

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

REGIANE ANDRADE FUMES

MODELAGEM METAMÓRFICA E GEOTERMOBAROMETRIA  
DE ELEMENTOS TRAÇO EM METAPELITOS E QUARTZITOS:  
EXEMPLO DA *NAPPE* DE LUMINÁRIAS-MG

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre em Geociências e Meio  
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro - SP

2017

552 Fumes, Regiane Andrade  
F977m Modelagem metamórfica e geotermobarometria de  
elementos traço em metapelitos e quartzitos: exemplo da  
nappe de Luminárias-MG / Regiane Andrade Fumes. - Rio  
Claro, 2017  
140 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots. + 2 mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: George Luiz Luvizotto

1. Petrologia. 2. Petrologia metamórfica. 3. Grupo  
Carrancas. 4. Pseudosseção. I. Título.

REGIANE ANDRADE FUMES

MODELAGEM METAMÓRFICA E GEOTERMOBAROMETRIA  
DE ELEMENTOS TRAÇO EM METAPELITOS E QUARTZITOS:  
EXEMPLO DA *NAPPE* DE LUMINÁRIAS-MG

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre em Geociências e Meio-  
Ambiente

Comissão Examinadora

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Profa. Dra. Monica da Costa Lavalle Heilbron

Prof. Dr. Ticiano José Saraiva dos Santos

Rio Claro, SP 18 de Janeiro de 2017

Aprovada

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer aqui as pessoas que foram fundamentais para a execução desse mestrado.

Ao meu orientador George e ao Renato de Moraes pela dedicação em me ajudar desde o princípio do projeto e por acreditar em mim em toda essa caminhada. Gostaria de agradecer ambos pela paciência e disponibilidade em sempre colaborar. Sou muito grata aos ensinamentos que vocês me passaram.

Aos meus pais (Mário e Atilana) e ao meu irmão Leandro pelo apoio durante todos esses anos e faculdade e pós graduação.

À Juliana (Sakura) por sempre estar presente e me auxiliar durante todo o mestrado, tanto com a correção do texto e com os assuntos pessoais.

À Thaynara por sempre me acompanhar e amparar.

Aos membros da banca de qualificação, Marcos Aurélio e Renato de Moraes, pelas contribuições e dicas ao trabalho. E aos membros da banca de defesa, Mônica C. P. L. Heilbron e Ticiano J. S. Santos pelas valiosas discussões que contribuíram muito para o encerramento desse trabalho.

Aos amigos da pós graduação, Alex (Rodox), Fernanda, Lucas e Fofona, por sempre me acompanharem e tornarem o ambiente de trabalho mais produtivo e divertido.

À Rosângela e ao César por me auxiliarem na parte burocrática da execução desse trabalho.

Ao Daniel Godoy e demais técnicos por sempre me ajudarem com excelência em tudo que eu precisei elaborar nos laboratórios da faculdade.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos 2015/07750-0 e 2015/05230-0 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Por fim, deixo também meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, apoiaram este trabalho.

# Resumo

A *Nappe* Luminárias corresponde a uma estrutura alongada de orientação NNE-SSW com cerca de 40 km de extensão, situada na porção sul do Orógeno Brasília (idade neoproterozoica), bordejando o Cráton do São Francisco. Tal estrutura é composta majoritariamente por metapelitos e quartzitos do Grupo Carrancas. O presente trabalho foca na caracterização metamórfica de metapelitos e quartzitos do Grupo Carrancas na *Nappe* Luminárias. Para tal, utiliza-se modelagem metamórfica através de pseudosseções (THERMOCALC), química mineral e os geotermômetros Zr em rutilo e Ti em quartzo. Com base na mineralogia e nas relações texturais e estruturais observadas em lâmina, foram identificadas paragêneses distintas nas porções norte, centro-norte e sul da *Nappe* Luminárias. Na porção norte, a paragênese é  $\text{Cld}+\text{Chl}+\text{Ky}+\text{Rt}+\text{Qtz}+\text{Ms}$ . Na porção centro-norte, ocorre a paragênese  $\text{St}+\text{Grt}+\text{Rt}+\text{Qtz}+\text{Ms}$ , com biotita, clorita e ilmenita retrometamórfica. A assembleia de pico metamórfico registrada nas rochas da porção sul é  $\text{Grt}+\text{Ky}+\text{St}+\text{Rt}+\text{Qtz}+\text{Ms}$  com biotita, clorita e ilmenita retrometamórfica. Os resultados indicam a presença de um gradiente metamórfico com condições variando de fácies xisto-verde na porção norte (560°C e 10kbar) e centro-norte (610°C e 12,5kbar) a fácies anfibolito / eclogito na porção sul (630°C e 15kbar). As rochas metapelíticas da *Nappe* de Luminárias evoluíram através de trajetórias P-T-t horárias, que indicam aquecimento seguido de uma forte descompressão. Análises de elementos traço em grãos de rutilo derivados de quartzito indicam que os mesmos podem ser utilizados para cálculo de temperatura utilizando-se o geotermômetro Zr no rutilo. Todavia, os dados indicam que a homogeneização, ou reequilíbrio, da concentração de Zr em rutilos detríticos em quartzitos ocorre em temperaturas mais elevadas que nos metapelitos, em torno de 580°C. Não foi observada sillimanita nas rochas estudadas. Estes dados colocam em dúvida a extensão da Zona de Interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira até a região de Luminárias. Além disso, os dados de modelagem do presente trabalho mostram que seria necessária descompressão isotérmica de aproximadamente 8 kbar para a cristalização de sillimanita, o que é incompatível com a superposição da Faixa Ribeira sobre a Faixa Brasília, que levaria a um soterramento ainda maior das unidades.

