

Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-rio-grandense

Rodrigo Chaves RAMOS¹ & Edinei KOESTER²

1. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 15.001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: rodrigo.chaves@ufrgs.br.

2. Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: koester@ufrgs.br.

Recebido em 11/2012. Aceito para publicação em 01/2014.

Versão online publicada em 04/04/2014 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - No Rio Grande do Sul são reconhecidas e descritas diversas ocorrências de rochas ultramáficas nas porções central e ocidental do Escudo Sul-rio-grandense. No entanto, para a porção oriental, nenhum trabalho de cunho científico fez referência a esse tipo de litologia até o momento. No presente artigo é apresentado o estudo de uma associação de rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas, localizada no extremo sul da porção oriental do Escudo, nas proximidades do município de Arroio Grande. Através das investigações de campo realizadas nessa área em conjunto com petrografia, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios-X foram identificados anfíbolitos à base de hornblenda, plagioclásio e epidoto, e serpentinitos cromíferos e seus produtos metassomáticos (tremolitos, clorititos e talco xistos). Foram caracterizadas paragêneses de fácies anfíbolito tanto para os epidoto anfíbolitos como para os metassomatitos. A associação de rochas de Arroio Grande foi interpretada como fragmentos de um antigo assoalho oceânico obductado durante o fechamento de um paleo-oceano no Neoproterozoico, pela possível colisão das paleoplacas Kalahari e Río de La Plata nos estágios finais da amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental.

Palavras-chave: anfíbolitos, metaultramáficas, Arroio Grande, Escudo Sul-rio-grandense.

Abstract - GEOLOGY OF THE ARROIO GRANDE METAMAFIC-ULTRAMAFIC ASSOCIATION, SOUTHEASTERN SUL-RIO-GRANDENSE SHIELD. In Rio Grande do Sul State (southern Brazil) several occurrences of ultramafic rocks are recognized and described in the central and western portions of the Sul-rio-grandense Shield. However, no scientific work referred to this type of rock association for the eastern portion of the Shield. In this paper, a study of a meta-mafic-ultramafic rock association is shown, located at the southern end of the eastern portion of the Sul-Rio-Grandense Shield, near the town of Arroio Grande. Through field investigation, petrography, scanning electron microscopy and X-ray diffraction hornblende-plagioclase-epidote rich amphibolites, chromian serpentinites and their metasomatic products (tremolites, chloritites and talc schists) were identified. Amphibolite facies paragenesis were characterized for both epidote amphibolites and metasomatites. The Arroio Grande rock association was interpreted to represent fragments of an ancient ocean floor obducted during the closure of a paleo-ocean in Neoproterozoic times, possibly due to collision of the Kalahari and Río de La Plata paleoplates in the final stages of Western Gondwana assembly.

Keywords: amphibolites, metaultramafic, Arroio Grande, Sul-rio-grandense shield.

1 Introdução

O estudo das rochas ultramáficas revela importantes aspectos da evolução geológica de uma região, indicando ambientes-chave para o entendimento de eventos e processos tectônicos através das informações nelas contidas sobre sua origem e evolução. A maior parte das exposições dessas rochas são fragmentos oriundos do manto litosférico, tectonicamente alojados na crosta durante as orogêneses (Bucher & Frey, 2002).

No Escudo Sul-rio-grandense foram descritas diversas ocorrências de rochas ultramáficas nas suas porções ocidental e central (Villwock & Loss, 1970; Jost & Hartmann, 1979; Garcia, 1981; Rego, 1981; Chemale Jr., 1982; Bitencourt, 1983; Jost & Hartmann, 1984; Naumann, 1985; Zarpelon, 1986; Remus, 1990; Santos

et al., 1990; Wildner, 1990; Hartmann & Remus, 2000). Entretanto, para a porção oriental do Escudo não existem trabalhos em escala de detalhe sobre esse tipo de litologia até o apresentado em Ramos (2011), onde foi descrita uma associação de rochas metaultramáficas, metamáficas e metassedimentares, encontrada na região sul do estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades do município de Arroio Grande.

O presente artigo dá continuidade ao estudo dessa associação. A partir das observações de campo e da identificação das paragêneses encontradas nas litologias através de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X, se buscou entender as potenciais fontes e processos geradores das rochas metamórficas investigadas. Essas novas informações, juntamente com as já existentes na

bibliografia, permitem a ampliação da discussão sobre a evolução geotectônica do Escudo Sul-rio-grandense durante a convergência das paleoplacas Rí de La Plata e Kalahari no Neoproterozoico.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Geologia regional

A região estudada situa-se na porção sul do Cinturão Dom Feliciano, desenvolvido no Neoproterozoico-

co durante o Ciclo Orogênico Brasileiro-Panafricano, o qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). Este cinturão se estende por aproximadamente 1.200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina.

No Rio Grande do Sul o Cinturão Dom Feliciano está estruturado em três unidades geotectônicas principais, ocidental, central e oriental (Fig. 1), delimitadas a partir de discontinuidades geofísicas de escala continental (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997). A porção

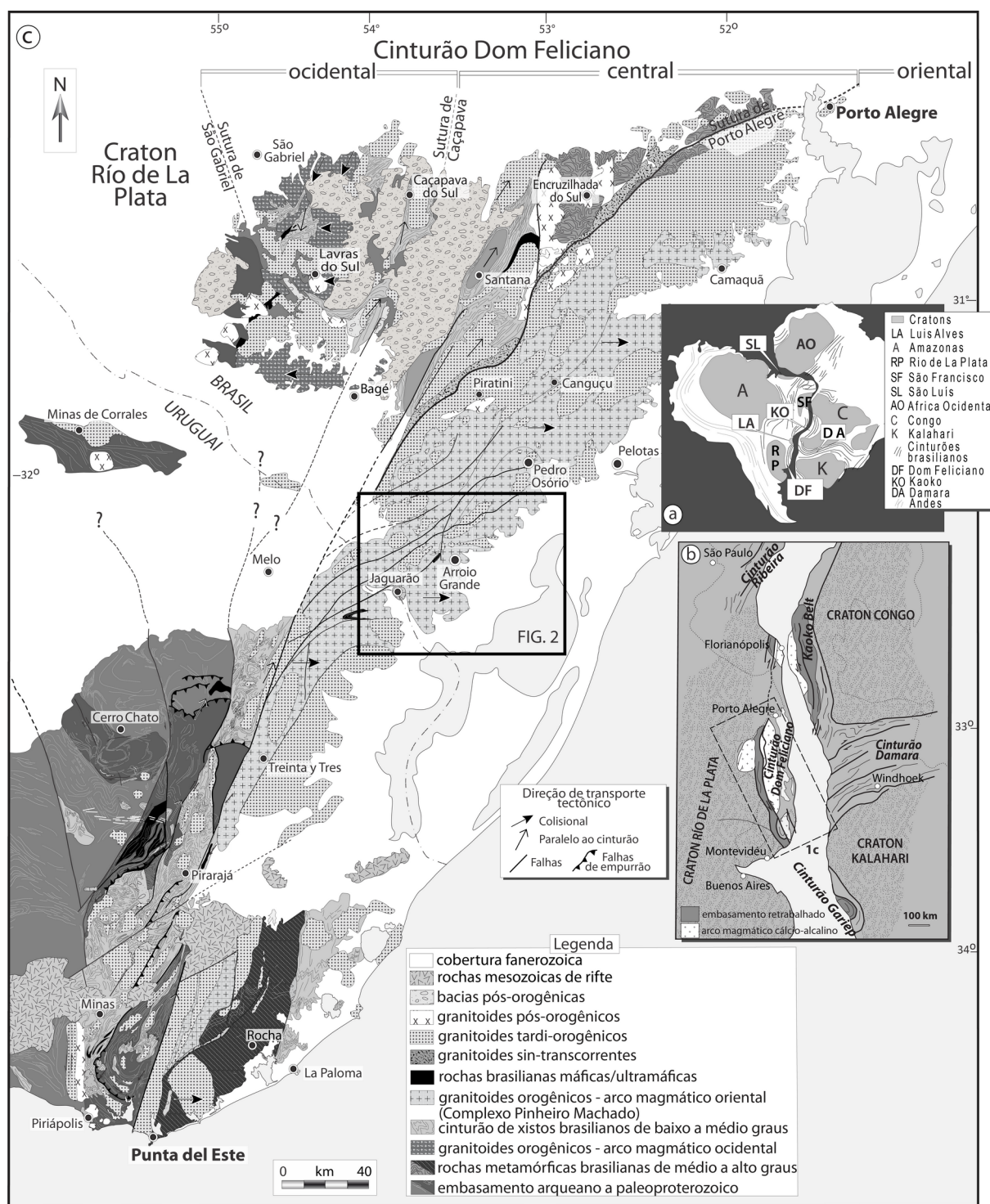


Figura 1. Mapa litotectônico do Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e Craton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) localização do Cinturão Dom Feliciano e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana, com destaque para a área apresentada na figura 2 (Modificado de Masquelin *et al.*, 2012).

oriental, onde se desenvolveu este trabalho, é também conhecida como Batólito Pelotas, termo definido por Fragoso César *et al.* (1986) para designar um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico, correspondendo à zona central do Cinturão Dom Feliciano, com evolução relacionada ao Ciclo Brasileiro. O Batólito seria composto por corpos graníticos das suítes intrusivas Pinheiro Machado, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano, e, ainda, por xenólitos centimétricos a quilométricos de rochas metamórficas que foram denominados de Septos do Embasamento (Quartzitos e Xistos do Herval, Xistos do Grupo Porongos, Gnaisses Vigia, Gnaisses Chanã e Gnaisses Piratini).

