

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

RELATÓRIO DE VIAGEM AO EXTERIOR

SAGUENAY – QUEBEC, CANADÁ



**DOCTORADO SANDUICHE NO CANADÁ
UNIVERSIDADE DO QUEBEC EM CHICOUTIMI**
Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)

Mauricio Pavan Silva (Matrícula 89.107.041)

**Gerência de Geologia e Recursos Minerais – GEREMI
Superintendência Regional de São Paulo**

2015-2016

Sumário

Agradecimentos	3
Introdução	4
1. Objetivos da Viagem	5
2. Programa da Viagem	6
2.1. Canadá	6
2.2. Província do Quebec.....	7
2.3. Cidade de Saguenay	7
3. Descrição das atividades desenvolvidas	8
3.1. Caracterização de feições de fusão parcial em lâminas delgadas.....	9
3.2. Análise de elementos traços em minerais	12
3.3. Análise de elementos traços e geocronologia	13
3.4. Análises com micro-fluorescência de raios-X (μ FRX)	14
3.5. Modelagem metamórfica.....	17
4. Conclusões	18
5. Produção bibliográfica	18
6. Atividades extra-curriculares	18
7. Financiamento	19
8. Referências Bibliográficas	19
9. ANEXOS	20
9.1 Parecer do Orientador Brasileiro	20
9.2 Parecer do Orientador Estrangeiro	21

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os meus colegas e superiores da CPRM - Serviço Geológico do Brasil, pois o meu doutorado e minha ida ao Canadá só foram possíveis devido à colaboração e à confiança de todos. Um especial obrigado aos funcionários da Gerência de Geologia e Recursos Minerais (GEREMI) da Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP), Elizete Domingues Salvador (Gerente da GEREMI-SP), José Carlos Garcia Ferreira (Superintendente da SUREG-SP), Natanael Costa Aragão (Departamento Financeiro – Brasília/DF), a Dra Maria Glícia da Nóbrega Coutinho (Chefe da Assessoria de Assuntos Internacionais), Dr. Luiz Carlos da Silva (Chefe da Comissão Técnico-Científica) e Dr. Roberto Ventura dos Santos (Diretor de Geologia e Recursos Minerais) e ao Dr. Manoel Barretto.

Agradeço também a toda à equipe e colegas do Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP, em especial ao meu orientador de tese de doutorado e atual coordenador do programa, Prof. Dr. Renato de Moraes. A toda equipe do Grupo de Pesquisa em Recursos Minerais da Université du Québec à Chicoutimi, em especial meu co-orientador Dr. Edward W. Sawyer cuja dedicação à pesquisa, paciência e confiança em meu trabalho permitiu um grande avanço em meu conhecimento científico. Faço um agradecimento especial ao corpo técnico do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e do Programa Ciências Sem Fronteiras (CsF) por todo suporte logístico e financeiro concedido.

INTRODUÇÃO

Em virtude da autorização pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil para a realização de meu projeto de doutoramento pelo programa de pós-graduação em Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP (Universidade de São Paulo), no período de setembro de 2015 até agosto de 2016 participei do Programa Ciências Sem Fronteiras do Governo Federal (processo 206521/2014-6), administrado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através de uma bolsa de Doutorado Sanduíche no Exterior - SWE.

O doutorado sanduíche foi realizado na Universidade do Québec em Chicoutimi (*Université du Québec à Chicoutimi - UQAC*), na cidade de Saguenay - Província do Québec, Canadá. Os trabalhos foram supervisionados pelo Professor Edward W. Sawyer, pesquisador e professor vinculado ao Departamento de Ciências Aplicadas (*Département des Sciences Appliquées*) desta universidade. O financiamento da viagem, que contou com passagens de ida e volta, auxílio instalação, seguro saúde e bolsa mensal em dólares canadenses foi feito pelo CNPq através do Programa Ciências Sem Fronteiras. A CPRM contribuiu com ônus parcial, correspondendo ao pagamento do salário mensal durante o período em questão.

O professor Edward W. Sawyer é referência mundial no tema fusão parcial, retrabalhamento crustal e no estudo de migmatitos. Seus trabalhos têm contribuído no estudo de processos de fusão parcial em rochas da crosta, com ênfase na interpretação das feições petrográficas e estruturais em escala macro e microscópicas e estudos de química mineral e rocha total.

1. OBJETIVOS DA VIAGEM

As atividades desenvolvidas durante o estágio contemplaram:

- (i) caracterização petrográfica de feições relacionadas a processo de fusão parcial decorrente de metamorfismo de alto grau;
- (ii) análises químicas pontuais em minerais para determinação da concentração de elementos traços através de ablação a laser associado a espectrômetro de massa acoplado a plasma induzido (LA-ICP-MS);
- (iii) datação geocronológica “*in-situ*” dos minerais monazita e zircão através de ablação a laser associado a espectrômetro de massa acoplado a plasma induzido (LA-ICP-MS);
- (iv) modelamento metamórfico das rochas estudadas através do programa THERMOCALC;
- (v) intercâmbio cultural, com ênfase na abordagem científica de problemas geológicos

2. PROGRAMA DA VIAGEM

2.1. CANADÁ

O Canadá é o maior país do continente Americano, com cerca de 10 milhões de quilômetros quadrados e população de aproximadamente 36 milhões (segundo dados do primeiro semestre de 2016). O país é uma federação composta por 10 províncias e 3 territórios (fig. 1). Seu sistema político é a democracia parlamentar com monarquia constitucional sendo a rainha Elizabeth II a chefe de estado. Seu representante no país é o Governador-Geral (David Johnston) e o governo é dirigido pelo primeiro-ministro Justin Trudeau (a partir de 2016).



Figura 1: Mapa político simplificado do Canadá com suas divisões territoriais. As 10 províncias se localizam na parte sul do país, enquanto os três territórios compõem o Norte-Noroeste. As estrelas de 4 pontas indicam as capitais provinciais e a estrela de 5 pontas indica a capital federal (Ottawa). Modificado de Wikipedia (2016).

O Canadá possui as línguas inglesa e francesa como idiomas oficiais. No entanto a maior parte da população é anglofona e apenas a província de Nova Brunswick é de fato bilíngue. No Quebec a língua oficial é o Francês e 8,3% da população da província possui

o inglês como idioma “maternal”.