**Palavras-chave:** petrologia metamórfica. grupo Carrancas. pseudosseção. geotermobarometria. elementos traço.

# Abstract

The Luminárias *Nappe* is a 40 km long, NNE-SSW elongated structure, located in the southern portion of the Neoproterozoic Brasília Orogen, which borders the São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). It is composed of high aluminium metapelites and quartzites from the Carrancas Group. The present work focuses on the metamorphic characterization of the metapelites and the quartzites of the Luminárias *Nappe* by means of pseudosection modelling, mineral chemistry and the Zr-in-rutile thermometer. In the northern portion, the paragenesis is Cld + Chl + Ky + Rt + Qtz + Ms. In the center-north portion, the paragenesis is St + Grt + Rt + Qtz + Ms, with retro-metamorphic biotite, chlorite and ilmenite. The metamorphic peak assembly recorded in rocks from the southern portion is Grt + Ky + St + Rt + Qtz + Ms with retro-metamorphic biotite, chlorite and ilmenite. Results indicate the presence of a metamorphic gradient with conditions increasing from green-schist facies in the northern portion (560°C and 10kbar) and center-north (610°C and 12,5kbar) to amphibolite / eclogite facies in the southern portion (630°C and 15kbar). Metapelitic rocks of the Luminárias *Nappe* followed a clockwise P-T-t path, characterised by an initial heating stage that is followed by strong decompression. Analyses of trace elements in rutile grains derived from quartzite indicate that they can be used for temperature calculation using the geothermometer Zr in rutile. However, the data shows that the homogenisation, or reequilibration, of the Zr content detrital rutile in quartzites occurs at higher temperatures than in the metapelites, at about 580°C. No sillimanite has not been described in the studied rocks. Therefore, it suggests that the Interference Zone between the Brasília and Ribeira belts does not extent to the Luminárias *Nappe* region. In addition, our modelling shows that it would be require an isothermal decompression of approximately 8 kbar for the crystallization of sillimanite, which is incompatible with the overlapping of the Ribeira Belt over the Brasilia Belt, which would lead to an even greater burial of the units.