Em trabalhos mais recentes, Philipp & Machado (2002) caracterizaram as principais ocorrências dos

Septos do Embasamento que, nas proximidades de Arroio Grande, correspondem a gnaisses (Ortognaisses Arroio Pedrado), lentes calcárias e margas (Mármore e Anfibolitos vilas Matarazzo e Pedreiras), intercalações de xistos pelíticos e quartzitos (Quartzitos e Xistos do Herval) e xenólitos centimétricos a métricos de anfibolitos (Anfibolitos Alto Alegre). Para Wildner *et al.* (2005), a unidade Septos do Embasamento faz parte do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado e corresponde a megaxenólitos de rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e migmatitos.

Por se tratar de fragmentos em meio aos granitoides do Complexo Pinheiro Machado (Fig. 2), a associação metamórfica composta por anfibolitos, xistos

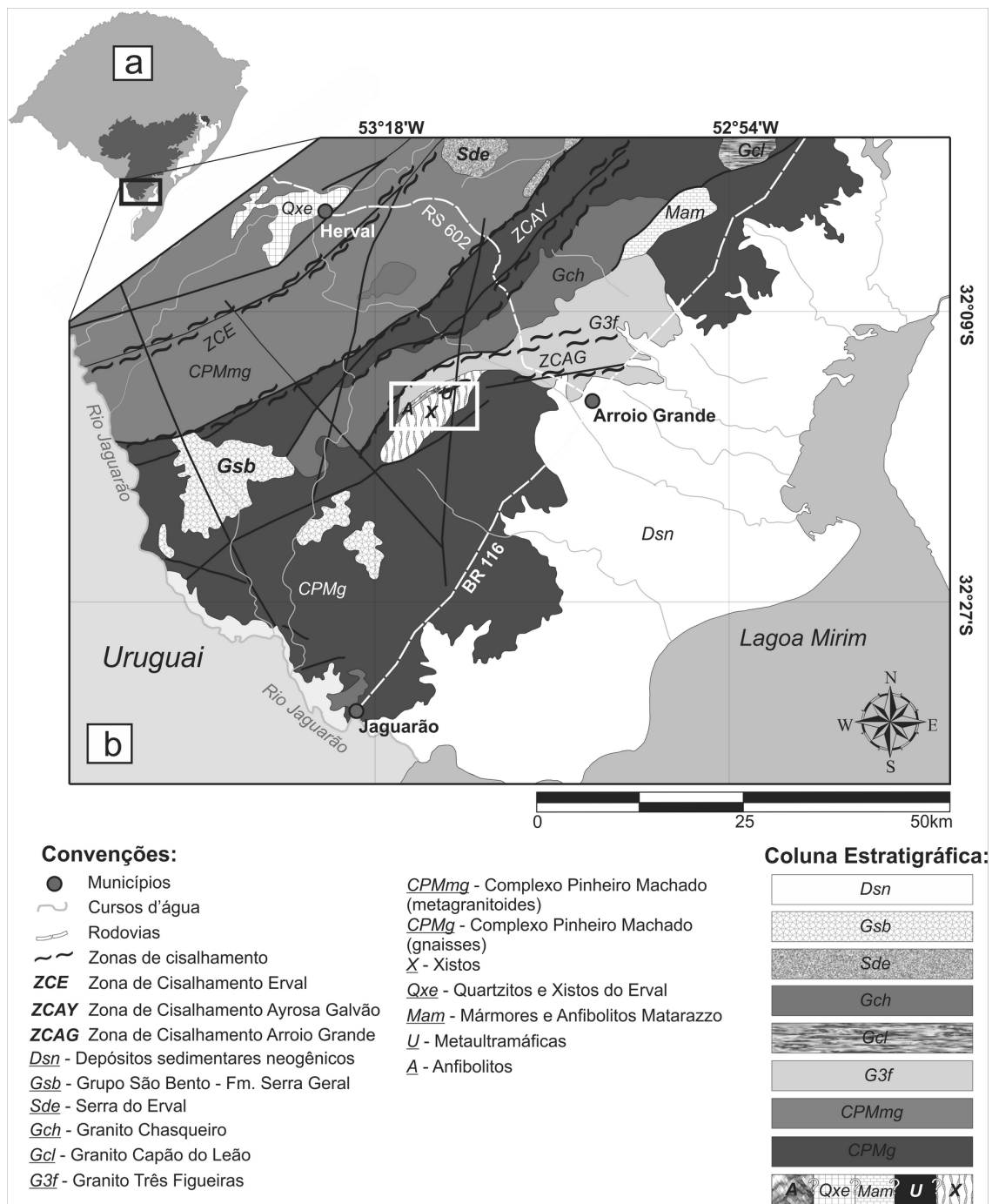


Figura 2. Mapa geológico da região de Arroio Grande, Herval e Jaguarão. A) Mapa do Rio Grande do Sul, destacando a região do Escudo Sul-rio-grandense em cinza escuro; B) Mapa geológico da região de Arroio Grande (modificado de Wildner *et al.*, 2005) indicando a área estudada neste trabalho (retângulo branco) e correspondente à figura 3A. Zonas de cisalhamento modificadas de Philipp (1998).

magnesianos e pelíticos descrita em Ramos (2011) e, até então desconhecida, foi classificada como pertencente à unidade Septos do Embasamento. Nesta região, o Complexo Pinheiro Machado é representado por granitoides cinzentos equigranulares a porfíricos de composição predominantemente granodiorítica, com idades U-Pb em zircão de 610 ± 5 e 612 ± 2 Ma (Babinski *et al.*, 1997) e interpretados como granitoides de margem continental ativa com evolução associada à subducção de crosta oceânica sob margem continental espessada (Philipp *et al.*, 2001).

