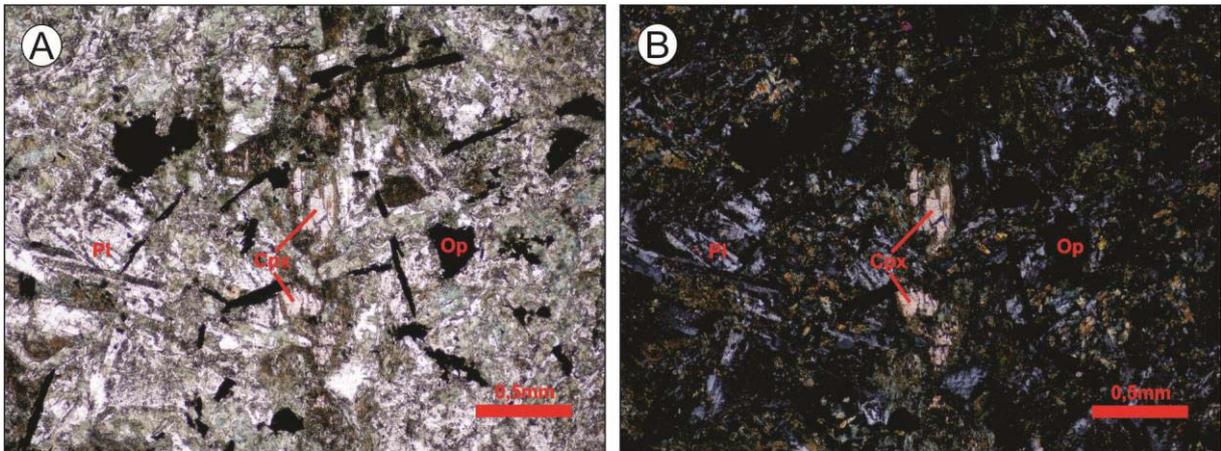


Figura 21 – Aspectos microscópicos do gabronorito porfirítico.



Legenda: (A) e (B) Aspectos microscópicos mostrando textura ofítica composta por ripas de plagioclásio e cristais de clinopiroxênio do gabronorito porfirítico. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. Abreviações: Cpx- clinopiroxênio; Pl- plagioclásio; Op- mineral opaco, Fonte: O autor, 2016. Nota: Nomenclatura adotada por Siivola; Schmid (2007).

3.2.8 Diques graníticos (MP1γspdg)

Esta fácies é composta por álcali feldspatos granitos e biotita sienogranitos que afloram de forma isolada, em toda a área de trabalho, sempre associados aos diques de gabronorito porfirítico. Os afloramentos ocorrem na forma de pequenos lajedos (5 x 5 metros) em conjunto com blocos que não ultrapassam três metros de diâmetro (Figura 22A e B) ou em cortes de estrada (Figura 22C). A rocha possui cor cinza clara e exibe matriz de granulação média composta por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita (Figura 22D). A sul da área de trabalho, os afloramentos desta unidade ocorrem intrusivos nos piterlitos.

Foram estudadas duas lâminas desta fácies. A rocha é hololeucrática, tendo de 4 a 9% de minerais máficos em sua moda. É isotrópica, equigranular e possui granulação fina a média. Na rocha do ponto 4212-CC-R-35, a textura granular hipidiomórfica é dominante (Figura 23A e B), enquanto no ponto 4212-CC-R-27, a textura de intercrescimento granofirico é dominante (Figura 23C e D). Em ambos os pontos, a textura micropertítica ocorre em proporções subordinada às duas texturas principais.

Figura 22 – Aspectos de campo do dique granítico.