**Keywords:** metamorphic petrology. Carrancas group. pseudosection. geothermobarometry. trace elements.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Mapa da Localização e das proximidades da área de estudo. . . . .	18
Figura 2 – Polimorfos de $Al_2O_3$ . . . . .	23
Figura 3 – Isopletas dos geotermômetros de Ti no Quartzo e Zr no Rutilo . . . . .	28
Figura 4 – As províncias estruturais do Brasil . . . . .	30
Figura 5 – Configuração da porção sul da borda meridional do Cráton do São Francisco, na porção limítrofe entre as faixas Brasília e Ribeira . . . . .	31
Figura 6 – Mapa tectônico da área central da zona de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira . . . . .	33
Figura 7 – Sistema de <i>nappes</i> do Orógeno Brasília Meridional. . . . .	34
Figura 8 – Estratigrafia da Megassequência Andrelândia. . . . .	39
Figura 9 – Mapa metamórfico do Grupo Carrancas e Andrelândia . . . . .	42
Figura 10 – Mapa simplificado de isógradas metamórficas. . . . .	43
Figura 11 – Mapa mostrando as zonas metamórficas do setor meridional do sul da Faixa Brasília. . . . .	43
Figura 12 – Mapa simplificado da <i>Nappe</i> de Luminárias mostrando a compartimentação da estrutura adotada nesse trabalho e a localização das principais amostras de metapelito . . . . .	45
Figura 13 – Fotografias da Unidade São Vicente . . . . .	46
Figura 14 – Quadro de blastese mineral da amostra LR-11 . . . . .	47
Figura 15 – Fotografias da Unidade $Na_3$ . . . . .	48
Figura 16 – Exemplos de afloramentos da Unidade $Na_4$ . . . . .	49
Figura 17 – Quadro de blastese mineral da amostra LR-04 . . . . .	49
Figura 18 – Fotografia dos metapelitos da Unidade $Na_4$ no norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	50
Figura 19 – Quadro de blastese mineral da amostra LR-05 . . . . .	51
Figura 20 – Fotografia dos metapelitos da Unidade $Na_4$ no Centro-norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	52
Figura 21 – Quadro de blastese mineral das amostras LR-10A, LR-10C e LR-10E . . . . .	53
Figura 22 – Fotografia dos metapelitos da Unidade $Na_4$ no centro da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	53
Figura 23 – Fotografia dos metapelitos da Unidade $Na_4$ no sul da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	54
Figura 24 – Quadro de blastese mineral das amostras LR-44A e LR-44C . . . . .	55
Figura 25 – Fotografia da Unidade $Na_5$ . . . . .	56
Figura 26 – Quadro de blastese mineral das amostras LR-08 e LR-09 . . . . .	56

Figura 27 – Análise de química mineral dos cristais de granada do granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita (Amostra LR-10C) e do granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide (Amostra LR-10E) da porção centro norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	58
Figura 28 – Análise de química mineral do cristal de granada do muscovita xisto com granada (amostra LR-37D) . . . . .	59
Figura 29 – Análise de química mineral dos cristais de granada do muscovita xisto porfiroblástico com biotita e granada localizado na porção sul da <i>Nappe</i> de Luminárias (amostra LR-44A e LR-44B) . . . . .	61
Figura 30 – Análise de química mineral dos cristais de granada do granada-estauroлита xisto com cianita localizado no sul da <i>Nappe</i> de Luminárias (amostra LR-44C) . . . . .	62
Figura 31 – Mapas composicionais da granada do granada-estauroлита xisto com cianita localizado no sul da <i>Nappe</i> de Luminárias (amostra LR-44C) . . . . .	63
Figura 32 – Imagens de BSE dos cristais de estauroлита analisados da <i>Nappe</i> de Luminárias e gráfico de $\text{Si}+\text{R}^{2+}$ versus $x\text{Mg}$ da estauroлита. . . . .	65
Figura 33 – Imagens de BSE dos cristais de cloritoide analisados . . . . .	66
Figura 34 – Gráficos de $\text{Fe}^{2+}$ versus $\text{Mg}$ , $\text{Fe}^{2+}$ versus $\text{Mn}$ e $\text{Fe}^{3+}$ versus $\text{Al}$ dos cristais de cloritoide analisados. . . . .	67
Figura 35 – Imagens de BSE dos cristais de muscovita, biotita e clorita analisados. . . . .	68
Figura 36 – Gráfico de dispersão de $\text{Na}$ versus $\text{Si}+\text{Mg}+\text{Fe}$ , $\text{K}$ versus $\text{Na}$ , $(\text{Na},\text{K})+\text{Si}$ versus $\text{Ca}+\text{Al}$ , $\text{Si}+\text{Mg}$ versus $\text{Al}$ e $\text{Mg}$ versus $\text{Fe}$ dos cristais de muscovita analisados. . . . .	70
Figura 37 – Imagens de BSE dos cristais de clorita analisados. . . . .	71
Figura 38 – Gráfico de $\text{Fe}^{2+}$ versus $\text{Mg}$ dos cristais de clorita analisados. . . . .	72
Figura 39 – Imagens de BSE dos cristais de biotita analisados. . . . .	73
Figura 40 – Gráficos de dispersão de $\text{Fe}^{2+}$ versus $\text{Mg}$ , $\text{Mg}+\text{Si}$ versus $\text{Al}$ , $\text{K}$ versus $\text{Na}$ , $\text{Ti}$ versus $\text{Si}$ dos cristais de biotita analisados. . . . .	74
Figura 41 – Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados nos metapelitos . . . . .	75
Figura 42 – Diagramas mostrando os valores máximos, médios e mínimos de temperatura calculados para o geotermometro de $\text{Zr}$ no rutilo de Tomkins, Powell e Ellis (2007) . . . . .	76
Figura 43 – Mapa simplificado da <i>Nappe</i> de Luminárias, mostrando a divisão dos domínios do quartzito e porções, além da localização das amostras analisadas de quartzito. . . . .	78
Figura 44 – Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção norte e centro-norte do domínio Luminárias . . . . .	79