2.2 Métodos analíticos

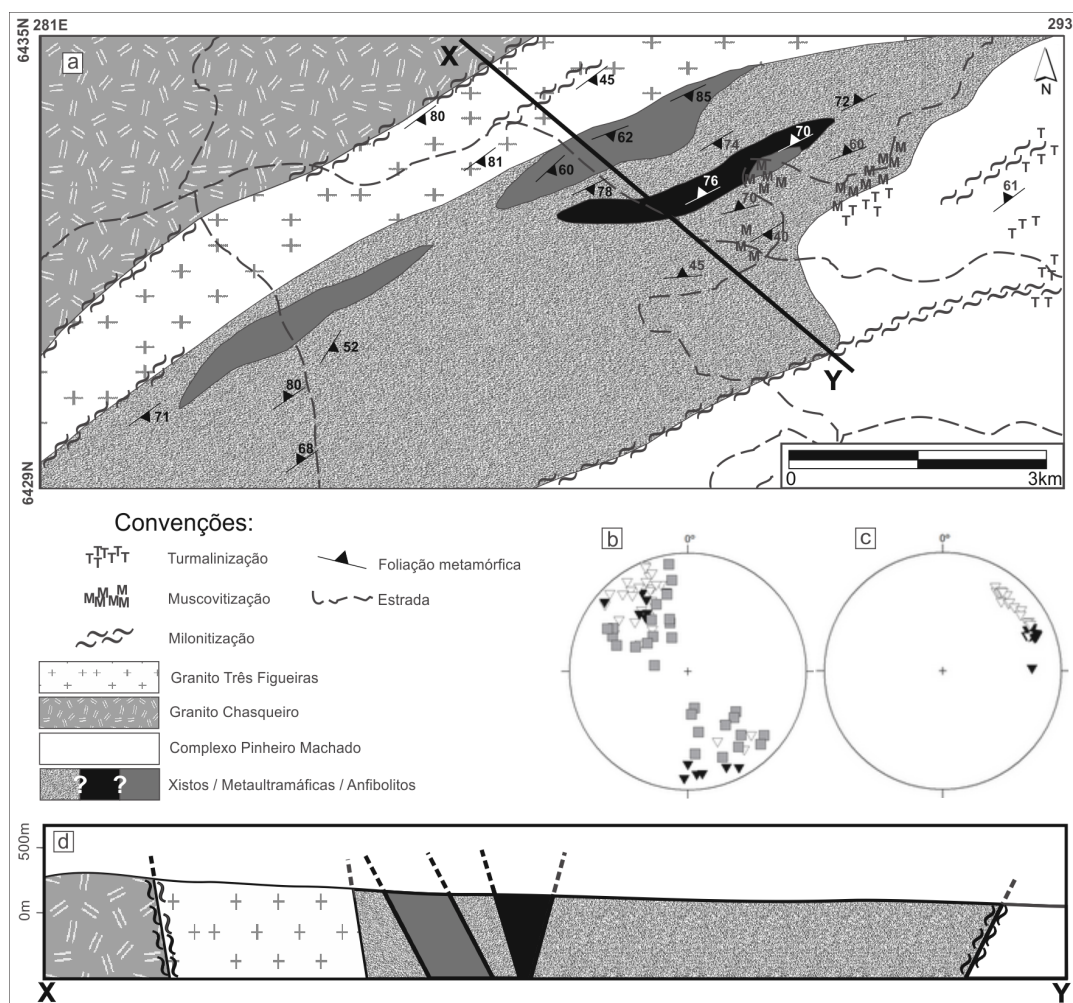
As amostras coletadas em campo foram analisadas através de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia por dispersão de energia (MEV-EDS) e difratometria de raios X. A confecção das lâminas delgadas para análises na microscopia óptica e MEV-EDS e a preparação das amostras para a difratometria de raios X foram feitas no laboratório de apoio analítico e preparação de amostras do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A petrografia foi realizada com auxílio de um microscópio de polarização *Leica®* com câmera fotográfica acoplada. As análises no MEV-EDS foram feitas no Centro de Microscopia Eletrônica do Instituto de Física da UFRGS, utilizando-se microscópio eletrônico *JEOL-JSM 5800®*. As análises de difração de raios X foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raios X (Instituto de Geociências, UFRGS), com auxílio de um difratômetro *SIEMENS-D 5000®*.

3 Resultados

3.1 Contexto geológico local

Na região de estudo, as rochas metamáficas são representadas por ortoanfibolitos, que afloram como corpos métricos a quilométricos, alongados e descontínuos (Fig. 3). O corpo de anfibolito na porção leste encontra-se em contato com as rochas metaultramáficas. O corpo situado a sudoeste encontra-se em contato com mica xistos. O corpo a norte está em contato tectônico com o leucogranito a duas micas Três Figueiras. A figura 4A mostra um aspecto geral de campo da unidade metamáfica.



As rochas metaultramáficas são representadas por serpentinitos, talco xistos, esteatitos, tremolititos e clorititos. Constituem corpos alongados métricos a decamétricos, descontínuos, sendo comum a ocorrência de duas ou até três dessas litologias associadas espacialmente em um mesmo afloramento, com contatos gradacionais e lineações de estiramento subhorizontais. O corpo principal localizado no nordeste da área estudada encontra-se em contato com mica xistos e com um corpo de anfibolito (Fig. 3). As figuras 4B-C mostram aspectos gerais de campo das unidades metaultramáficas.

As rochas metassedimentares da região, representadas por mica xistos intercalados com lentes centimétricas a métricas de quartzito são a litologia mais abundante da área. Os afloramentos constituem coxilhas com centenas de metros de extensão, cuja característica principal é o intenso grau de intemperismo dos mica xistos e o relevo sustentado pelas cristas de quartzito. Os mica xistos são limitados a sul, oeste e leste pelo Complexo Pinheiro Machado, sendo o contato sul de natureza tectônica, balizado por uma zona de cisalhamento. Ao norte os xistos estão em contato tectônico com o Granito Três Figueiras (Fig. 3). A figura 4D mostra um aspecto geral de campo da unidade metassedimentar.

Na porção noroeste da área de estudo aflora o Granito Chasqueiro, um corpo granítico com aproximadamente 500 km² composto por rocha cinza clara,

de textura porfirítica grossa contendo fenocristais de feldspato alcalino que variam de 1 a 6 cm em matriz equigranular média a grossa de quartzo, feldspato, biotita ± hornblenda. O granito Chasqueiro se encontra em contato com o granito Três Figueiras em suas porções nordeste e sudeste. No contato entre ambos são encontradas frequentemente porções com textura protomilonítica marcada pelo estiramento e deformação dos fenocristais de K-feldspato do granito Chasqueiro.

A região é afetada por uma zona de cisalhamento de direção N50-80°E a E-W e condições dúcteis de alta temperatura, denominada de Zona de Cisalhamento Arroio Grande (Machado *et al.*, 1995), responsável pela milonitização e forma alongada das litologias presentes na área de estudo. Ao longo desta zona de cisalhamento ocorre intensa muscovitização e turmalinização, relacionadas com o posicionamento do Granito Três Figueiras (Ramos, 2011). Os hidrotermalitos encontrados (muscovititos e turmalinitos) cortam litologias do Complexo Pinheiro Machado e também os mica xistos da região. Os muscovititos formam veios de dimensões métricas a decamétricas de rocha monomineralica formada por muscovita, com cristais de até 5 cm. Os turmalinitos são encontrados nas formas maciças e estratiformes, constituindo corpos métricos alongados e descontínuos, com espessuras centimétricas a métricas, formados por 50 a 90 % de turmalina negra de granulação fina a média e o restante de quartzo ± muscovita e/ou biotita.



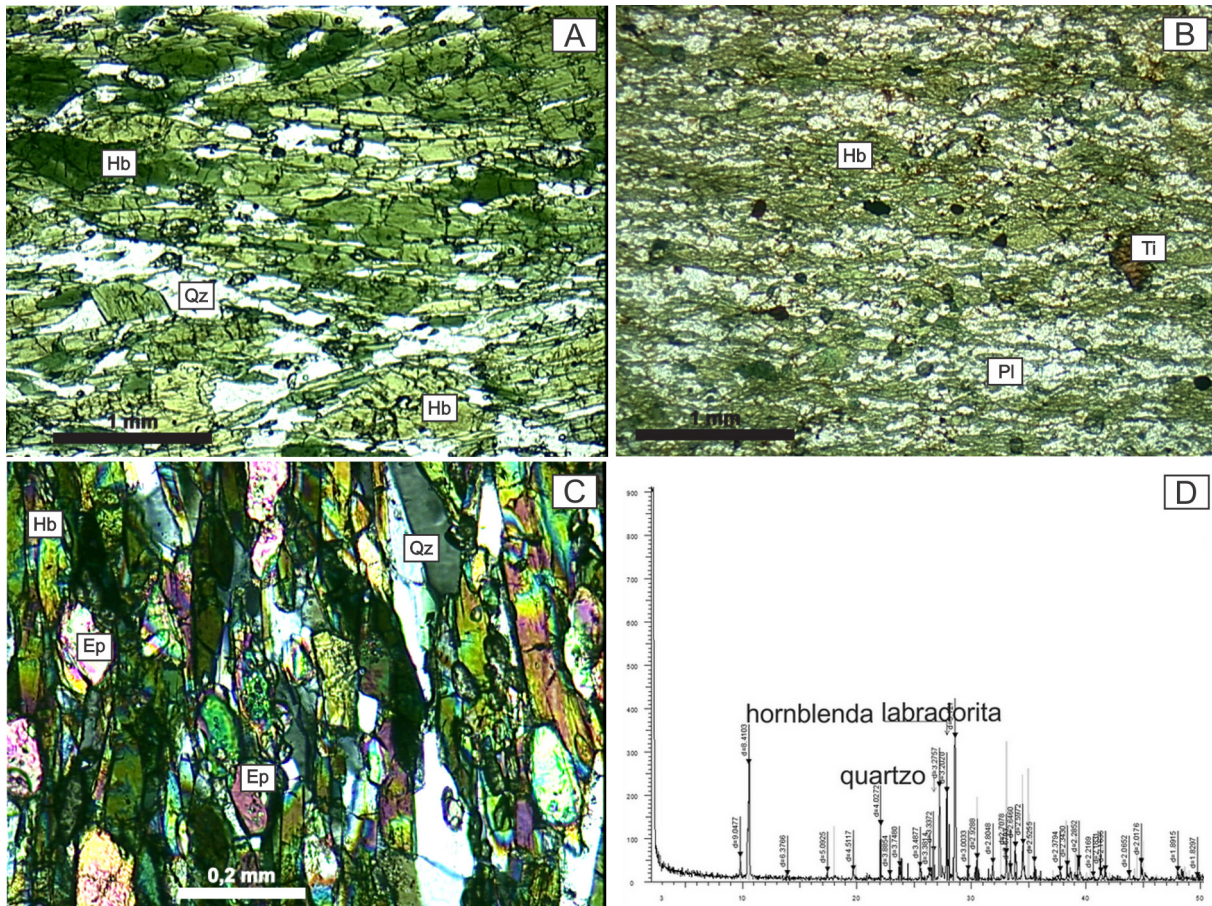
Figura 4. Principais afloramentos das unidades estudadas. A) Afloramento PU-2, epidoto anfibolitos (UTM 6.433.538 N / 289.544 E, fuso 22)]; B) Afloramento PU-3, metassomatitos (UTM 6.433.610 N / 289.779 E), contendo três rochas metaultramáficas em contato difuso (1 - tremolitito, 2 - cloritito, 3 - esteatito); C) Afloramento PU-1, bloco de esteatito (as faces retas foram cortadas com serrote de mão para uso da rocha em artesanato) (UTM 6.433.454 N / 289.285 E); D) Afloramento PU-34, mica xistos (UTM 6.430.983 N / 284.245 E).