A economia canadense atualmente é baseada na prestação de serviços, atividade que emprega cerca de 75% da população. Atividades como produção de energia, produção mineral e agrícola são importantes na economia, sendo a principal fonte de trabalho em determinadas regiões.

O país ocupa a maior parte da América do Norte, estendendo-se desde o Oceano Atlântico até o Oceano Pacífico, com o Oceano Ártico ao Norte. Possui uma vasta quantidade de parques nacionais, os quais preservam grande porção da vegetação florestal. Dada suas dimensões continentais e sua geografia existe uma ampla variação climática no país. Nas regiões centrais o clima é continental, com temperaturas médias anuais em torno de -15°C (com máximas abaixo dos -40°C) enquanto que nas regiões costeiras o clima é temperado, com a temperaturas em torno de 30°C durante o verão. A presença de lagos de água doce é bastante importante para o Canadá, sendo que o país concentra cerca de 8% de toda a água doce do mundo.

2.2. PROVÍNCIA DO QUEBEC

O Quebec é a maior província canadense e a segunda mais populosa com aproximadamente 24% da população do país. A língua oficial da província é o francês. Em 2006 aproximadamente 79% da população possuía o francês como língua materna enquanto que o inglês somava apenas 8,3%. O restante seria representado pela população denominada de Primeiras Nações (povos autóctones que habitavam a região antes da chegada dos exploradores europeus). Sua capital é a Cidade de Quebec, situada no estreito do Rio São Lourenço.

2.3. CIDADE DE SAGUENAY

Saguenay localiza-se na região administrativa de Saguenay-Lac Saint-Jean na porção centro-sul da província (fig. 2). A cidade foi instituída por um decreto em 18 de fevereiro de 2002, com a fusão dos municípios de Chicoutimi, Jonquière, La Baie, Laterrière, Canton-Tremblay, Lac-Kénogami e Shipshaw. Em 2014 a população total era de cerca de 147.000 pessoas. A economia da região baseia-se nas indústrias de alumínio (Rio Tinto Alcan) e florestal, além do comércio.

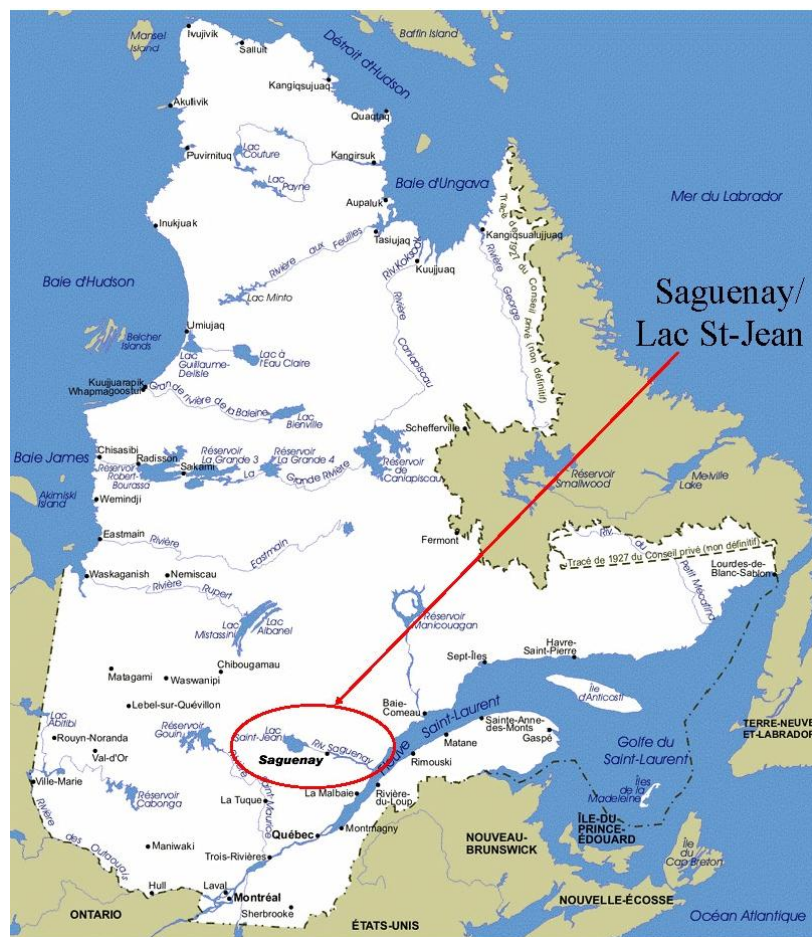


Figura 2: Mapa simplificado da Província do Quebec com a região de Saguenay-Lac Saint-Jean delimitada em vermelho.

3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades desenvolvidas durante o estágio na UQAC tiveram como objetivo a caracterização petrográfica dos principais litotipos que constituem o Complexo Itatins, aflorante na região de Peruíbe, Estado de São Paulo. Esta unidade geológica é constituída por rochas migmatíticas separadas em dois litotipos principais: (i) ortognaisse foliado metatexítico a diatexítico e (ii) paragnaisse bandado diatexítico. Em ambos os litotipos ocorrem enclaves de rochas máficas, denominadas de granulito máfico.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DE FEIÇÕES DE FUSÃO PARCIAL EM LÂMINAS DELGADAS

A caracterização de feições relacionadas a processos de fusão parcial foi feita a partir da seleção de amostras representativas dentre aquelas descritas. Nas amostras selecionadas, as relações texturais entre os minerais que estão relacionados a reações de fusão parcial foram analisadas cuidadosamente.

Esta atividade foi executada no Laboratório de Materiais Terrestres da UQAC (*Laboratoire des Matériaux Terrestres de l'UQAC*), utilizando-se microscópio petrográfico Olympus BX-41 com sistema de aquisição de imagens integrado.

A importância desta atividade reside na correta interpretação de processos petrogenéticos envolvidos na geração e evolução das rochas estudadas e seu papel na geração de crosta continental.