Figura 45 – Gráfico das temperaturas calculadas pelo geotermômetro de Zr em rutilo nas amostras de quartzito e com a relação de Cr e Nb (TRIEBOLD; EYNATTEN; ZACK, 2012) do rutilo do quartzito do domínio Luminárias.	80
Figura 46 – Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção central do domínio Luminárias . . . . .	81
Figura 47 – Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção sul do domínio Luminárias . . . . .	81
Figura 48 – Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito do domínio São Tomé das Letras . . . . .	81
Figura 49 – Gráfico das temperaturas calculadas pelo geotermômetro de Zr em rutilo nas amostras de quartzito e com a relação de Cr e Nb (TRIEBOLD; EYNATTEN; ZACK, 2012) do rutilo do quartzito do domínio São Tomé das Letras . . . . .	82
Figura 50 – Diagrama <i>P-T</i> projetado os geotermômetros de Zr no Rutilo e Zr no Quartzito para o metapelito do sul da <i>Nappe</i> de Luminárias (Amostra-44C).	84
Figura 51 – Gráfico e tabela mostrando as <i>averages PT</i> calculadas para as amostras LR-10C, LR-10E e LR-44C . . . . .	85
Figura 52 – Diagrama AFM com a plotagem das amostras utilizadas nas pseudosseções	88
Figura 53 – Pseudosseção <i>P-T</i> da amostra LR-10C no sistema KFMASHTO . . . .	89
Figura 54 – Pseudosseção <i>P-T</i> da amostra LR-44C no sistema KFMASHTO . . . .	90
Figura 55 – Isopletras de xFe da granada, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO . . . . .	92
Figura 56 – Isopletras da clorita, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO . . . . .	93
Figura 57 – Isopletras da biotita, calculadas na pseudosseção LR10B no sistema KFMASHTO . . . . .	94
Figura 58 – Isopletras da estauroilita calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO . . . . .	95
Figura 59 – Isopletras da muscovita calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO . . . . .	95
Figura 60 – Isopletras do cloritoide calculadas na pseudosseção LR-10C no sistema KFMASHTO . . . . .	96
Figura 61 – Pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO contendo as trajetórias metamórficas . . . . .	99
Figura 62 – Grade petrogenética no sistema KFMASH contendo as três trajetórias metamórficas . . . . .	100
Figura 63 – Comparação entre resultados de <i>Average PT</i> e pseudosseção . . . . .	101
Figura 64 – Geotermômetro de Ti no quartzito e de Zr no Rutilo <i>versus</i> Pseudosseção da amostra LR-44C . . . . .	102

Figura 65 – Comparação do mapa com os principais minerais metamórficos de Ribeiro e Heilbron (1982) com as paragêneses metamórficas observadas no presente trabalho . . . . .	104
Figura 66 – Mapa síntese . . . . .	108