3.2 Caracterização das unidades

3.2.1 Rochas metamáficas

Epidoto Anfibolitos - A olho nu foram identificados minerais prismáticos milimétricos de cor verde escura a preta, formando textura nematoblástica, além da presença de bandas milimétricas, irregulares e descontínuas de minerais de coloração esbranquiçada. Com o auxílio de lupa é possível identificar anfibólio prismático e plagioclásio. Ao microscópio apresentam mineralogia composta por hornblenda (~ 55 %), plagioclásio

(~ 20 %), quartzo (5 – 10 %), epidoto (10 – 15 %) e como acessórios, apatita, titanita e opacos (Fig. 5, tab. 1). Os minerais apresentam granulação fina, forma anédrica a subédrica e orientação preferencial marcada pelos cristais prismáticos alongados de hornblenda e epidoto. O epidoto tem granulação fina a média, grãos predominantemente anédricos. O quartzo encontra-se recristalizado. Os grãos de hornblenda e de epidoto formam bandas máficas. O difratograma de rocha total da figura 5D mostra picos compatíveis com hornblenda, quartzo e plagioclásio, confirmando a presença destes minerais vistos em lâmina delgada.



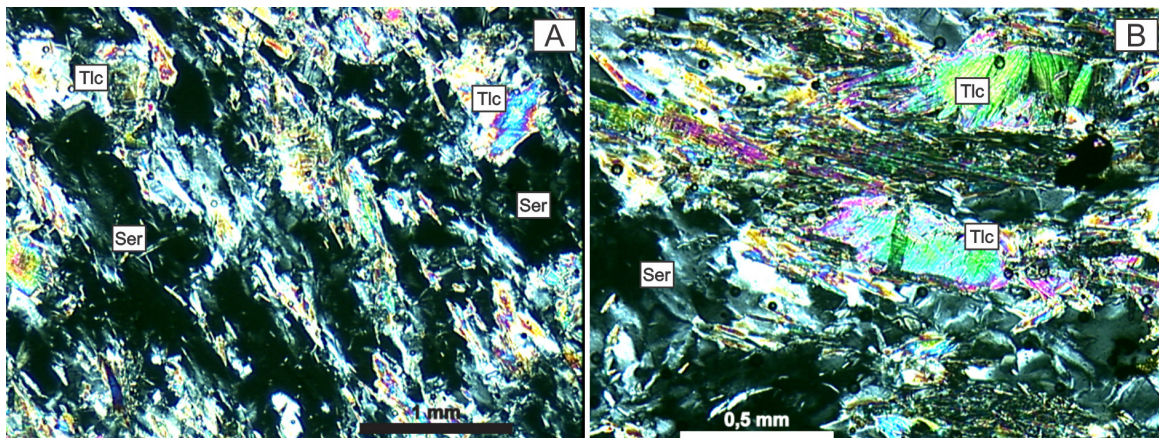


Figura 6. Fotomicrografias dos serpentinitos. A) Aspecto geral da lâmina PU - 1B em nicóis cruzados; B) Detalhe dos grãos de talco presentes na lâmina PU - 1B, nicóis cruzados. Abreviações: Ser = serpentina; Tlc = talco.

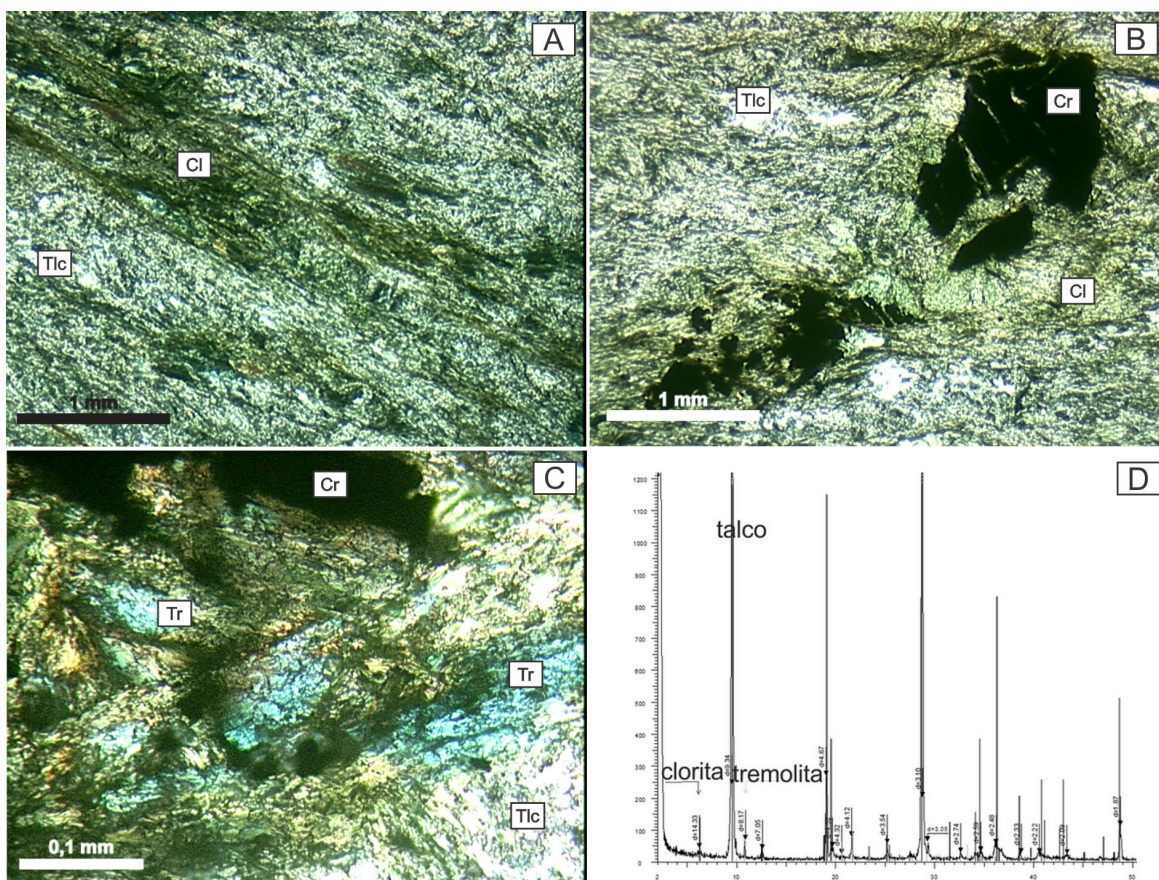


Figura 7. Fotomicrografias da amostra PU - 3B. A) Aspecto geral da amostra, mostrando massas de talco ± serpentina e clorita, com granulação muito fina e massas de talco, tremolita e clorita de granulação fina, em nicóis cruzados; B) Grãos de cromita (opacos) envoltos pela massa de talco, tremolita e clorita, em nicóis cruzados; C) Detalhe de grãos de tremolita e cromita em nicóis cruzados; D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3B. Abreviações: Cr = cromita, Cl = clorita, Tr = tremolita, Tlc = talco.

Tremolititos – Macroscopicamente apresentam cor verde em amostras sãs e cor alaranjada quando alterados. A olho nu, foram identificados cristais centimétricos prismáticos e fibrorradiais de tremolita e, em algumas porções da rocha, agregados de clorita com granulação fina a média. Ao microscópio, mostram mineralogia composta por tremolita (~ 90 %), clorita, talco e opacos (Fig. 8, tab. 1). A tremolita forma megacristais subédricos alongados. Talco e clorita ocorrem em meio às fraturas e contatos nos grãos de tremolita. Com auxílio de MEV-EDS (Fig. 8C) foram identificados

Cr e Fe na composição dos opacos (cromitas). O difratograma de rocha total da figura 8D mostra picos correspondentes à apatita, calcita e goethita, além dos minerais já encontrados em lâmina delgada. A clorita é do tipo clinocloro.