Os resultados obtidos mostram que tanto no ortognaisse e no paragnaisse ocorrem feições texturais que indicam que estas rochas foram afetadas por processos de fusão parcial, incluindo cristalização de algumas fases minerais a partir de líquidos anatóticos. A unidade de ortognaisse é constituída por três litotipos: (i) neossoma residual, (ii) leucossoma e (iii) granulito máfico. No neossoma residual foram identificadas as seguintes feições texturais:

- Cristais subédricos de ortopiroxênio com bordas arredondadas e em cúspide (fig. 1A e B). Sua origem metamórfica, a partir de reações de fusão parcial, é baseada na presença de inclusões arredondadas de quartzo e plagioclásio (fig. 1A) e desenvolvimento de coroas de ortopiroxênio ao redor de plagioclásio;
- Cristais de quartzo subédricos a anédricos, com bordas em cúspide (fig. 1B e C) e intercrescimento com biotita. Em filmes de quartzo observa-se o resultado de reequilíbrio textural de filmes de quartzo no contato com plagioclásio (marcado pelas setas vermelhas);

No leucossoma foram observadas as seguintes feições:

- Em leucossomas representados por veios discordantes da estrutura do neossoma residual, os cristais de plagioclásio possuem bordas arredondadas a retas (fig. 2A e B), indicando cristalização a partir de líquido anatótico. Em veios paralelos à estrutura os cristais de plagioclásio exibem bordas arredondadas a corroídas (fig. 2C), indicando que parte do mineral deve ter sido consumida nas reações de fusão;
- Presença de pequenos bolsões leucocráticos (> 0.1 cm de diâmetro), representando zonas de acúmulo de líquido anatótico (fig. 2D);
- Veios de composição tonalítica com espessura inferior a 2,0 mm representados por arranjo poligonal de cristais de plagioclásio, com quartzo anédrico e placas de biotita (fig. 2E). A distribuição e composição destes veios, e também dos pequenos bolsões leucocráticos, permitem a interpretação de que representem o

resultado da infiltração de líquido anatético em estágio tardio do metamorfismo de alto grau;

- Presença de micro-cristais de zircão (< 10 µm) associados a inclusões de feldspato alcalino ou quartzo em fenocristais de plagioclásio (fig. 2F). Esta feição foi descrita em charnockitos da região de Uusima Oeste na Finlândia (Touret & Huizenga, 2014). Os autores a interpretam como resultado do encapsulamento dos cristais de zircão junto a pequenas porções de líquido anatético durante a cristalização do plagioclásio;

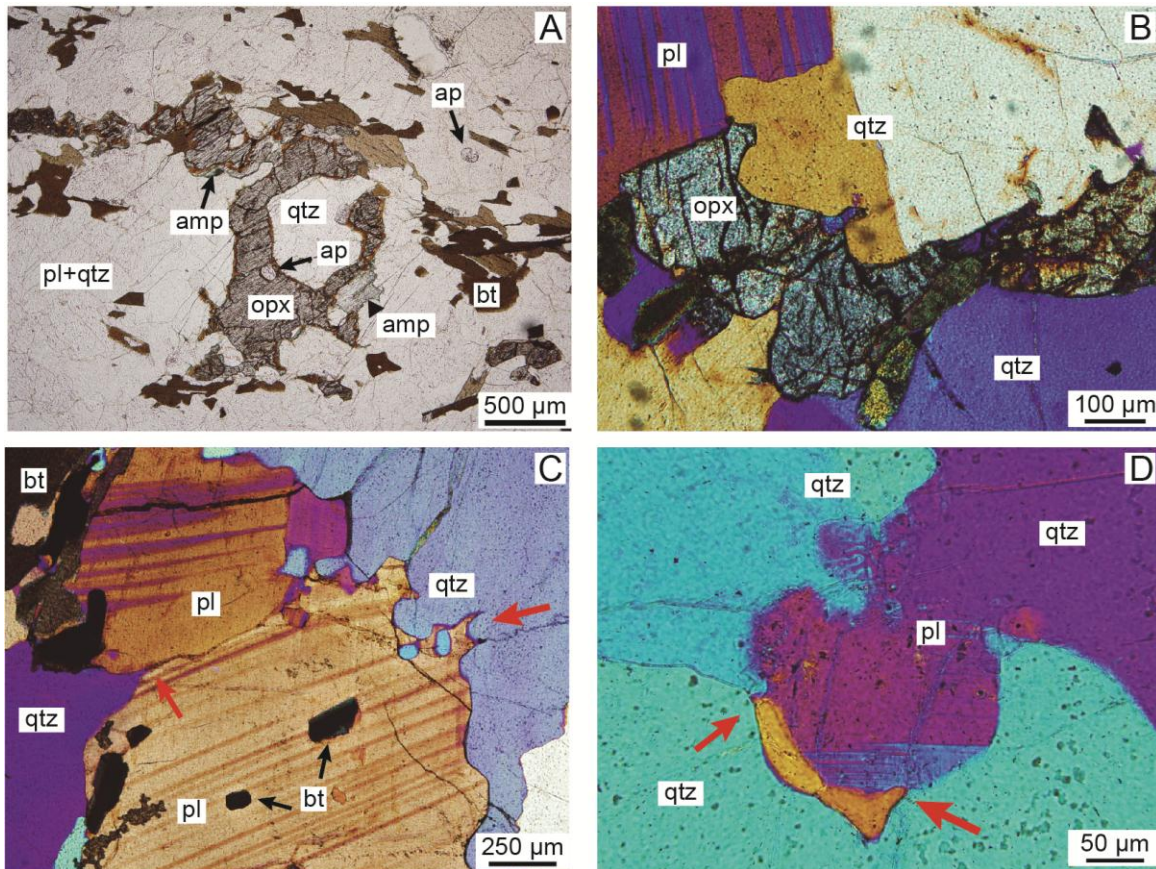


Figura 3: Feições texturais indicando a ocorrência de reações de fusão e cristalização de minerais a partir de líquidos anatéticos no neossoma residual. As abreviações minerais adotadas: amp (anfíbólio), ap (apatita), bt (biotita), pl (plagioclásio), opx (ortopiroxênio) e qtz (quartzo). Modificado de Pavan, Sawyer & Moraes (em preparação).