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Amostras analisados pela EPMA . . . . .	57
Tabela 2 – Análises do LA-ICP-MS de Ti no quartzo da amostra LR-44C (sul da <i>Nappe</i> de Luminárias) . . . . .	83
Tabela 3 – Elementos maiores das amostras analisadas pela Fluorescência de Raio-X	86
Tabela 4 – Elementos menores das amostras analisadas pela Fluorescência de Raio-X	87
Tabela 5 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10C . . . . .	122
Tabela 6 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10C . . . . .	123
Tabela 7 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10E . . . . .	124
Tabela 8 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada das amostras LR-37D e LR-44A . . . . .	125
Tabela 9 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada das amostras LR-44B e LR-44C . . . . .	126
Tabela 10 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de estauroлита das amostras LR-10C e LR-44C . . . . .	127
Tabela 11 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de estauroлита da amostra LR-10E . . . . .	128
Tabela 12 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de cloritoide das amostras LR-04 e LR-10E . . . . .	129
Tabela 13 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de muscovita das amostras LR-04, LR-10C e LR-10E . . . . .	130
Tabela 14 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de muscovita da amostra LR-44C . . . . .	131
Tabela 15 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de biotita das amostras LR-10C, LR-10E e LR-44A . . . . .	132
Tabela 16 – Análise química mineral da EPMA dos cristais de clorita das amostras LR-04, LR-10C e LR-10E . . . . .	132
Tabela 17 – Análise química dos elementos traços no rutilo nos metapelitos . . . . .	133
Tabela 18 – Análise química dos elementos traços no rutilo dos quartzito do norte e centro-norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	134
Tabela 19 – Análise química dos elementos traços no rutilo dos quartzito do centro da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	135
Tabela 20 – Análise química dos elementos traços no rutilo dos quartzito do sul da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	136

Tabela 21 – Análise química dos elementos traços no rutilo dos quartzito da região de São Tomé das Letras . . . . .	137
---	-----

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Apresentação</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Localização da Área de Estudo</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>17</b>
1.3.1	Levantamento Bibliográfico e Material Cartográfico	17
1.3.2	Trabalhos de Campo	18
1.3.3	Petrografia	19
1.3.4	Preparação das amostras de quartzito	19
1.3.5	Caracterização com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	20
1.3.6	Análise geoquímica	20
1.3.7	Confecção de Pseudosseções e diagramas AFM	20
1.3.8	Análises de Microsonda Eletrônica (EPMA)	20
1.3.9	Análises de LA-ICP-MS	21
1.3.10	Análise e integração dos dados obtidos	21
1.3.11	Preparação da dissertação	21
<b>1.4</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>22</b>
1.4.1	Geotermobarometria	26
1.4.2	Elementos traço no rutilo	26
1.4.3	Geotermômetro Ti no quartzo	27
<b>2</b>	<b>GEOLOGIA REGIONAL</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira</b>	<b>30</b>
2.2.1	Orógeno Brasília Meridional	33
2.2.2	<i>Nappe</i> Socorro-Guaxupé	34
2.2.3	Terreno Andrelândia	35
2.2.4	Sistema de <i>Nappes</i> Carrancas e <i>Nappe</i> Lima Duarte	35
<b>2.3</b>	<b>Grupo Carrancas</b>	<b>36</b>
<b>2.4</b>	<b>Geologia Estrutural da região da <i>Nappe</i> de Luminárias</b>	<b>39</b>
<b>2.5</b>	<b>Metamorfismo da <i>Nappe</i> de Luminárias</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Geologia Local</b>	<b>44</b>
3.1.1	Complexo São Vicente	44
3.1.2	Unidade Na <sub>3</sub>	46
3.1.3	Unidade Na <sub>4</sub>	47

3.1.3.1	Metapelitos da Unidade Na <sub>4</sub> da porção norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	48
3.1.3.2	Metapelitos da Unidade Na <sub>4</sub> da porção centro-norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	50
3.1.3.3	Metapelitos da Unidade Na <sub>4</sub> da porção central da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	51
3.1.3.4	Metapelitos da Unidade Na <sub>4</sub> da porção sul da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	53
3.1.4	Unidade Na <sub>5</sub> . . . . .	55
<b>3.2</b>	<b>Química Mineral . . . . .</b>	<b>57</b>
3.2.1	Granada . . . . .	57
3.2.1.1	Granada da porção centro-norte da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	57
3.2.1.2	Granada da porção central da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	59
3.2.1.3	Granada da porção sul da <i>Nappe</i> de Luminárias . . . . .	60
3.2.2	Estaurolita . . . . .	63
3.2.3	Cloritoide . . . . .	64
3.2.4	Muscovita . . . . .	67
3.2.5	Clorita . . . . .	69
3.2.6	Biotita . . . . .	72
3.2.7	Elementos traço em rutilo de metapelitos . . . . .	74
3.2.8	Elementos traço em rutilo de quartzito . . . . .	77
3.2.9	Geotermômetro Ti no quartzo . . . . .	83
3.2.10	Termobarometria (THERMOCALC – <i>Average PT</i> ) . . . . .	83
<b>3.3</b>	<b>Pseudosseção . . . . .</b>	<b>86</b>
3.3.1	Pseudosseção da amostra LR-10C (porção centro-norte) . . . . .	88
3.3.2	Pseudosseção da amostra LR-44C (porção sul) . . . . .	90
3.3.3	Isopletas minerais . . . . .	91
3.3.3.1	Isopletas da granada . . . . .	91
3.3.3.2	Isopletas da clorita . . . . .	92
3.3.3.3	Isopletas da biotita . . . . .	92
3.3.3.4	Isopletas da estaurolita . . . . .	93
3.3.3.5	Isopletas da muscovita . . . . .	93
3.3.3.6	Isopletas da cloritoide . . . . .	95
<b>4</b>	<b>DISCUSSÕES . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>4.1</b>	<b>Condições do metamorfismo nos metapelitos . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>4.2</b>	<b>Condições de metamorfismo nos quartzitos . . . . .</b>	<b>100</b>
<b>4.3</b>	<b>Integração com os dados encontrados na literatura . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>110</b>