Clorititos – Macroscopicamente têm cor verde escura a cinza esverdeada. São compostos por massas de clorita fibrosa e lamelar, com granulação fina a média e estrutura maciça. Ao microscópio apresentam mineralogia composta por mais de 95 % de clorita e o restante de serpentina, tremolita e opacos (Fig. 9, tab 1).

Os grãos de clorita apresentam pseudomorfismo, com a forma de grãos de tamanho médio a grosso, anédricos a subédricos, de tremolita. A serpentina ocorre como agregados amorfos de granulação fina entre alguns grãos de clorita. A tremolita tem granulação muito fina

a fina, inclusa em alguns grãos de clorita. Os opacos ocorrem disseminados, com cristais subédricos de granulação fina a média. A difratometria de raios X (Fig. 9D) indica Cr-clorita.

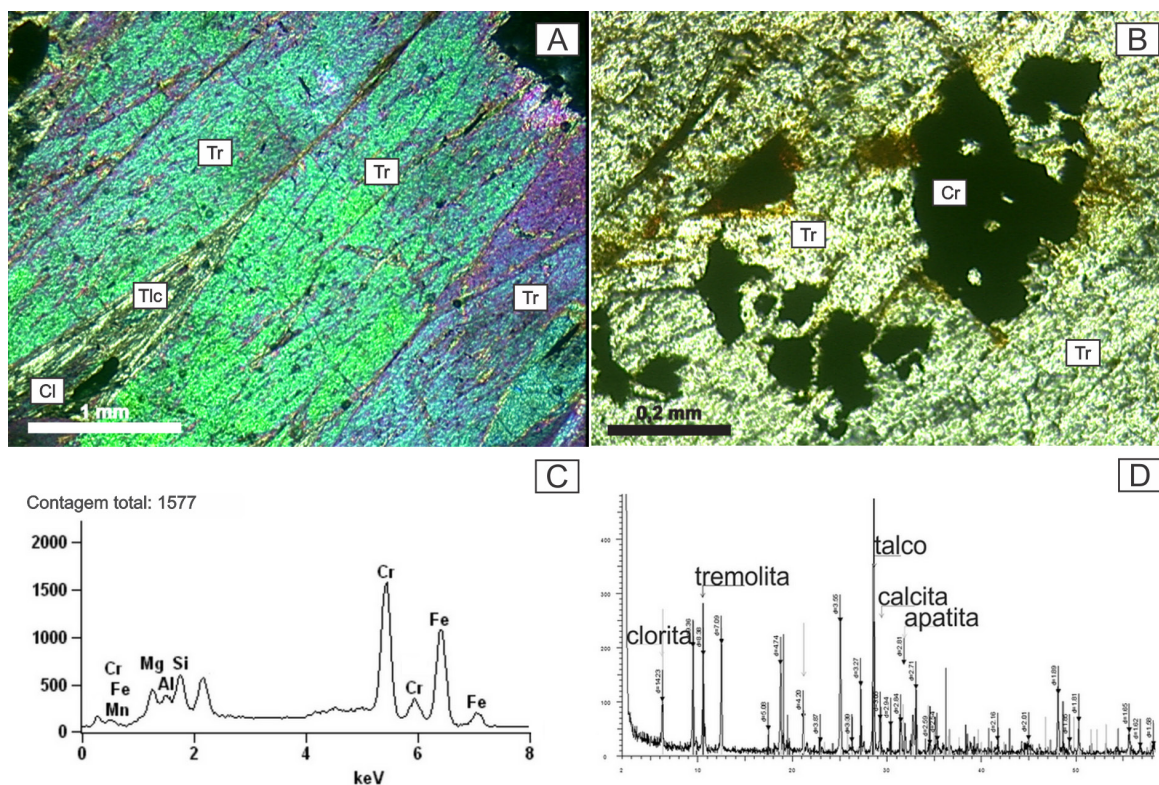


Figura 8. Fotomicrografia da amostra PU - 3A. A) massas de clorita e talco nos contatos entre grãos de tremolita (nicóis cruzados); B) Detalhe dos cumalados de cromita (opacos) encontrados em alguns grãos de tremolita da mesma lâmina (luz polarizada); C) Gráfico da composição química obtida pela análise em MEV-EDS em grão de opaco da lâmina PU-3A; D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3A. Abreviações: Tr = tremolita, Tlc = talco, Cr = cromita, Cl = clorita.

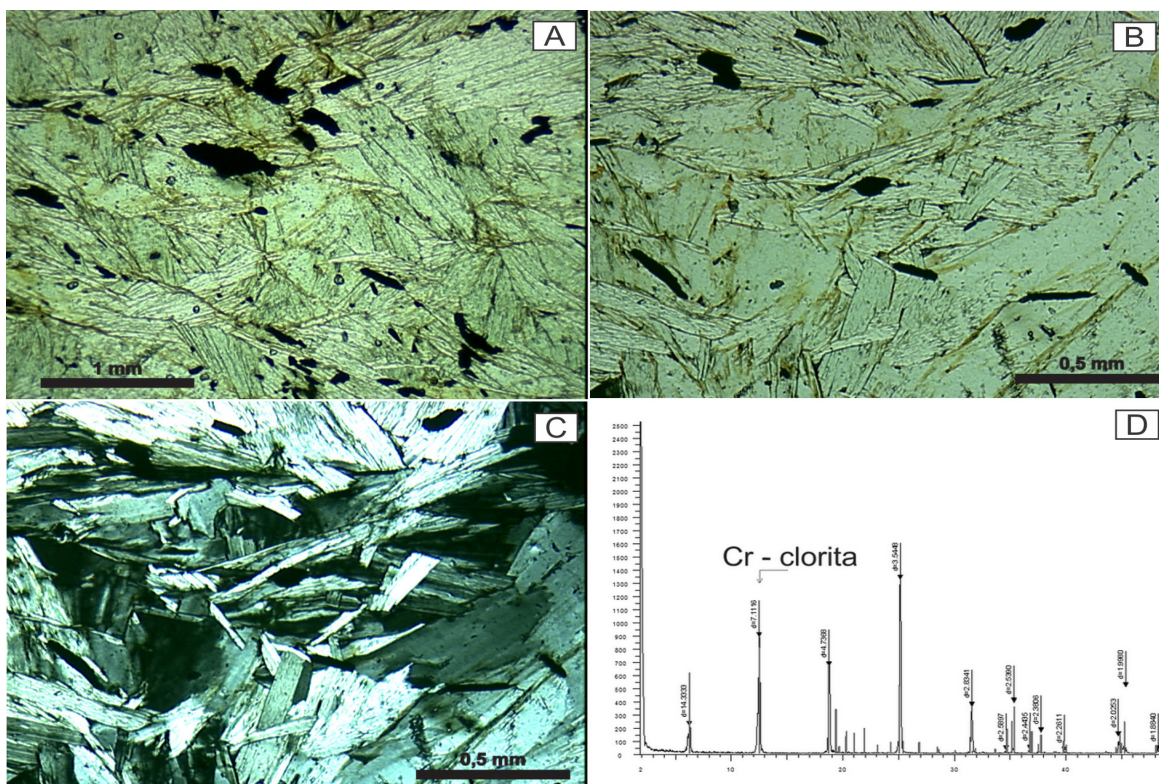


Figura 9. Fotomicrografias da lâmina delgada da amostra PU - 3E. A e B) Aspecto geral da amostra, com grandes cristais de cloritas pseudomórficas sem orientação preferencial e grande quantidade de opacos (cromita) anédricos a subédricos disseminados por toda a amostra (em luz polarizada); C) Imagem em nicóis cruzados da figura B; D) Difratoograma de rocha total da amostra PU - 3E.

3.2.3 Rochas metassedimentares

Mica xistos – Macroscopicamente apresentam coloração marrom avermelhada, sendo possível identificar composição rica em muscovita, além de quartzo, feldspato e biotita subordinada. A muscovita é milimétrica (2 a 7 mm) e encontra-se orientada, com lineação mineral sub-horizontal. A foliação da rocha é marcada por lamelas milimétricas de muscovita e biotita. Ao microscópio foram identificados quartzo, plagioclásio, feldspato, biotita e muscovita (Fig. 10, tab. 1). O quartzo tem granulação muito fina a fina e encontra-se recristalizado. A biotita e a muscovita apresentam gra-

nulação fina e estão orientadas, formando agregados e bandas de segregação mineral. A textura principal da amostra é granoblástica. Localmente os agregados e bandas de micas apresentam textura lepidoblástica. O difratograma de rocha total da figura 10D mostra picos de muscovita, quartzo e albita.