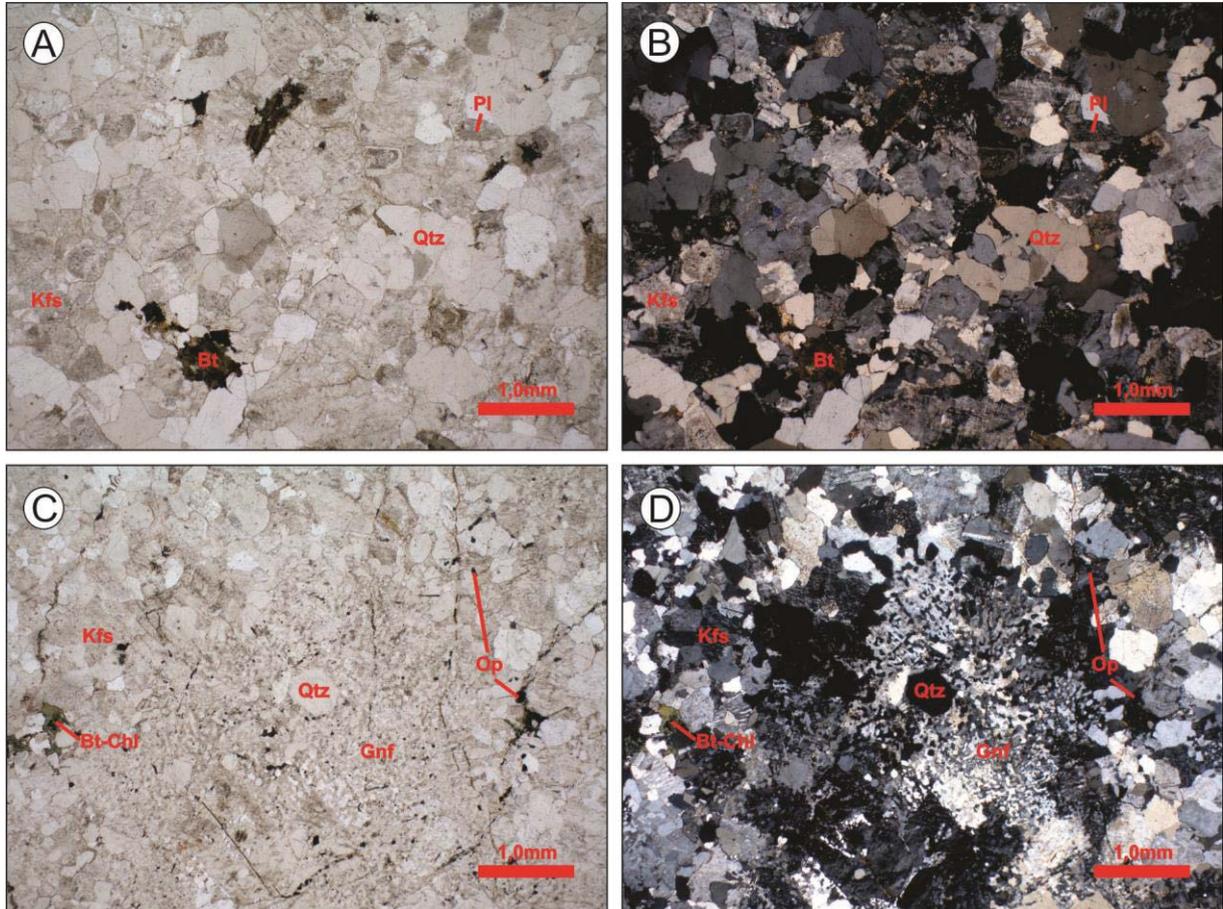


Legenda: A) Afloramento de lajedo em conjunto com blocos do dique granítico. B) Detalhe da superfície do bloco de biotita sienogranito mostrando a textura equigranular da rocha. C) Dique granítico em afloramento tipo corte de estrada, ponto 4212-CC-R-27. D) Aspecto geral do dique granítico mostrando a textura equigranular de granulação fina a média e cor cinza clara. Fonte: O autor, 2016.

As rochas desta fácies são compostas essencialmente de quartzo (26-38%), microclina (42-67%) e plagioclásio (8-9%), tendo a biotita (4-9%) como mineral varietal, minerais opacos, zircão e allanita (?) como minerais acessórios, sericita, argilominerais, clorita e fluorita como minerais secundários. Os cristais de microclina são tabulares anédricos a subédricos, estão levemente argilizados, possuem inclusões de quartzo e exsolvem finas lamelas de plagioclásio (micropertitas) que mascaram sua geminação. Os cristais de quartzo são granulares anédricos, apresentam contato suturado entre si, embaçamento em contato com outros minerais e apresentam inclusões de plagioclásio. O plagioclásio é tabular subédrico, leve a moderadamente alterado para sericita, com geminação polissintética proeminente. A biotita é lamelar subédrica a anédrica, de coloração verde, com pleocroísmo forte (de amarelo pálido a verde escuro), levemente cloritizada. Os cristais de allanita são alaranjados, levemente pleocróicos e anédricos a subédricos, com zoneamento concêntrico. Os minerais opacos são anédricos, e ocorrem, geralmente, associados à biotita. Os grãos de zircão são

granulares euédricos a subédricos, ocorrendo inclusos na biotita. A fluorita é granular anédrica, de coloração marrom com algumas porções lilás.

Figura 23 – Aspectos microscópicos do dique granítico.



Legenda: (A) e (B) Textura granular hipidiomórfica dominante com abundância de quartzo na rocha, ponto 4212-CC-R-35. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (C) e (D) Textura granofírica e quartzo hexagonal, ponto 4212-CC-R-27. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. Abreviações: Kfs- K-feldspato; Qtz- quartzo; Pl- plagioclásio; Bt-Chl- biotita cloritizada; Op- mineral opaco; Gnf – textura granofírica, Fonte: O autor, 2016. Nota: Nomenclatura adotada por Siivola; Schmid (2007).

3.2.9 Greisens

Os sericita-quartzo greisens afloram no chão e nos cortes de estrada na forma de veios e/ou filões, mas, também podem ser observados em meia encosta como blocos que variam de poucos centímetros a, no máximo, um metro de diâmetro. Quando na forma de pequenos blocos, esses greisens possuem aspecto de “laterita” (Figura 24A e B), desta forma, facilitando a distinção, no campo, entre estes e os demais litotipos graníticos e máficos aflorantes na área.

Nos locais em que a estrada corta as áreas mineralizadas (ponto 4212-CC-R-18), o pavimento adquire uma tonalidade esverdeada, devido ao fato de que o cascalho utilizado na pavimentação é constituído predominantemente por fragmentos de sericita-quartzo greisens, quartzo-mica greisens e granitos hidrotermalizados de cor verde (Figura 24C e D). Desta forma, contrasta com a cor avermelhada do cascalho proveniente das áreas de empréstimo que tem a laterita como principal material de exploração. Durante o mapeamento também foram identificados pequenos blocos de quartzo greisen e/ou granitos hidrotermalizados nas partes laterais das estradas (Figura 24E e F). Nestes casos, após uma verificação a montante determinou-se que estes blocos sofreram transporte por gravidade e que não foram utilizados como cascalho (ponto 4212-CC-R-34).