	<b>APÊNDICES</b>	<b>118</b>
	<b>APÊNDICE A – MAPA GEOLÓGICO . . . . .</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE B – MAPA DE ASSOCIAÇÃO MINERAL . . . . .</b>	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE C – ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL . . . . .</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE D – SCRIPTS DO THERMOCALC . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>D.1</b>	<i>Script</i> da pseudosseção da amostra LR-10C no sistema KFMASHTO	138
<b>D.2</b>	<i>Script</i> da pseudosseção da amostra LR-44C no sistema KFMASHTO	139

# 1 Introdução

## 1.1 Apresentação

Estudos de petrologia metamórfica permitem desvendar as trajetórias de pressão ( $P$ )- temperatura ( $T$ )-tempo ( $t$ ) pelas quais as rochas metamórficas passaram, que fornecem valiosas informações sobre a história tectônica local e regional de uma determinada área. A petrologia metamórfica clássica utilizando observações de campo e petrografia atrelada à modelagem metamórfica, a química mineral e os geo(termo)barômetros de elementos traço são ferramentas acuradas para compreender a história metamórfica de uma região.

Nas últimas décadas, novas técnicas estão sendo utilizadas na petrologia metamórfica. Isso se deu pela avanço no conhecimento dos modelos químicos, a utilização de *softwares* (POWELL; HOLLAND, 1988) e o avanço das técnicas de análise *in-situ* (*e. g.* microsonda eletrônica e LA-ICP-MS) que possibilitaram o avanço da geotermo(barometria de elemento traços em minerais acessório (*e. g.* Zr no rutilo (ZACK; MORAES; KRONZ, 2004; TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) e Ti no quartzo (WARK; WATSON, 2006; THOMAS et al., 2010).

Em sua vasta maioria, cinturões metamórficos regionais se enquadram em regime de pressão barroviano (pressões intermediárias). Apesar disso, rochas metamórficas de pressões altas são comuns no sudeste do Brasil (ZANARDO, 1992; SIMÕES, 1995; TROUW; CASTRO, 1996; LAMA et al., 2000; CAMPOS NETO; CABY, 1999; CAMPOS NETO, 2000; LUVIZOTTO, 2003; MOTTA et al., 2010; SILVA, 2010; MARTINEZ, 2015), quase sempre associadas à Faixa Brasília (FUCK et al., 1994) ou Orógeno Brasília Meridional segundo Campos Neto et al. (2007).

Localizada no sudeste brasileiro, na região entre Luminárias (MG) e São Tomé das Letras (MG), a *Nappe* de Luminárias se destaca pela ocorrência de conjuntos interessantes de rochas metamórficas. Nessa região afloram as rochas do Grupo Carrancas (TROUW; RIBEIRO; PACIULLO, 1980) que é composto por metapelito (xistos e filitos) e quartzito. Na *Nappe* de Luminárias os xistos pelíticos contendo estauroлита, cianita, granada, biotita, cloritoide e rutilo, do Grupo Carrancas apresentam paragêneses de temperaturas mais elevadas do que as paragêneses obtidas na região de Carrancas (MG), confirmando o padrão de aumento de condições de metamorfismo de norte para sul como descrito na literatura (TROUW et al., 2000; PETERNEL et al., 2005; SILVA, 2010).