Intercaladas com os xistos são encontradas lentes centimétricas a métricas de quartzito. Os quartzitos foram estudados macroscopicamente, e identificou-se cerca de 80% de quartzo, além de cristais milimétricos de feldspato e muscovita. A textura geral é granoblástica.

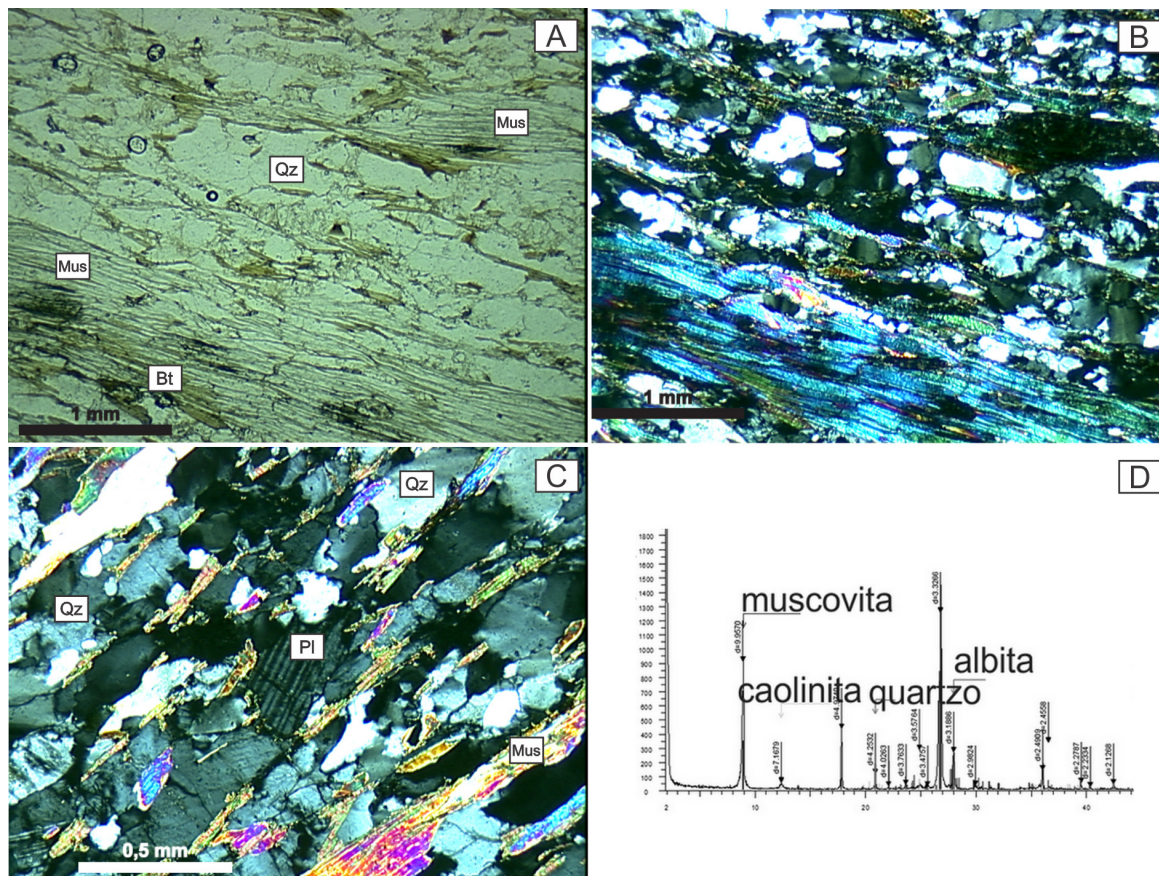


Figura 10. Fotomicrografias da lâmina delgada da amostra PU – 14. A) Aspecto geral da amostra, em luz polarizada, mostrando a orientação preferencial dos minerais e a grande quantidade de micas presente na composição mineralógica da rocha; B) Mesma seção da figura A, em nicóis cruzados; C) Detalhe da amostra em nicóis cruzados; D) Difratograma de rocha total da amostra. Abreviações: Qz = quartzo, Bt = biotita, Mus = muscovita, Pl = plagioclásio.

Tabela 1. Minerais identificados nas rochas estudadas através de petrografia, MEV-EDS e difratometria de raios X.

Minerais Identificados			
Rochas	Petrografia	MEV-EDS	Difratometria de raios X
epidoto anfibolitos	hornblenda (~55%), plagioclásio (~20%), quartzo (5-10%), epidoto (10-15%), apatita, titanita, opacos		hornblenda, labradorita, quartzo
serpentinitos	serpentina (~50%), talco, tremolita, opacos	cromita	
talco xistos	talco (70-80%), tremolita, clorita, opacos	cromita	talco, clorita, tremolita
tremolitos	tremolita (~90%), clorita, talco, opacos	cromita	apatita, calcita, goethita, talco, tremolita, clinocloro (clorita)
clorititos	clorita (95%), serpentina, tremolita, opacos		Cr-clorita
muscovita xistos	quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, biotita, muscovita		muscovita, caolinita, quartzo, albita

4 Discussões

4.1 Metamorfismo dos serpentinitos e anfibolitos

Serpentinitos são produtos da hidratação de olivinas magnesianas e piroxênios presentes em peridotitos (Spear, 1995; Bucher & Frey, 2002). Os protólitos das rochas metaultramáficas estudadas são possivelmente peridotitos do manto litosférico. A serpentinização de peridotitos mantélicos pode ocorrer em centros de expansão de assoalho oceânico de baixa velocidade, na crosta continental, durante formação de cinturões orogênicos, e também no próprio manto. Os serpentinitos se formam em temperaturas que variam desde condições de baixa temperatura presentes na superfície terrestre até temperaturas mais elevadas em eventos hidrotermais (Bucher & Frey, 2002; Guillot & Hattori, 2013; Evans *et al.*, 2013). Com os dados coletados até o momento ainda não é possível afirmar em qual ambiente e em que momento ocorreu a serpentinização dessas rochas: se foram serpentinizadas durante o metamorfismo regional decorrente da interação entre as paleoplacas Kalahari e Río de La Plata, ou se os peridotitos foram alojados já serpentinizados na crosta continental.

Clorititos, tremolititos e talco xistos são rochas tipicamente metassomáticas originadas a partir do metassomatismo de serpentinitos posicionados junto a tipos incompatíveis e contrastantes de rochas como, por exemplo, granitos e gnaisses (Brady, 1977; Strieder, 1992; Hartmann & Remus, 2000). Em Arroio Grande, as reações metassomáticas podem ter ocorrido entre serpentinitos e litologias do Complexo Pinheiro Machado e/ou também o granito Três Figueiras, gerando desequilíbrios químicos durante o metamorfismo regional atuante naquela porção crustal, formando zonas minerais de reação (Brady, 1977; Bucher & Frey, 2002; Vernon & Clarke, 2008) e conseqüentemente as diferentes rochas metassomáticas encontradas junto aos serpentinitos como resposta a esse desequilíbrio. No Escudo Sul-rio-grandense, há ocorrência de metassomatitos semelhantes (clorititos, tremolititos e talco xistos) localizados no Ofiolito Cerro Mantiqueiras (Hartmann & Remus, 2000) formados a partir de protólito harzburgítico.

Assembleias minerais contendo tremolita, talco, clorita e cromita indicam condições de metamorfismo na fácies anfibolito para rochas ultramáficas (Spear, 1995). Nos anfibolitos de Arroio Grande são também encontradas paragêneses que indicam metamorfismo na fácies anfibolito, pela presença de plagioclásio + hornblenda + quartzo + epidoto (Bucher & Frey, 2002). Os protólitos dos anfibolitos provavelmente são rochas básicas, como basaltos e gabros.

4.2 Rochas metassedimentares associadas

Os mica xistos e quartzitos de Arroio Grande são, à primeira vista, semelhantes macroscópica e geomorfo-

logicamente à intercalação de xistos intensamente alterados e quartzitos encontrados a oeste do município de Herval. Essas litologias foram primeiramente descritas por UFRGS (1972) como sendo representantes de uma seqüência metamórfica de baixo grau pertencente ao Grupo Porongos. Essa seqüência de rochas metassedimentares supracrustais foi posteriormente descrita por Fragozo César *et al.* (1986), sendo denominada de Quartzitos e Xistos do Herval. Entretanto, essas rochas nunca passaram por um estudo detalhado, sendo apenas descritas macroscopicamente.