Os veios e/ou filões greisenizados possuem espessura que varia entre vinte e quarenta centímetros (Figura 25A, B e C). A greisenização é controlada por fraturas subverticais que possuem as direções preferenciais NE-SW e NW-SE. Foram também mapeados turmalina-quartzo greisens (Shcherba, 1970), com tamanho que varia entre 5 e 10 cm de espessura, associados à fácies biotita leucossienogranito (Figura 25E). Por difração de raio-x, a turmalina do ponto 4212-CC-R-41 foi classificada como *schorl* com a fórmula $\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$.

No ponto 4212-CC-R-47, também associado à fácies biotita leucogranito, aflora um granito fortemente hidrotermalizado, caracterizado por uma cor acentuadamente esverdeada (Figura 25F). Todos os greisens presentes na área podem ser classificados como endogreisens. Eles ocorrem principalmente associados à fácies biotita sienogranito granofírico mineralizado, próximo à zona de contato com os riolitos, e associados à fácies biotita leucossienogranito.

O sericita-quartzo greisen possui granulação fina, estrutura maciça, cor verde, é composto por sericita, moscovita e quartzo (Figura 26A) e ocorre principalmente na forma de blocos com aspecto de “laterita”, como já descrito acima e, por vezes, acompanham as exposições dos veios de hematititos (Figura 25D e Figura 26D). A associação entre rochas ricas em sericita e hematititos foi determinada nos endogreisens associados ao Granito Vykmánov, na República Checa (STEMPROK; PIVEC; LANGROVÁ, 2005).

Segundo Trindade Netto et al. (no prelo), as exposições de hematititos no Morro da Teleron e em seus arredores marcam zonas de cisalhamento com geração de ultramilonitos, cujos processos de lixiviação química, através dos fluidos hidrotermais canalizados ao longo destas zonas, concentraram ferro e sílica na forma de bandas, principalmente nas zonas de intensa deformação, com paralelismo total e obliterando totalmente a estrutura original da

rocha. Grande parte destes ultramilonitos foram descritos inicialmente como formações ferríferas bandadas (BIF).

Figura 24 – Aspectos de campo do quartzo-mica greisen.