Deste modo, o objetivo deste trabalho é a investigação das condições do metamorfismo das rochas do Grupo Carrancas na região de Luminárias com métodos modernos, incluindo termobarometria otimizada (POWELL; HOLLAND, 1994), pseudosseções



(POWELL; HOLLAND; WORLEY, 1998; POWELL; GUIRAUD; WHITE, 2005) e termobarometria de elementos traço em minerais, tais como Zr em rutilo (ZACK; MORAES; KRONZ, 2004; TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) e Ti em quartzo (WATSON; WARK; THOMAS, 2006; THOMAS et al., 2010).

## 1.2 Localização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na porção sul do estado de Minas Gerais, no sudeste brasileiro, abrangendo as proximidades do município de Luminárias e São Tomé das Letras (Figura 1). A área abrange parte das folhas topográficas SF.23-X-C-IV (Caxambu), SF.23-V-D-IV (Varginha) e SF.23-X-C-I (Lavras) na escala 1:100.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O acesso à área, a partir de Rio Claro, é feito pela SP-310 até Limeira, onde é possível acessar a SP-147/MG-290 até Pouso Alegre - MG. A partir desse ponto, pega-se a BR-381 (Rodovia Fernão Dias) até Três Corações onde se tem acesso à LMG-862, que leva até Luminárias e São Tomé das Letras.

## 1.3 Materiais e Métodos

As atividades relacionadas ao presente trabalho foram desenvolvidas, em grande parte, junto ao Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM), do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Unesp de Rio Claro. Parte das análises químicas foram realizadas no Instituto de Geociências da Universidade de Gotemburgo na Suécia. Apresenta-se a seguir uma breve descrição dos materiais e métodos utilizados.

### 1.3.1 Levantamento Bibliográfico e Material Cartográfico

Nesta etapa, foi efetuado o levantamento de trabalhos científicos e mapas geológicos que abrangem a área de estudo, assim como a bibliografia referente aos temas petrologia metamórfica, pseudoseções e geotermobarometria. Os materiais utilizados foram artigos científicos, livros, resumos de simpósios e congressos, teses e dissertações. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio do acervo material da biblioteca da Unesp de Rio Claro, além dos sistemas online de busca de dados, como por exemplo: SciELO, ERL, DEDALUS, ProBE e Web of Science, SIBi/USP, P@rthenon (Unesp) e Capes Periódicos.

Foi levantado também o material cartográfico utilizado para a representação dos dados obtidos em campo. Foram utilizadas imagens de satélite, por exemplo SRTM, folhas topográficas do IBGE e mapas geológicos gerados pelo Serviço Geológico do Brasil e pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.