Conforme Hartmann *et al.* (2000), os xistos de Herval podem corresponder a fragmentos de uma unidade maior, anterior à formação do Complexo Pinheiro Machado, sendo essa unidade maior possivelmente o Complexo Porongos. Philipp & Machado (2002) também apontam similaridades composicionais, estruturais e metamórficas dos Quartzitos e Xistos do Herval com rochas do Complexo Porongos. São ainda necessários estudos comparativos entre os xistos de Arroio Grande, Quartzitos e Xistos do Herval e metassedimentares do Complexo Porongos para esclarecer suas semelhanças e diferenças petrológicas, além da proveniência dos sedimentos.

As outras rochas metassedimentares encontradas na região são os Mármore e Anfibolitos Vilas Matarazzo e Pedreiras, localizados 20 km a nordeste de Arroio Grande. Conforme Philipp & Machado (2002) essas rochas correspondem a intercalações de mármore, rochas calcissilicáticas e para-anfibolitos, cortadas por injeções graníticas ocorridas em condições de epizona. As paragêneses de metamorfismo nas rochas metassedimentares correspondem à fácies anfibolito.

4.3 A hipótese do ofiolito

Associações de rochas metaultramáficas semelhantes às aqui investigadas foram estudadas em outras regiões do Brasil e classificadas como pertencentes a associações do tipo *greenstone belt* (*e.g.* Lamim/MG, Jordt-Evangelista & da Silva, 2005) e também a complexos ofiolíticos (*e.g.* Abadiânia/GO, Strieder & Nelson, 1992 e Lavras do Sul/RS, Hartmann & Remus, 2000). As rochas da região de Arroio Grande podem representar fragmentos de um complexo ofiolítico, principalmente em virtude da associação geológica presente nesta área conter rochas ultramáficas relacionadas espacialmente a rochas interpretadas como de arcos magmáticos (Complexo Pinheiro Machado, Philipp *et al.*, 2001), anfibolitos (metabasaltos) e rochas metassedimentares clásticas (mica xistos) e químicas (Mármore Vila Matarazzo).

Conforme Kusky *et al.* (2011), ofiolitos são uma associação distintiva de rochas formadas em uma variedade de ambientes geotectônicos como centros de expansão do assoalho oceânico, bacias de *back arc*, *forearcs*, arcos e outros ambientes extensionais e convergentes. As variações entre os diferentes ofiolitos

são tão significantes quanto às suas similaridades, sendo difícil definir uma sucessão-tipo para ofiolitos. De acordo com o ambiente tectônico, diferentes tipos de sequências de rochas presentes nos ofiolitos se formam, conforme alguns exemplos mostrados na figura 11. Sequências ofiolíticas pré-cambrianas de maneira geral são incompletas e intensamente deformadas e retrabalhadas, dificultando ainda mais o seu estudo e compreensão.

Em Arroio Grande, as rochas metaultramáficas podem representar fragmentos de serpentinitos cujo protólito são ultramáficas pertencentes a um complexo ofiolítico. As metamáficas podem representar fragmentos metamorfizados das rochas básicas de ofiolitos. Já as rochas metassedimentares podem representar fragmentos metamorfizados de rochas sedimentares clásticas e químicas pertencentes às camadas mais superiores de uma sequência ofiolítica (Fig. 12).

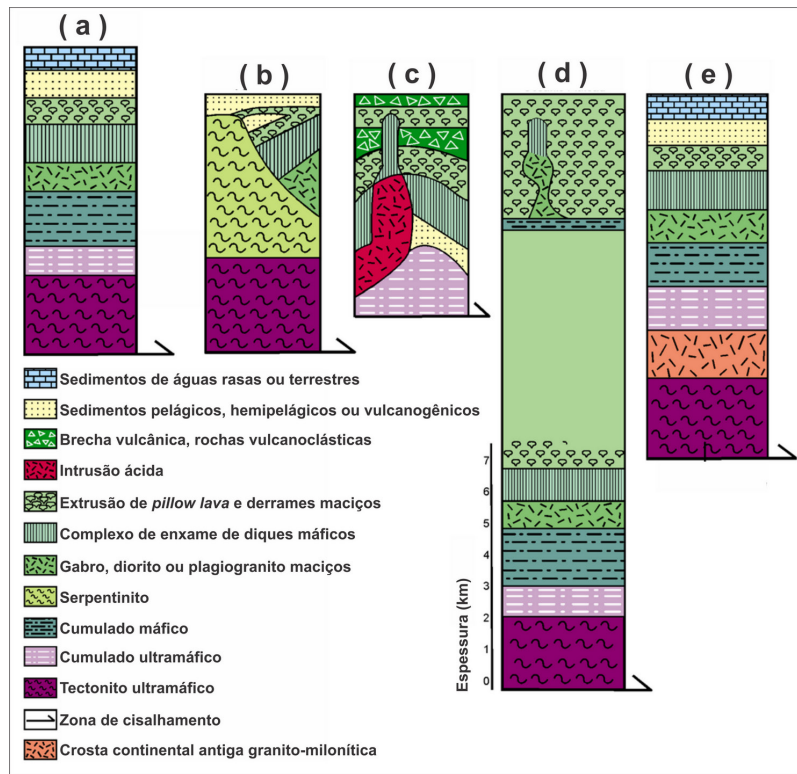


Figura 11. Seções magmatoestratigráficas simplificadas de alguns tipos de sequências ofiolíticas de acordo com determinado ambiente tectônico. A) Cordilheira meso-oceânica de rápida expansão; B) Sistema de lenta expansão, onde a extensão tectônica é mais rápida do que a ascensão do magma ao assoalho oceânico, resultando em uma crosta oceânica altamente falhada e atenuada; C) Intra-arco; D) Platô oceânico de *hot spot*; E) Ofiolitos transicionais ou de margem continental, formados na transição de margens continentais rifteadas para centros de expansão de assoalho oceânico, nos estágios iniciais da abertura de um oceano (modificado de Kusky *et al.*, 2011).

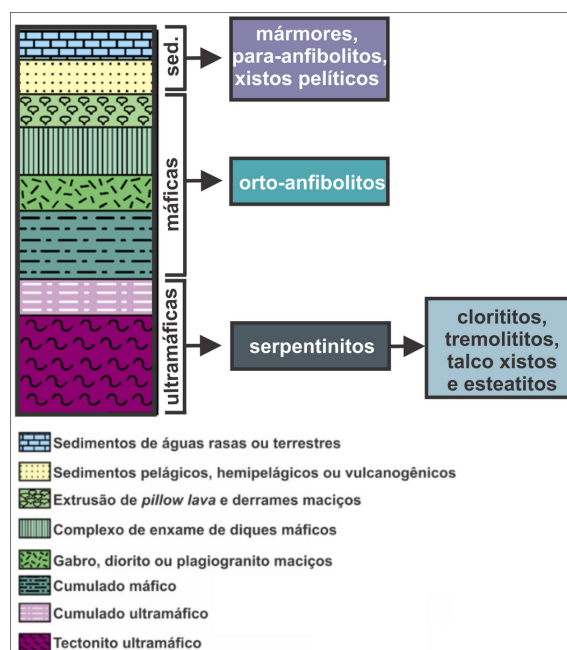


Figura 12. Esquema mostrando as rochas metamáficas, metaultramáficas e metassedimentares da região de Arroio Grande aplicadas à hipótese de transformação metamórfica/metassomática das rochas de um complexo ofiolítico. Abreviação: sed. = sedimentares. Coluna e legendas do ofiolito adaptadas de Kusky *et al.* (2011).

4.4 Correlação com o Complexo Ofiolítico La Tuna, NE do Uruguai

Conforme Peel *et al.* (2009), existe, na região nordeste do Uruguai, uma associação de anfíbolitos e serpentinitos em meio a mica xistos, denominada de Complexo Ofiolítico La Tuna. Esse complexo, descrito anteriormente por Bossi & Navarro (1988) como sendo um maciço predominantemente serpentinitico com cromita e bandas tremolíticas, indicativas de ambiente fortemente magnésiano, é constituído por rochas máficas e ultramáficas altamente tectonizadas, incluindo serpentinitos, anfíbolitos e metabasaltos (Peel *et al.*, 2009). Em contato com as rochas máficas-ultramáficas se encontram mica xistos e quartzitos. Os serpentinitos apresentam, como minerais acessórios, magnetita e cromita. Os anfíbolitos têm coloração verde escura e granulação fina a média, e estão geralmente associados aos serpentinitos. Os metabasaltos ocorrem como rochas afaníticas de cor verde acinzentada com textura maciça ou fracamente foliada, geralmente transformados em clorita xistos ou tremolita-actinolita xistos (Peel *et al.*, 2009). O metamorfismo do Complexo La Tuna é de fácies xisto verde a anfíbolito inferior, e o complexo é cortado por zonas de cisalhamento de direção E-W e W-NW. Para esses autores, o Complexo La Tuna pode representar fragmentos de um assoalho oceânico destruído em algum estágio durante a amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental.