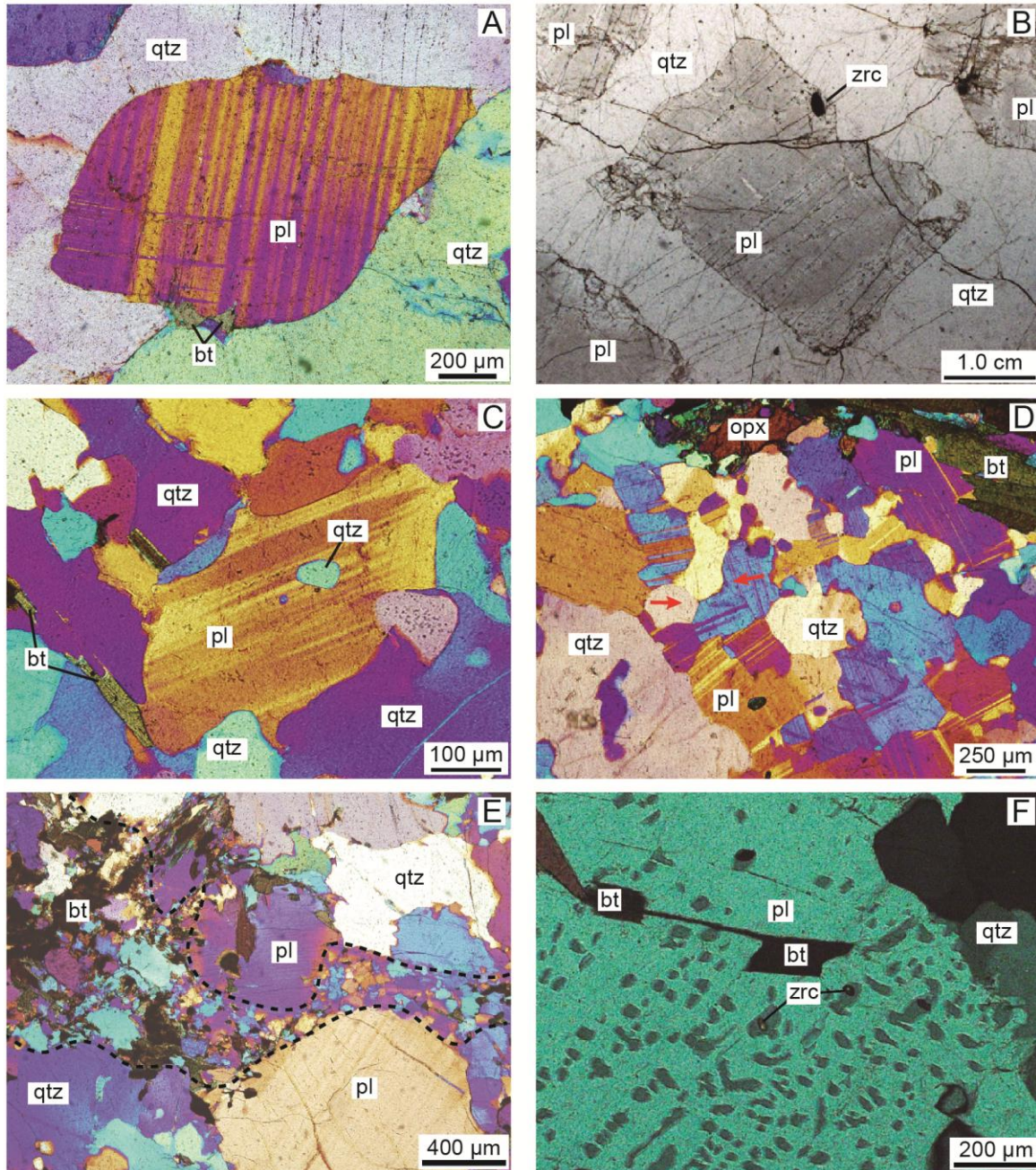


Figura 4: Feições texturais presentes no leucossoma do ortogneisse. As abreviações minerais adotadas: bt (biotita), pl (plagioclásio), opx (ortopiroxênio), qtz (quartzo) e zrc (zircão). Modificado de Pavan, Sawyer & Moraes (em preparação).

3.2. ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM MINERAIS

A determinação de elementos traços em fases minerais principais do ortognaisse e do paragnaisse foi efetuada através do método de ablação a laser associado a espectrômetro de massa acoplado a plasma induzido (LA-ICP-MS) no Laboratório de Materiais Terrestres da UQAC (*Laboratoire de Matériaux Terrestres de l'UQAC*). As análises foram feitas utilizando-se um laser RESOLUTION M-50 da Resonetics acoplado a um Espectrômetro de Massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) Agilent 7700x (fig. 5). No total foram efetuadas cerca de 150 análises em granada, ortopiroxênio, biotita e feldspatos, para determinação dos elementos: Li, Be, Sc, Ti, V, Co, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Lu, Hf, Ta, Pb, Th e U. As análises foram efetuadas em lâmina delgada polida, permitindo a seleção dos cristais de acordo com suas características texturais na rocha.

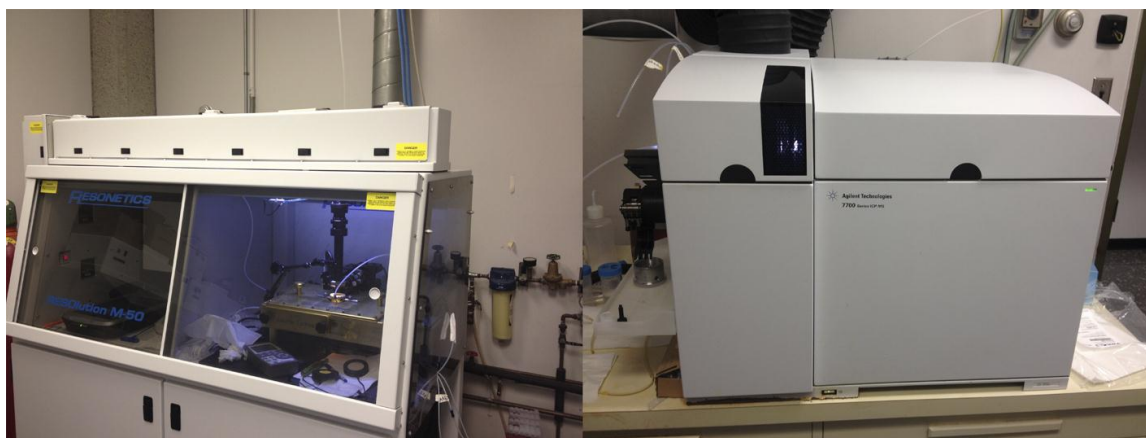


Figura 5: Sistema de ablação a laser (direita) e espectrômetro de massa por plasma acoplado indutivamente – ICP-MS (esquerda) do Laboratório de Materiais Terrestres da UQAC.