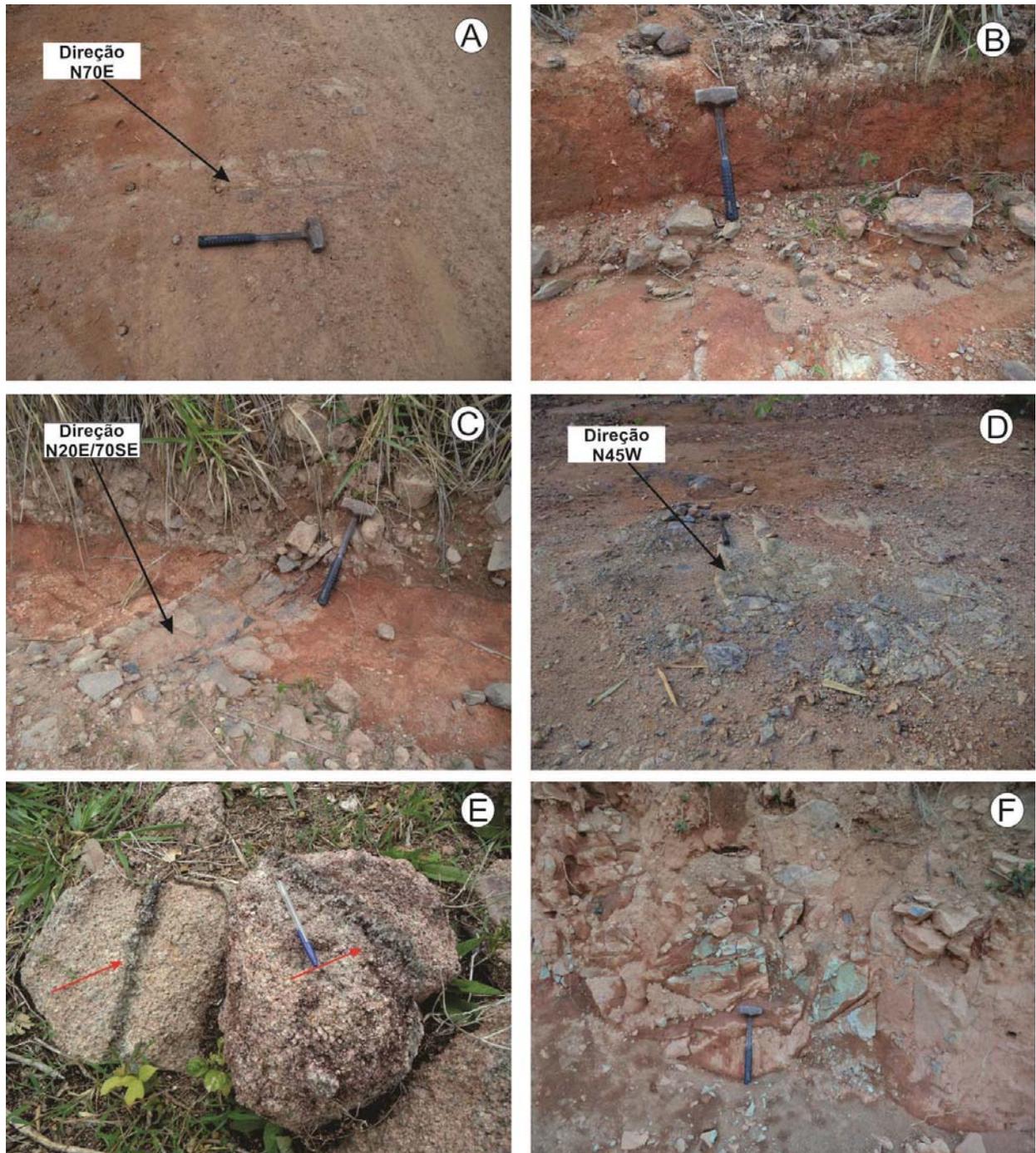


Legenda: (A) Greisen aflorando na encosta do morro no ponto 4212-CC-R-18, as setas vermelhas mostram os blocos de quartzo-mica greisen com aspecto de “laterita”. (B) Blocos de quartzo greisen e granito hidrotermalizado coletados no ponto 4212-CC-R-34. (C) Pavimento de estrada de chão com tonalidade esverdeada; as setas pretas mostram blocos ou áreas com grande concentração de sericita-quartzo greisen. (D) Detalhe de bloco de greisen esverdeado utilizado para encascalhar a estrada. (E) Os círculos vermelhos destacam a ocorrência de blocos quartzo greisen e granito hidrotermalizado ao lado da estrada no ponto 4212-CC-R-34. (F) Detalhe do bloco quartzo greisen que ocorre ao lado da estrada no ponto 4212-CC-R-34. Fonte: O autor, 2016.

Por sua vez, o sericita-turmalina-quartzo greisen possui aspecto maciço, cor verde escura, granulação média e grãos subédricos, sendo similares aos granitos equigranulares encaixantes.

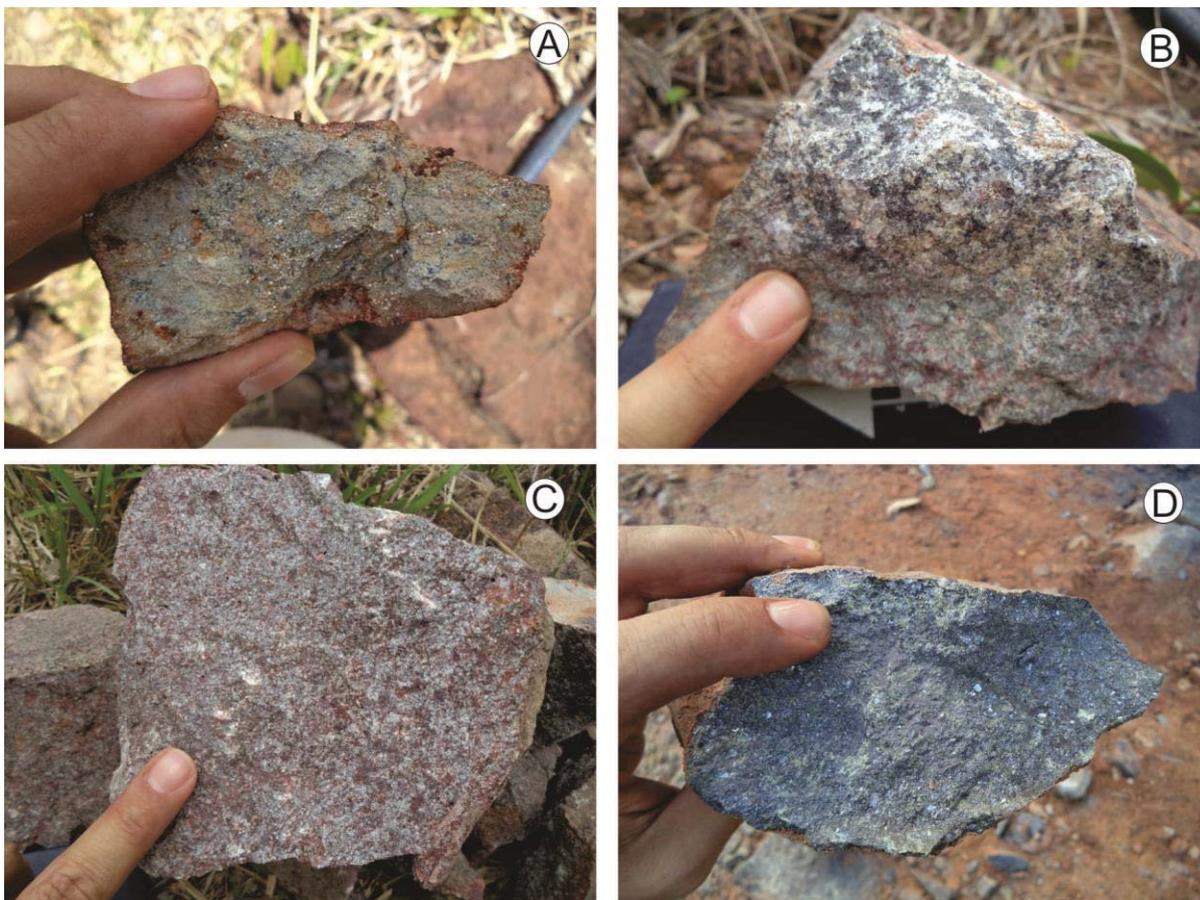
Por difração de raio-x, determinou-se que a turmalina dos pontos 4212-CC-R-43 e 4212-CC-R-44 corresponde à uvita que possui fórmula, $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe})_3\text{B}_3\text{Al}_6\text{Si}_6(\text{O,OH,F})_{31}$ (Figura 26B e C). É comum a presença de vênulas com diâmetros milimétricos, preenchidas por argilo-mineral de cor castanha.