O conjunto de rochas encontrado em Arroio Grande poderia representar a continuação, em território brasileiro, do Complexo La Tuna. A associação de rochas descritas no Uruguai é muito semelhante à que se encontra em Arroio Grande, tanto nas litologias e presença de cromita disseminada como no fato de ambos os complexos estarem encaixados em zona de cisalhamento dúcteis. Futuros estudos poderão confirmar ou desmentir a hipótese de uma origem em complexos ofiolíticos para as rochas estudadas em Arroio Grande, porém, com as informações coletadas até o presente, a partir das ferramentas utilizadas neste trabalho, esta parece ser a hipótese mais apropriada para a origem e evolução dessas rochas.

5 Conclusões

A partir do estudo das rochas metamáficas, metultramáficas e metassedimentares encontradas na região de Arroio Grande foi possível identificar orto-anfíbolitos, serpentinitos cromíferos e seus produtos metassomáticos (talco xistos, esteatitos, tremolitos e clorititos), além de mica xistos. Através de petrografia, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X, foi possível identificar assembleias minerais que indicam condições metamórficas de fácies epidoto-anfíbolito para os orto-anfíbolitos e de fácies anfíbolito para os metassomatitos.

As rochas metamáficas-ultramáficas foram in-

terpretadas como fragmentos metamorfizados de um complexo ofiolítico, ou seja, remanescentes de uma placa oceânica que foi obductada e que, juntamente com sedimentos carbonáticos (Mármore Matarazzo) e terrígenos (mica xistos), foram intercalados tectonicamente a granitoides, provavelmente de arco magmático relacionado à subducção de crosta oceânica sob margem continental (Complexo Pinheiro Machado).

A colisão de duas paleoplacas, possivelmente Kalahari e Río de La Plata, foi responsável pela geração de eventos tectonomagmáticos do paleocontinente Gondwana Ocidental no Neoproterozoico. Após e/ou concomitante à colisão dessas paleoplacas, eventos deformacionais foram responsáveis pela formação de zonas de cisalhamento dúcteis a dúctil-rúpteis que afetaram o Cinturão Dom Feliciano, gerando magmatismo granítico relacionado à formação de zonas de cisalhamento sub-verticais com direção preferencial NE-SW. Neste contexto ocorreu o posicionamento do Granito Três Figueiras ao longo da Zona de Cisalhamento Arroio Grande, com geração dos hidrotermalitos que cortam os mica xistos e os granitoides do Complexo Pinheiro Machado.

As rochas estudadas em Arroio Grande podem representar a continuação, em território brasileiro, do Complexo La Tuna, encontrado no nordeste do Uruguai e interpretado como fragmentos remanescentes de uma crosta oceânica obductada nos estágios finais das colagens orogênicas relacionadas ao paleocontinente Gondwana Ocidental.

Agradecimentos - À Renata da Silva Schmitt (Instituto de Geociências, UFRJ) pelas críticas e sugestões na revisão do manuscrito, André Neves (Mineração Visconde de Mauá) pela permissão de acesso a propriedades e indicação de afloramentos, PPGGEO/UFRGS e CAPES pela bolsa de mestrado ao primeiro autor, FAPERGS (processo PqG 10/1509-0) e CNPq (processo PQ 305853/2010-4) pelo apoio de infraestrutura e financiamento do projeto.

Referências

- Babinski, M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A. & Silva, L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3/4): 263-274.
- Bitencourt, M.F. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1, 1983, Porto Alegre. *Atas...* Porto Alegre, SBG, p. 37-48.
- Bossi, J. & Navarro, R. 1988. Serpentinitas cromíferas pre-orogênicas en el Ciclo Orogénico Moderno de Uruguay. *6º Panel de Geología del Litoral y 1ª Reunión de Geología del Uruguay*. Salto, Uruguay, p.91-95.
- Brady, J.B. 1977. Metasomatic zones in metamorphic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41: 113-125.
- Bucher, K. & Frey, M. 2002. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Berlim, Springer, 318p.
- Chemale Jr., F. 1982. *Geologia da região de Palma, São Ga-*

- briel, Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 136p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Costa, A.F.U. 1997. *Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense*. Porto Alegre, 291p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Evans, B.W., Hattori, K. & Baronnet, A. 2013. Serpentinite: what, why, where? *Elements*, 9: 99-106.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384.
- Fragoso César, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr., E. & Facini, U.F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/ Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. *Anais...* Goiânia, SBG, v. 3, p. 1322-1343.
- Garcia, M.A.M. 1981. *Petrologia do Complexo Palma, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 133p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Guillot, S. & Hattori, K. 2013. Serpentinites: essential roles in geodynamics, arc volcanism, sustainable development, and the origin of life. *Elements*, 9: 95-98.
- Hartmann, L.A. & Remus, M.V.D. 2000. Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, p. 53-78.
- Hartmann, L.A., Porcher, C.C. & Remus, M.V.D. 2000. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/UFRGS, p. 79-118.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C. & Trouw, R.A.J. 2004. A Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). *O desvendado de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, p. 203-234.
- Jordt-Evangelista, H. & da Silva, M.E. 2005. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólitos da pedrasabão. *Revista Escola de Minas*, 58(1): 11-20.
- Jost, H. & Hartmann, L.A. 1979. Rodingitos do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, 3(6): 77-91.
- Jost, H. & Hartmann, L.A. 1984. Província Mantiqueira – Setor Meridional. In: Almeida, F.F.M & Hasui, Y. (Eds.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, ed. Edgard Blücher, p. 345-367.
- Kusky, T.M., Wang, L., Dilek, Y., Robinson, P., Peng, S. & Huang, X. 2011. Application of the modern ophiolite concept with special reference to Precambrian ophiolites. *Science China, Earth Sciences*, 54(3): 315-341.
- Machado, R., Philipp, R.P. & Mello, F. 1995. Reconhecimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito Pelotas, RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, Gramado, *Resumos Expandidos*, p. 52-53, Gramado, RS.
- Masquelin, H., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Porcher, C.C. & McNaughton, N.J. 2012. The Cerro Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International Geology Review*, 54: 1161-1183.
- Naumann, M.P. 1985. *O complexo vulcano-sedimentar-ultramáfico e granitóides da região de Ibaré/RS*. Porto Alegre, 161p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Peel, E., Basei, M. & Sanchez Bettucci, L. 2009. La Tuna Complex: a possible Neoproterozoic ophiolite. In: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION JOINT ASSEMBLY, 2009, *Resumos*, Toronto, Canadá,
- Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Philipp, R.P. & Machado, R. 2002. Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 29(1): 43-57.
- Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2001. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.
- Ramos, R.C. 2011. *Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, RS*. Porto Alegre, 94p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rego, I.T.S.F. 1981. *Complexo básico-ultrabásico de Pedras Pretas, RS: aspectos petrológicos e geoquímicos*. Porto Alegre, 98p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Remus, M.V.D. 1990. *Geologia e geoquímica do Complexo Cambaizinho, São Gabriel-RS*. Porto Alegre, 267p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, E.L., Azevedo, G.C., Maciel, L.A.C., Mossmann, R. & Remus, M.V.D. 1990. Mapeamento geológico de sequências metavulcano-sedimentares do oeste do escudo Sul-rio-grandense, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal, SBG, v. 6, p. 2976-2990.
- Spear, F.S. 1995. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America, 799p.
- Strieder, A.J., 1992. Serpentinização e metassomatismo em rochas ultramáficas: discussão das características e recomendações para o tratamento geoquímico. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 329-337.
- Strieder, A.J. & Nelson, A.A. 1992. Estudo petrológico de alguns fragmentos tectônicos da mélanges ofiolítica em Abadiânia (GO): I – o protólito dos corpos de serpentinito. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 338-352.
- UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1972. *Geologia das Folhas Arroio Grande, Erval, Basílio e Cêrro Chato*. Porto Alegre. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vernon, R.H. & Clarke, G.L. 2008. *Principles of metamorphic petrology*. Cambridge University Press, 446p.
- Villwock, J.A. & Loss, E.L. 1970. Um novo tipo de complexo

- básico-ultrabásico na faixa serpentínica do Pré-Cambriano do Rio Grande do Sul. *Notas e Estudos da Escola de Geologia*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2(1): 15-22.
- Wildner, W. 1990. *Caracterização geológica e geoquímica das sequências ultramáfica e vulcano-sedimentares da região de Bossoroca, RS*. Porto Alegre, 170p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2005. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.
- Zarpelon, P.R. 1986. *Geologia estrutural, estratigrafia e petrologia de uma parte do greenstone belt Cerrito do Ouro, município de São Sepé, RS*. Porto Alegre, 203p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Manuscrito 507.

Editores: Lauro Nardi e Maria de Fátima Bitencourt.