A aplicação da determinação química de elementos traços em minerais permite a observação de como ocorre o fracionamento químico nos cristais e quais processos podem estar envolvidos na modificação da composição mineral. Pode-se citar o padrão de elementos terras-raras em grãos de zircão, que quando formados ou recristalizados em presença de granada de alta Temperatura exibem teores mais baixos de elementos terras-raras pesados (Harley *et al.*, 2007), pois a própria granada é uma fase que concorre por esses elementos durante sua cristalização.

Trabalhos como o de Hanchar & van Westrenen (2007) mostram ser possível reconstruir a associação mineral que estava sendo formada durante a cristalização ou recristalização do zircão através do fracionamento químico dos elementos terras-raras e assim determinar a composição química da rocha naquele momento. Este tipo de estudo é importante neste trabalho já que rochas de alto grau funcionam como sistemas químicos abertos, não sendo possível reconstituir a composição química anterior ou próxima do pico metamórfico.

3.3. ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS E GEOCRONOLOGIA

A determinação de elementos traços e isótopos radiogênicos de U, Th e Pb para datação de monazita e zircão “in-situ” foi efetuada no laboratório de LA-ICP-MS da Universidade de Nova Brunswick em Fredericton. As análises foram efetuadas utilizando um laser S-155-LR (193nm) da Resonetics acoplado a um Espectrômetro de Massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) quadrupolo Agilent 7700x.

Para a datação geocronológica foi utilizado o método analítico de datação “in-situ”, o qual permitiu estudo mais acurado em cristais de zircão e monazita que comumente exibem zoneamento químico e textural, e cuja informação forneceu dados importantes sobre a evolução temporal e o metamorfismo. Através desta técnica, as variações composicionais dos minerais, geradas por fatores como dissolução química e recristalização podem ser analisadas separadamente, o que permite a obtenção de idades distintas dentro de um mesmo cristal. Serão empregadas as técnicas de LA-ICP-MS (Košler, 2001) em zircão (datação U-Pb) e monazita (datação U-Th-PbT). A possibilidade de se datar cristais com alta resolução espacial possibilita a redução do erro analítico, uma vez que variações composicionais internas dos minerais podem ser evitadas com a análise pontual, ao contrário do que ocorre com a datação via TIMS (“Thermal ionization mass spectrometer”), por exemplo.

A importância da datação U-Pb em cristais de zircão em rochas metamórficas de alto grau reside na estabilidade do mineral em um amplo intervalo P-T e a baixa difusão química do Pb no mineral. Deste modo, idades gravadas em zircão comumente estão relacionadas a eventos associados ao protolito, não sendo modificadas por eventos termotectônicos aos quais a rocha foi exposta. Outra vantagem está relacionada à formação de zircão metamórfico em rochas de alto grau. Fraser *et al.*, (1997), discutem que a fonte para geração de zircões metamórficos seria a liberação de Zr na quebra de cristais de hornblenda, piroxênio e granada.

O diâmetro das análises pontuais para determinação de elementos traços foi de 17 µm e para as análises geocronológicas de 17 µm na monazita e 24 µm no zircão. Dessa forma foi possível efetuar mais de uma análise em alguns dos cristais. A vantagem da datação feita diretamente nas lâminas delgadas é a possibilidade de correlacionar os dados geocronológicos com a textura identificada na rocha. Os dados geocronológicos obtidos para zircão serão complementados com análises a serem efetuadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da USP (CPGEO-USP).

Os cristais de zircão presentes no ortognaisse e no paragnaisse estudados apresentam características texturais similares (figura 6A e B). Ocorre com duas tipologias distintas: (i) cristais prismáticos com bordas semi-arredondadas, incolor a cinza, com núcleos ora limpos, ora apresentando inclusões e sobrecrecimento marcado; (ii) cristais semi-arredondados, de coloração acinzentada a incolor. Foram efetuadas 48 análises pontuais para elementos traços e 61 para geocronologia.

Cristais de monazita (figura 6C) ocorrem preferencialmente no paragnaisse e no leucossoma derivado dessa rocha. Forma cristais subédricos, de coloração amarelada com tamanho entre 100 e 500 µm. Foram efetuadas 14 análises pontuais para elementos traços

e 20 para geocronologia.