Figura 25 – Aspectos de campo do Sericita-turmalina-quartzo greisen e hematitito.



Legenda: (A) e (B) Sericita-turmalina-quartzo greisen aflorando no chão da estrada, ponto 4212-CC-R-43. (C) Quartzo greisen ponto 4212-CC-R-44 (D) Hematitito e sericita-quartzo greisen aflorando no chão da estrada, ponto 4212-CC-R-46 . E) Turmalina-quartzo greisen ponto 4212-CC-R-41. F) Granito de cor verde fortemente hidrotermalizado, ponto 4212-CC-R-47. Fonte: O autor, 2016.

Figura 26 – Aspectos de macroscópicos dos diferentes tipos de greisens.



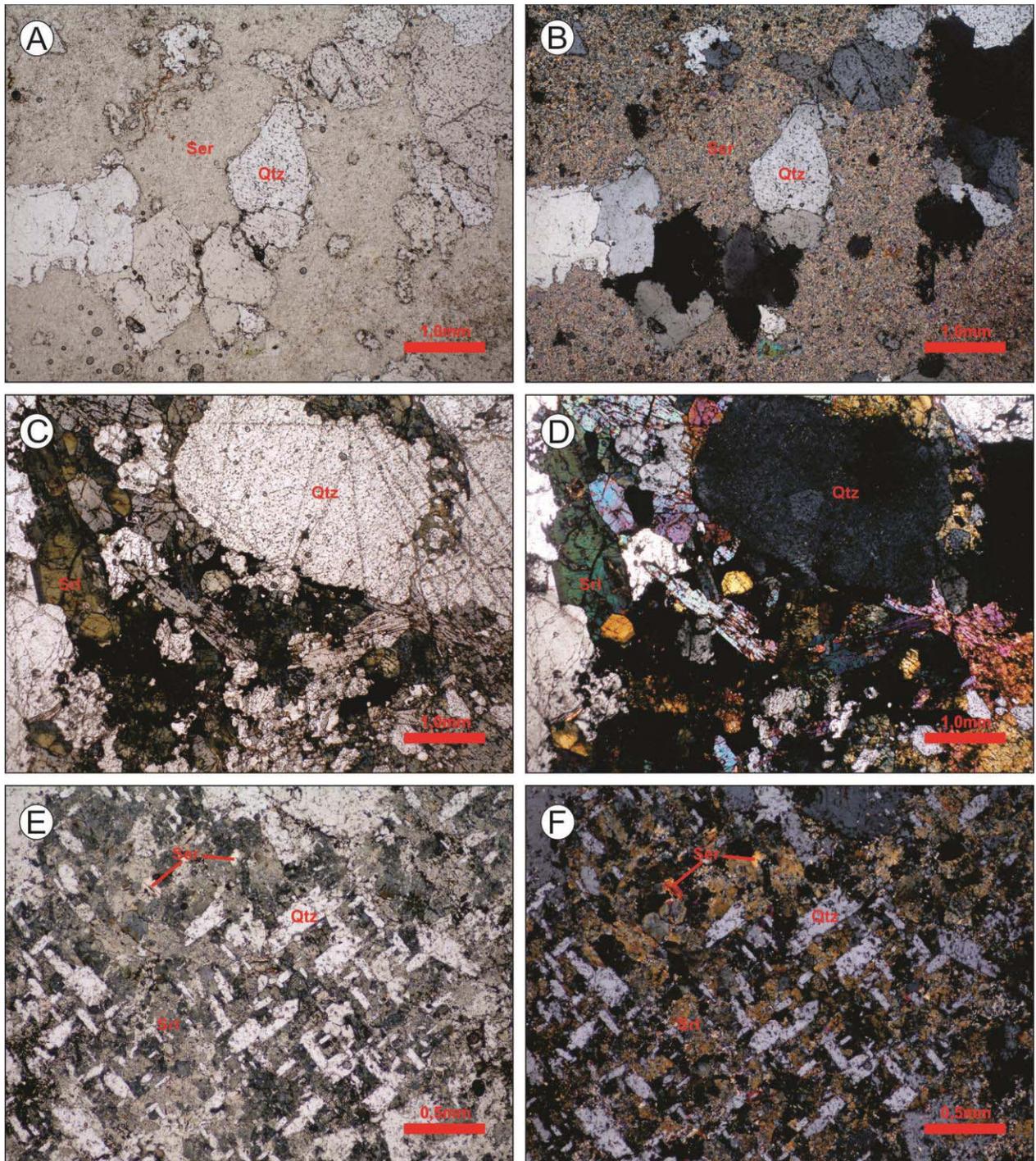
Legenda: (A) Aspecto de campo do sericita-quartzo greisen, ponto 4212-CC-R-19. (B) E (C) Aspecto de campo do sericita-turmalina-quartzo greisen, pontos 4212-CC-R-43 e 4212-CC-R-40, respectivamente. (D) Aspecto de campo do hematitito. Fonte: O autor, 2016.

O sericita-quartzo greisen (Figura 27A e B) caracteriza-se por ser formado por um agregado de quartzo, sericita e minerais opacos. O quartzo apresenta granulação predominantemente média e a sericita e os minerais opacos apresentam granulação fina. O greisen é hololeucocrático e isotrópico. Os cristais de quartzo são granulares anédricos, com contatos irregulares entre si e possuem embaiamento em contato com os agregados de sericita. Os grãos de quartzo variam de moderadamente fraturados a intensamente fraturados. A sericita é lamelar subédrica a anédrica, ocorre disseminada na rocha e concentrada nas fraturas dos minerais opacos e quartzo.

O sericita-turmalina-quartzo greisen (Figura 27C e D) caracteriza-se por ser formado por um agregado de quartzo, turmalina, sericita e minerais opacos. O quartzo e a turmalina apresentam granulação predominantemente média e a sericita e os minerais opacos apresentam granulação fina. O greisen é leucocrático e isotrópico. Os cristais de quartzo são granulares anédricos, com contatos irregulares entre si e possuem embaiamento em contato com os cristais de turmalina. Os grãos de quartzo apresentam-se intensamente fraturados. A

turmalina é euédrica a subédrica possui forte extinção inversa e ocorre como cristais com até três milímetros ou na forma de agregados na rocha. No ponto 4212-CC-R-43, observou-se intercrescimento de turmalina e quartzo que lembra a trama de um tecido e, forma textura semelhante à gráfica, que pode ser efeito do corte feito para obter a lâmina (Figura 27E e F).

Figura 27 – Aspectos de microscópicos dos diferentes tipos de greisens.