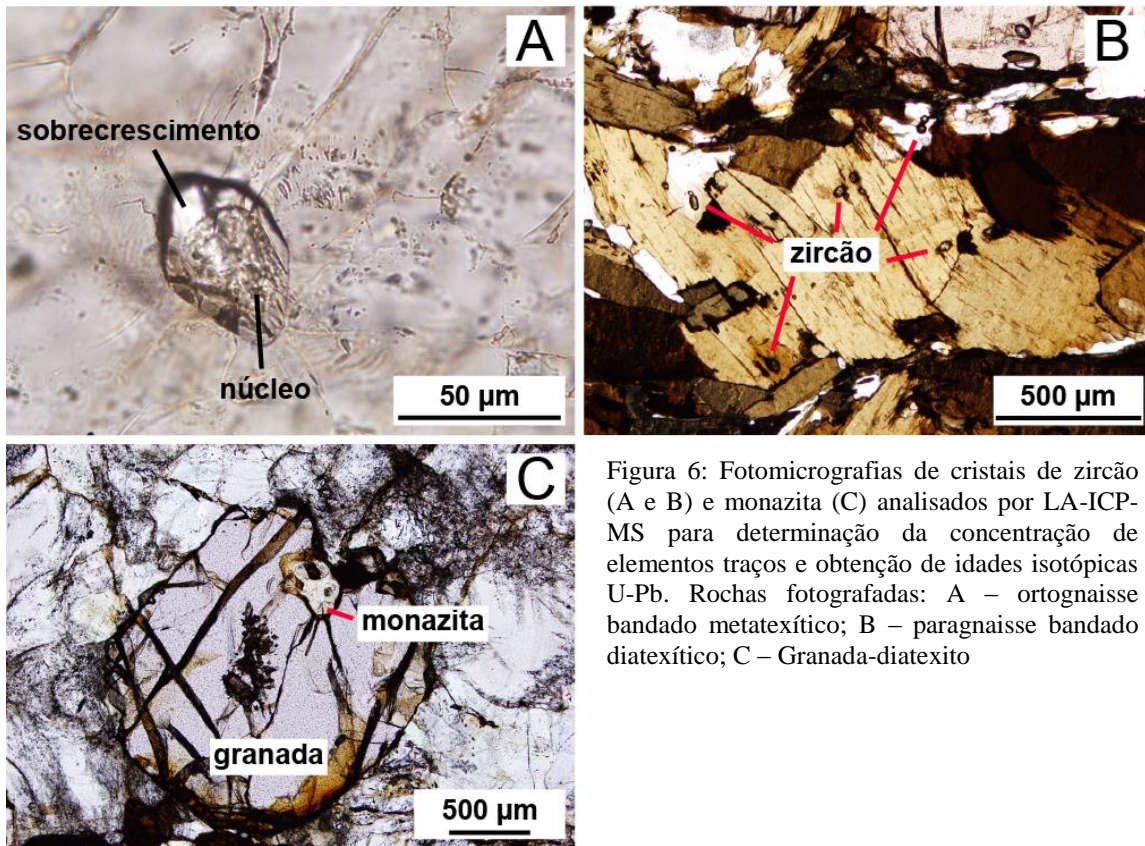


Figura 6: Fotomicrografias de cristais de zircão (A e B) e monazita (C) analisados por LA-ICP-MS para determinação da concentração de elementos traços e obtenção de idades isotópicas U-Pb. Rochas fotografadas: A – ortogneisse bandado metatexítico; B – paragneisse bandado diatexítico; C – Granada-diatexito

3.4. ANÁLISES COM MICRO-FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (μ FRX)

A presença leucossomas em forma de pequenos bolsões (“melt pockets”) e lentes/veios de tamanho milimétrico representava um desafio para determinação de sua composição química. A separação desse material para análise química de rocha total através de métodos usuais, como Fluorescência de Raios-X (FRX), Espectrometria de Emissão Óptica (ICP-OES) ou de Massa (ICP-MS) dependeria da amostragem de uma grande quantidade de material para que o volume necessário para análise fosse atingido. Outro fator que comprometia a aplicação dos métodos supracitados era a impossibilidade da separação do volume de material correspondente ao leucossoma sem contaminação por outras porções da rocha analisada. Como ambos os litotipos presentes (leucossoma e resíduo) são constituídos pelos mesmos minerais (feldspatos, quartzo, biotita, etc), em proporções distintas, a atividade de preparação da amostra para análise poderia ser comprometida.

Para reduzir o erro associado à preparação utilizou-se um espectrômetro de Micro-Fluorescência de Raios-X (μ -FRX) Eagle III da EDAX (fig. 7). Este equipamento permite a análise de materiais sem a necessidade de separação mecânica ou química.



Figura 7: Espectrômetro de Micro-Fluorescência de Raios-X tipo Eagle III da EDAX.

Foram feitas análises químicas de leucossomas em ortognaisse e rocha máfica em 10 amostras para determinação das concentrações de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O em leucossomas. Os resultados são apresentados na forma de mapas composicionais onde é retratada a distribuição espacial da concentração de cada óxido (fig. 8). Após a leitura das concentrações foram calculadas as composições em regiões do mapa que correspondiam aos leucossomas.

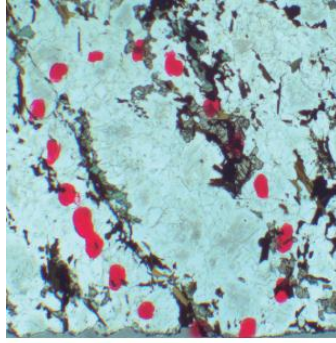
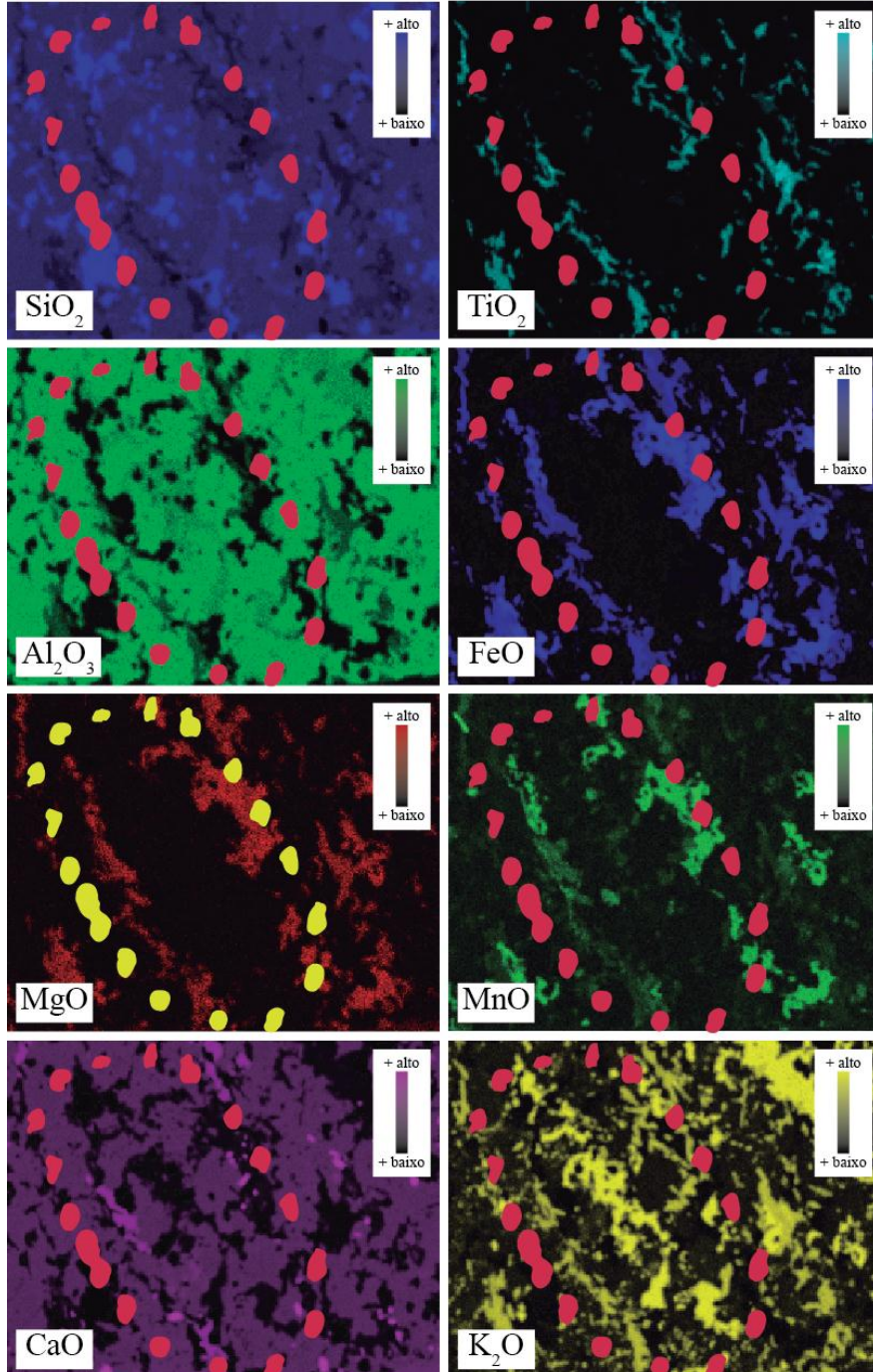