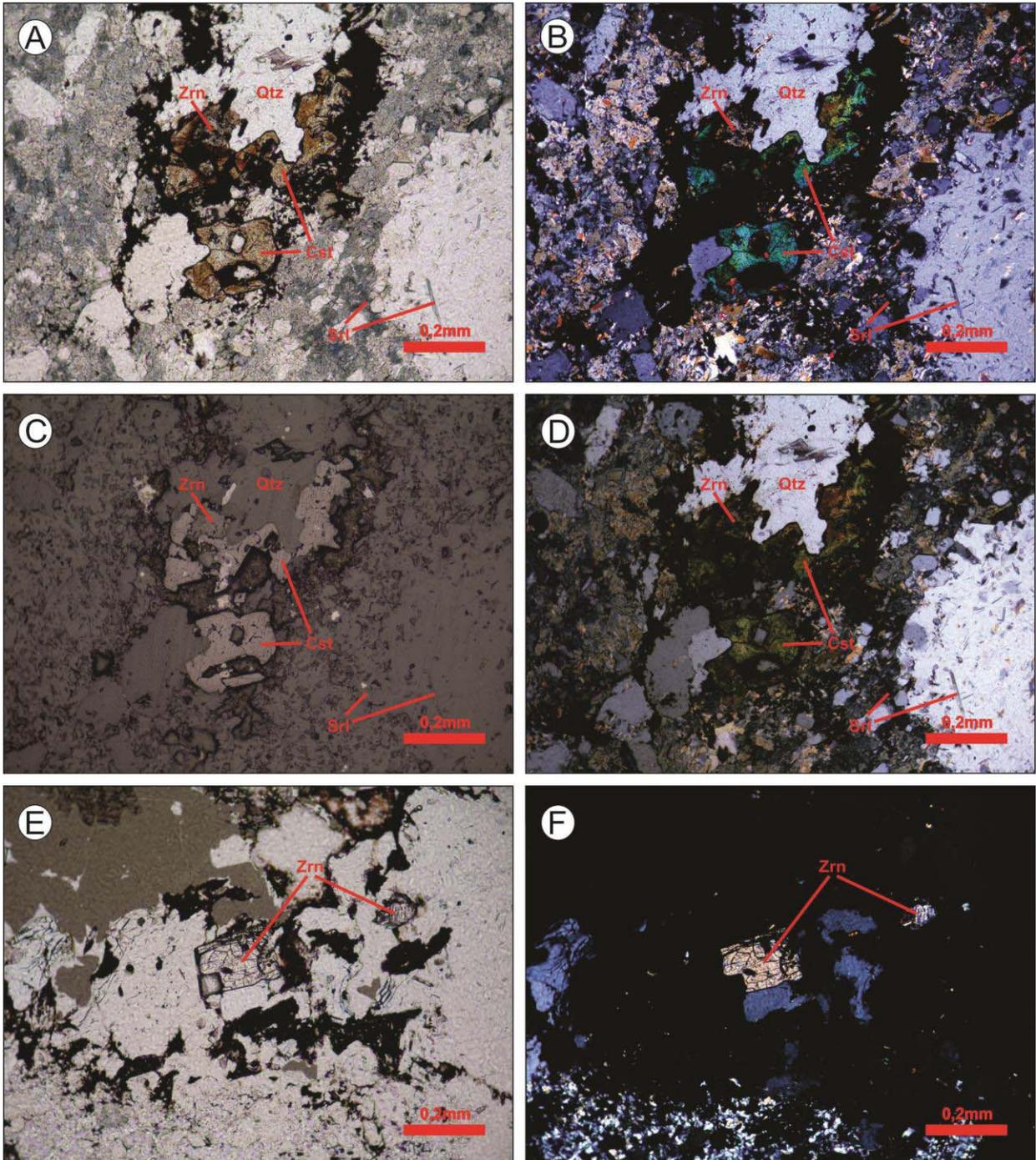


Legenda: (A) (B) Sericita disseminada e cristais de quartzo do sericita-quartzo greisen, ponto 4212-CC-R-44. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (C) e (D) Cristais de turmalina de granulação média do turmalina-quartzo greisen, ponto 4212-CC-R-41. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (D) e (F) Intercrescimento de turmalina e quartzo 4212-CC-R-43. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. Abreviações: Ser- sericita; Srl- Schorlita; Qtz- quartzo, Fonte: O autor, 2016. Nota: Nomenclatura adotada por Siivola; Schmid (2007).

O sericita-turmalina-quartzo greisen do ponto 4212-CC-R-43 possui grãos de cassiterita de tamanhos que variam entre 0,5 e 0,2 mm . A cassiterita ocorre associada a uma massa de sericita e turmalina que preenche fraturas entre os grãos de quartzo (Figura 28A, B,

C e D). Também foram detectados grãos de zircão hafnífero nesta amostra, com teores médios de Hf de 2% (Figura 28E e F).

Figura 28 – Aspectos de microscópicos do sericita-turmalina-quartzo greisen.



Legenda: (A) (B) Cassiterita no sericita-turmalina-quartzo greisen, ponto 4212-CC-R-43. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (C) e (D) Cassiterita no sericita-turmalina-quartzo greisen, ponto 4212-CC-R-43. Luz Refletida. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (D) e (F) Cristal de zircão hafnífero 4212-CC-R-43. Nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. Abreviações: Cst- cassiterita; Zrn- zircão; Srl- Schorlita; Qtz- quartzo, Fonte: O autor, 2016. Nota: Nomenclatura adotada por Siivola; Schmid (2007).

4 GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA U-PB, LU-HF, SM-ND

4.1 Introdução

As rochas graníticas, charnoquíticas e mangeríticas, deformadas ou não, e com idades U-Pb em zircão variando entre 1.606 e 1.532 Ma (BETTENCOURT et al., 1999), são atualmente entendidas como uma associação de granitos rapakivi e rochas afins e incluídas na Suíte Intrusiva Serra da Providência (BETTENCOURT et al., 1997, 1999; QUADROS; RIZZOTTO, 2007; RIZZOTTO; SCANDOLARA; QUADROS, 1996; TASSINARI, 1984). Segundo Payolla et al. (2002), valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ +0,6 a +2,0 em rochas correlacionadas à Suíte Intrusiva Serra da Providência indicam a mistura de magmas derivados do manto depletado e de outras fontes crustais. Para Tassinari et al. (2000), as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência são produto de magmatismo bimodal intraplaca, situadas sobre crosta continental formada a 1,75 a 1,73 Ga e relacionadas provavelmente com o desenvolvimento geodinâmico da Orogênese Cachoeirinha (BETTENCOURT et al., 1999; GERALDES et al., 2001). Scandolara (2006), de acordo com as características isotópicas de Nd, admite para rochas da Suíte Intrusiva Serra da Providência a distribuição em quatro grupos de idades T_{DM} crustais que variam de 1,75 a 2,55 Ga e $\epsilon_{Nd}(t)$ que variam de - 9,6 a + 2,2.

Na área de estudo existe apenas uma idade U-Pb, feita pelo método LA-ICPMS em zircão, por Iza et al. (2015), de uma amostra que pertence a fácies leucossienogranito. A idade concórdia obtida foi de 1.574 ± 9 Ma, com MSDW de 0.98.

Nesta tese foram coletadas e analisadas nove amostras da parte sul do Batólito Serra da Providência, para estudos de geocronologia isotópica U-Pb via ICP-MS, com o objetivo de determinar a idade da fácies mineralizada, determinar a idade de novas fácies cartografadas nesta tese (Fácies dique granítico e Fácies biotita sienogranito granofírico rapakivítico) e verificar a relação temporal entre as fácies porfíricas de granulação grossa e as fácies de granulação fina a média e textura equigranular. Devido à escassez de recursos e problemas operacionais do equipamento, somente quatro das nove amostras foram selecionadas para estudos de geoquímica isotópica Lu-Hf via ICP-MS. Todas as nove amostras que foram datadas pelo método U-Pb via ICP-MS também tiveram alíquotas separadas e preparadas para análise Sm-Nd em rocha total (Figura 29). A tabela 3 traz um sumário com todas as amostras e tipos de análises geocronológicas/geoquímicas isotópicas realizadas nesta tese.

Tabela 3 – Sumário de análises geocronológicas realizadas nesta tese.

Amostra	Litologia	Fácies	U-Pb ICP-MS	Lu-Hf ICP-MS	Sm-Nd
4212-R-CC17A	Biotita sienogranito	Biotita sienogranito porfirítico (viborgito)	X	X	X
4212-R-CC25A	Hornblenda-biotita sienogranito	Hornblenda-biotita sienogranito porfirítico (piterlito)	X		X
4212-R-CC25B	Hornblenda-biotita sienogranito (Aplito)		X		X
4212-R-CC16A	Biotita sienogranito	Biotita sienogranito granofírico rapakivítico	X		X
4212-R-CC24	Biotita sienogranito		X		X
4212-R-CC15A	Biotita sienogranito	Biotita sienogranito granofírico mineralizado	X	X	X
4212-R-CC23	Biotita sienogranito		X	X	X
4212-R-CC33	Álcali feldspato granito	Dique granítico sin-plutônico	X	X	X
4212-R-CC35	Biotita sienogranito		X		X

Fonte: O autor, 2016.

4.2 Idades U-Pb e Lu-Hf em Zircão e Sm-Nd em Rocha Total: aspectos metodológicos

Todos os grãos de zircão foram montados em uma seção circular de araldite com 2,5cm de diâmetro e polidos até que os minerais ficassem expostos. Imagens foram obtidas com utilização de microscópio ótico (Leica MZ 125) e microscópio eletrônico de varredura (FEI Quanta). Os grãos de zircões foram datados, utilizando-se de uma microsonda a laser (Excimer Laser) acoplada a um MC-ICP-MS (Neptune), no Laboratório Multiusuário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Dados isotópicos foram adquiridos pelo modo estático com tamanho do feixe Laser de 30 μm , utilizando as condições de operação apresentadas na tabela 4. Fracionamentos de elementos por indução do laser e discriminação de massa instrumental foram corrigidos com a utilização de um padrão de referência de zircão (GJ-1) (JACKSON et al., 2004). Erros externos foram calculados com a propagação do erro das medidas individuais do padrão GJ-1 e das medidas individuais de cada amostra de zircão (ou *spot*). Chemale et al. (2012) descrevem com detalhe o método utilizado. Para controlar a qualidade de dados, foram analisados, para cada conjunto de amostras e padrão GJ-1, grãos do padrão 91500 com idade sugerida por WIEDENBECK et al., 1995) de $1.065,4 \pm 0,3$ Ma.

Tabela 4 – Condições de operação para aquisição de dados isotópicos de U-Pb pelo método LA-MC-ICPMS.

Microsonda a laser photon-machines excimer laser system	MC-ICP-MS Neptune
<ul style="list-style-type: none"> • Potência de saída do Laser 4-6 J/cm² • Taxa de repetição dos feixes de laser 10 Hz • Tamanho do spot de Laser 30 μm 	<p style="text-align: center;">Configuração dos coletores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faradays 232Th, 238U • MIC's 206Pb, 208Pb, 202Hg, 204Hg+204Pb, 207Pb <p style="text-align: center;">Injeção de Gas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluxo de resfriamento (Ar) 15 l/min • Fluxo auxiliar (Ar) 0.8 l/min • Fluxo de transporte de amostra 0.75 l/min (Ar) + 0.45 l/min (He) • Aquisição 50 ciclos of 1.048 s

Fonte: O autor, 2016.

Cerca de 50 a 100 mg do pó das amostras de rocha-total foram misturados a uma solução traçadora mista de ^{149}Sm - ^{150}Nd e, em seguida, digeridos ($\text{HF}:\text{HNO}_3$ igual a aproximadamente 4:1) em cápsulas Savillex ou bombas de Teflon do tipo Parr, ao longo de aproximadamente quatro dias. Após a completa dissolução, a solução é evaporada e novamente atacada com os mesmos ácidos. A solução é evaporada novamente e o resíduo solubilizado em HCl 6N a quente. Após nova evaporação, o resíduo é solubilizado em HCl 2,5N. A extração dos lantanídeos é feita através de métodos convencionais em colunas de troca iônica confeccionadas em quartzo, usando resina BIO-RAD AG-50W-X8. A extração de Sm e Nd foi feita em colunas em Teflon empacotadas com a resina LN-Spec. As frações de Sm e Nd foram depositadas em arranjos duplos de filamentos de Rênio e analisadas na forma metálica, em modo estático, usando o espectrômetro de massa Finnigan MAT-262 multicoletor do laboratório de geocronologia da Universidade de Brasília (UnB). A razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi normalizada para um valor de $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,7219 e a constante de desintegração usada foi $6,54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$. Incertezas nas razões Sm/Nd são estimadas em aproximadamente $\pm 0.2\%$. Os valores de T_{DM} foram calculados usando o modelo de (DEPAOLO, 1981).

4.3 Apresentação e interpretação dos dados U-Pb

4.3.1 Fácies biotita sienogranito porfirítico/Viborgito (MP1 γ spv)

Desta unidade, apenas uma amostra, do ponto 4212-CC-R-17, foi escolhida para datação. Foram selecionados 101 grãos de zircão, transparentes e incolores, os quais foram analisados pelo método U-Pb e Lu-Hf, via ICP-MS. Nas imagens de catodoluminescência observa-se que os grãos são prismáticos variando de subédricos a euédricos. Observa-se também que os grãos possuem um zoneamento bimodal oscilatório, que é uma característica típica do zircão magmático (Figura 30). Foram efetuados 27 pontos analíticos no total, porém somente 14 foram utilizados para o cálculo da idade. Os dados forneceram valores de razão Th/U em torno de 0,38 e 0,75 (Tabela 5), indicando um domínio magmático com o sistema U-Th-Pb fechado. Segundo Ahrens, Cherry e Erlank (1967), zircão de rochas graníticas