Figura 8: Mapas composicionais dos óxidos maiores na região delimitada pela elipse tracejada na lâmina delgada polida. Variação na intensidade das cores indicam concentrações mais altas ou mais baixas dos óxidos.



3.5. MODELAGEM METAMÓRFICA

A fim de avaliar como a composição de líquidos anatéticos e associações de minerais residuais variam durante processos de fusão parcial, foram construídas pseudosseções (ou diagramas isoquímicos). Estes diagramas são calculados a partir da composição química da rocha a ser estudada e exibem quais as associações minerais estáveis dentro de um determinado intervalo de Pressão e Temperatura. Com base nesses diagramas é possível estimar as condições de temperatura e profundidade as quais rochas estudadas foram expostas, permitindo inclusive determinar trajetórias de metamorfismo (fig. 9).

Partindo de composições de grauavaca e pelito foram construídas pseudosseções admitindo-se dois cenários possíveis: (i) fusão em equilíbrio, onde o sistema químico encontra-se fechado, sem modificação na composição química total; e (ii) fusão fracionada, onde o sistema químico encontra-se aberto e parte do líquido anatético produzido é retirado sistematicamente.

Para avaliar as condições de Pressão e Temperatura das rochas do Complexo Itatins foram construídas pseudosseções para três litotipos: granodiorito, rocha máfica e pelito. A modelagem do granodiorito faz parte de um artigo que se encontra em processo de redação. Os resultados obtidos para rocha máfica e pelito farão parte de um terceiro artigo a ser redigido antes do prazo final do doutoramento.

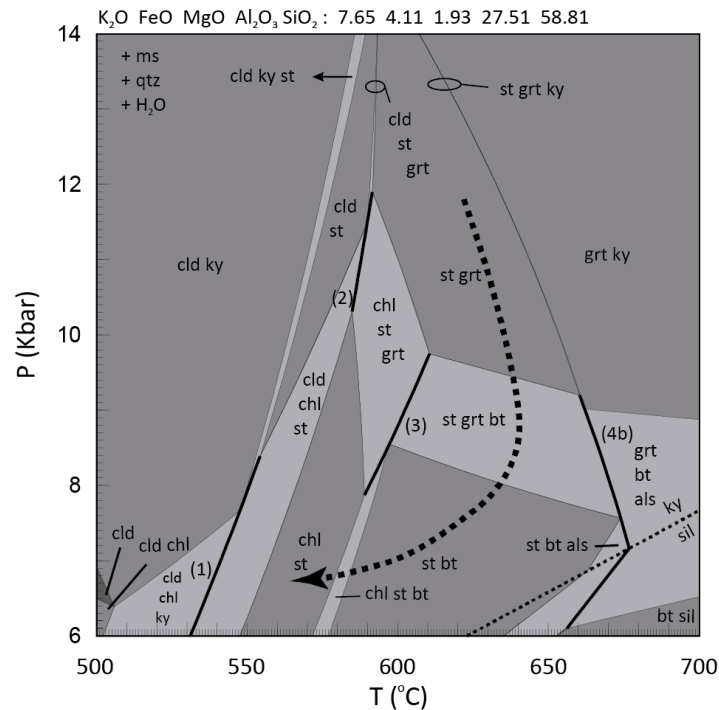


Figura 9: Exemplo de pseudosseção no sistema químico KFMASH de um metapelito da região de Carrancas, Minas Gerais. Seta tracejada indica trajetória P - T hipotética seguida pela rocha durante o evento metamórfico. Abreviações minerais adotadas: bt (biotita), chl (clorita), cld (cloritóide), grt (granada), ky (cianita), ms (muscovita), sil (sillimanita), st (estaurólita) e qtz (quartzo).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desenvolvidas durante o estágio na *Université du Québec à Chicoutimi* (UQAC) foram de extrema valia e permitiram alcançar os objetivos propostos. Todas as atividades propostas foram cumpridas. Os resultados obtidos através das metodologias aplicadas foram apresentados em artigo completo submetido a uma revista internacional (*Journal of Metamorphic Geology*) e irão subsidiar outros dois artigos a serem submetidos nos próximos meses.

Além da produção científica, a aplicação das metodologias permitiu aprimorar meus conhecimentos na interpretação de feições petrográficas relacionadas à fusão parcial e comportamento geoquímico de migmatitos e de química mineral.

As áreas de atuação da GEREMI - SUREG-SP nos estados de SP, PR e MS compreendem mapeamento geológico e pesquisa mineral em terrenos pré-cambrianos. Nestes a presença de rochas migmatíticas é frequente e em diversos casos, a complexidade petrológica dificulta sua descrição e interpretação dos processos envolvidos em sua geração. Desta forma acredito que eu estou mais bem preparado para executar atividades em terrenos constituídos por rochas migmatíticas (*i.e.* terrenos de alto grau).

A estadia no Canadá permitiu também o aprimoramento de meus conhecimentos sobre o país e o aperfeiçoamento das línguas inglesa e francesa.

5. PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Os resultados da modelagem metamórfica de rochas sedimentares descritos no item 4.5 foram utilizados para redação do artigo intitulado: “*The composition of anatetic melt and its complementary residue by forward modelling of equilibrium and fractional melting using THERMOCALC*” submetido ao *Journal of Metamorphic Geology*. No momento o artigo encontra-se em processo de revisão.

As descrições petrográficas e modelagem metamórfica da unidade de ortognaisse do Complexo Itatins fazem parte de um artigo em redação intitulado: “*The partial melting of granodiorite: insights from granulite-facies metamorphism in the Itatins Complex, Brazil*”.

6. ATIVIDADES EXTRA-CURRICULARES

No mês de fevereiro de 2016 apresentei uma palestra intitulada “*Geology of Rio Apa Cratonic Terrain, Southern Amazon Craton*” a convite do programa de pós-graduação do Departamento de Ciências Aplicadas da UQAC. Nela foi apresentada a metodologia de

trabalho e resultados obtidos durante o Projeto-Piloto do SGB/CPRM Aldéia Tomázia – Fazenda Santa Otília, executado pela SUREG-SP entre 2012 e 2014.

Esta apresentação foi divulgada pelo Blog da CPRM em 23 de fevereiro de 2016 (<http://cprmblog.blogspot.com.br/2016/02/pesquisador-da-cprm-apresenta-trabalho.html>).

7. FINANCIAMENTO

O financiamento da viagem que contou com passagens de ida e volta, auxílio instalação, seguro saúde e bolsa mensal em dólares canadenses foi feito pelo CNPq através do Programa Ciências Sem Fronteiras. A CPRM contribuiu com ônus parcial, correspondendo ao pagamento do salário mensal durante o período em questão.

As atividades laboratoriais executadas durante o estágio foram custadas pelo Prof. Edward W. Sawyer através de sua bolsa de pesquisa do tipo *Discovey Grant*, fornecida pelo *National Research Council of Canada (NRC)*.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRASER G.; ELLIS D.; EGGINS S. 1997. Zirconium abundance in granulite-facies minerals, with implications for zircon geochronology in high-grade rocks. *Geology*, 25(7): 607 – 610.

HARLEY, S.L.; KELLY, N.M.; MÖLLER, A. 2007. Zircon Behaviour and the Thermal Histories of Mountain Chains. *Elements*, 3(1): 25 – 30.

HANCHAR, J.M.; VAN WESTRENEN, W. 2007. Rare Earth Element Behavior in Zircon–Melt Systems. *Elements*, 3(1): 37 – 42.

KOŠLER, J. 2001. Laser-ablation ICPMS study of metamorphic minerals and processes. In: Sylvester, P. (ed) *Laser-Ablation-ICPMS in the Earth Sciences – Principles and Applications: Short Course Series*. Mineralogical Association of Canada, 29. p.: 185 – 202.

TOURET, J.R.L.; HUIZENGA, J.M. 2012. Charnockite microstructures: From magmatic to metamorphic. *Geosciences Frontiers*, 3(6): 745 – 753.

Canadá. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Canadá>> Acesso em: 20 set 2016.

9. ANEXOS

9.1 PARECER DO ORIENTADOR BRASILEIRO



Departamento de Mineralogia e Geotectônica



São Paulo, 21 de setembro de 2016

Ao CNPq,

Venho por meio desta informar que Maurício Pavan Silva retornou de estágio de um ano com bolsa do Programa Ciência Sem Fronteiras, Modalidade Doutorado Sanduíche, desenvolvido na Universidade de Quebec, em Chicoutimi, Canada, desenvolvendo parte do projeto **Petrologia do Complexo Itatins: modelagem metamórfica, química mineral e datação "in-situ"** com Dr. Edward. Sawyer.

Maurício apresenta resumo de suas atividades no relatório em anexo, complementando sua pesquisa iniciada no IGC-USP, no Programa Geociências (Mineralogia e Petrologia). Além de ter adquirido dados analíticos em rocha, minerais e isotópicos, o mesmo trabalhou com modelagens com o programa THERMOCALC e escreveu dois artigos, um submetido ao *Journal of Metamorphic Geology*, o qual foi avaliado com *major revisions*, as quais estão quase prontas e o artigo deverá ser re-submetido em breve. O outro artigo está em fase de conclusão.

A interação com o Prof. Sawyer foi bastante proveitosa na interpretação textural das rochas, ajudando no progresso do entendimento das rochas e na modelagem dos migmatitos e granulitos do Complexo Itatins, alvo da presente pesquisa.

Deste modo, concluo que o estágio foi desenvolvido com maior sucesso do que previsto.

Paralelamente às atividades geológicas, o aluno ainda fez cursos de Francês.

Atenciosamente,

Dr. Renato de Moraes

Dr. Renato de Moraes
Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo
Departamento de Mineralogia e Geotectônica
Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária
CEP 05508-080 - São Paulo - SP
Telefone: INT + 55 + 11 + 3091-0131
rmoraes@usp.br

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária São Paulo/ SP Brasil CEP 05508-080
Tel 11 3091 3994 Fax 11 30914258
www.igc.usp.br - email: gmgigc@edu.usp.br

9.2 PARECER DO ORIENTADOR ESTRANGEIRO

UQAC

Mr. Maurício Pavan Silva
Instituto de Geociências,
Universidade de São Paulo,
Rua do Lago 562,
CEP 05508-080,
São Paulo SP,
Brazil.

2016 August 22

To Whom It May Concern.

This letter is to confirm that Mr. Maurício Pavan Silva was a visiting scholar at the Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), in the Département des Sciences Appliquées from 2015 September 14 to 2016 August 22. During his stay Mr. Pavan has obtained trace element compositional data using the laser ablation ICP-MS equipment and major oxide compositional data using the micro-XRF equipment here at LabMaTer facility, carried out an examination of the microstructures and undertaken extensive thermodynamic modelling calculations to understand the petrogenesis of the samples he has collected from the Itatins Complex in Brazil as part of his doctoral research project "Petrologia do Complexo Itatins: modelagem metamórfica, química mineral e datação 'in-situ' ". Some of the numerical modelling he has undertaken has been used in one completed and submitted manuscript, most of the data that he has collected together with further modelling results form the core for two more manuscripts that are now at an advanced stage of preparation. I fully anticipate that all the work he has done here and the results he obtained will be published in peer-reviewed international scientific journals over the next few months. Because of what he has done here and the fruitful exchange of ideas and information between him and the research group here I consider that his stay at UQAC was very successful.

Yours sincerely,

E.W. Sawyer

Edward W. Sawyer

Prof. Régulier
Département des Sciences Appliquées