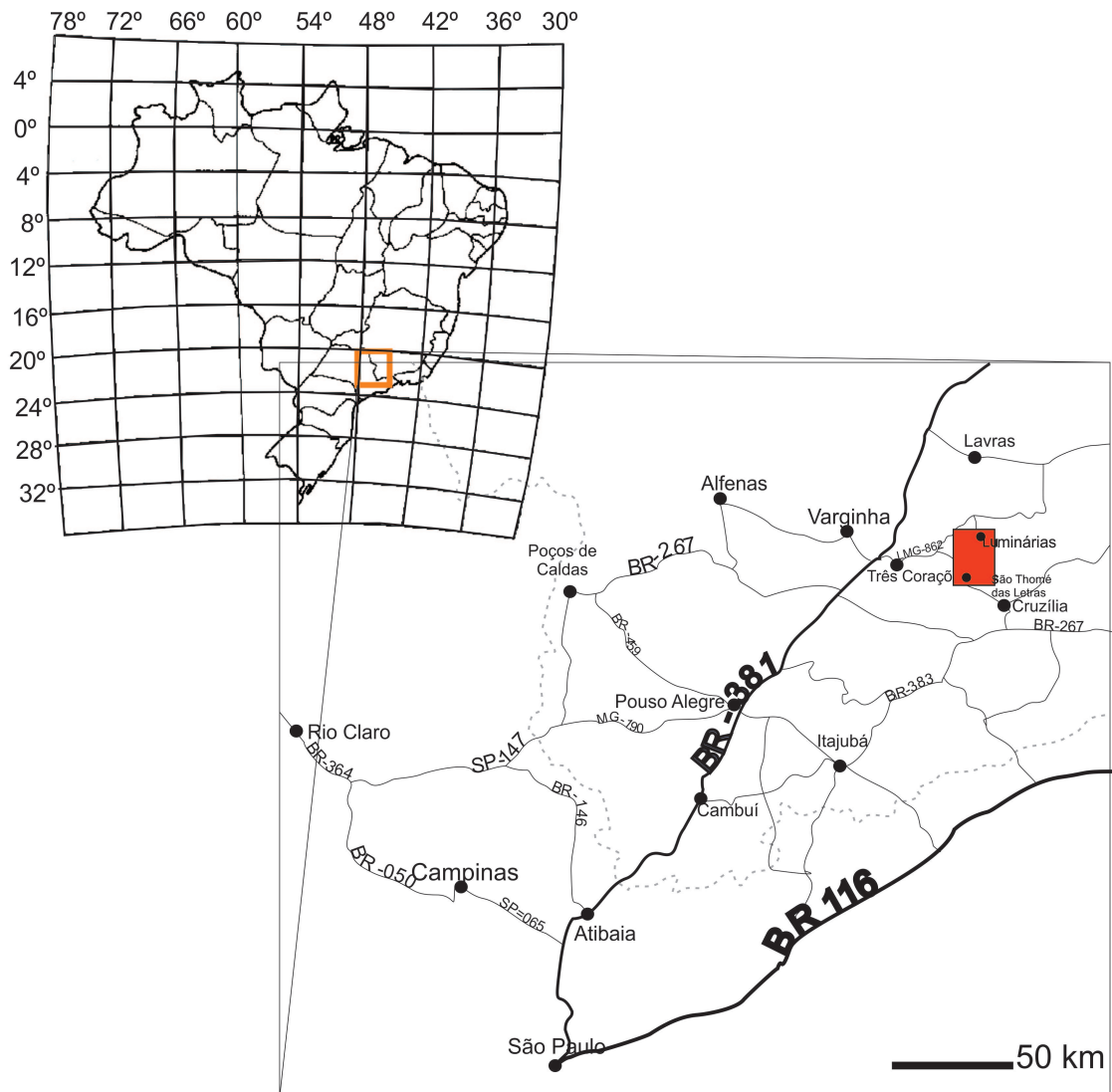


Figura 1: Mapa da Localização das proximidades da área de estudo, com as principais vias de acesso. O retângulo vermelho, próximo de Luminárias demarca a área de estudos.

### 1.3.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo tiveram por objetivo reconhecer as unidades litológicas da área, bem como as relações estruturais entre elas, além da coleta de amostras a serem utilizadas na petrografia e nas análises químicas. Três etapas de campos foram realizadas, totalizando 12 dias de campo.

Os trabalhos de campo incluíram as seguintes atividades:

- Descrição de afloramentos, utilizando martelo, caderneta de campo, marreta, GPS, bússola, câmera fotográfica e lupa;
- Identificação macroscópica de rocha e seus minerais constituintes (atentando-se aos

minerais índices metamórficos);

- Levantamento de dados estruturais;
- Coleta de amostras (cerca de 40 amostras de metapelitos e 17 amostras de quartzitos).

Para a coleta das amostras, foram utilizados os seguintes critérios: (i) baixo grau de intemperismo; (ii) diferentes associações minerais, indicativas do grau de metamorfismo; (iii) distribuição espacial e representatividade da amostra na área de estudo.

### 1.3.3 Petrografia

Foram selecionadas 27 amostras para a confecção de 41 lâminas delgadas (polidas) no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Unesp de Rio Claro. Os critérios para a seleção de amostras para a laminação foram os mesmos descritos para a etapa de campo. As lâminas foram descritas utilizando-se microscópio de luz transmitida no Laboratório de Petrografia do DPM. O trabalho de petrografia buscou identificar: (i) a ocorrência de minerais índices do metamorfismo, (ii) identificar texturas que evidenciem processos de metamorfismo, (iii) identificar as principais reações metamórficas que deram origem a paragênese atual através das associações minerais e (iv) estudar a microtectônica das seções delgadas. Para a descrição das lâminas, utilizou-se uma ficha padrão, já utilizada em projetos de mapeamento executados pelo grupo de pesquisa Evolução de Terrenos Metamórficos, visando compreender as relações temporais entre as fases de deformação e os eventos metamórficos. As composições modais das seções delgadas foram estimadas visualmente. As estruturas, texturas e minerais relevantes para o trabalho foram documentadas através de fotomicrografias.

### 1.3.4 Preparação das amostras de quartzito

Concentrados minerais pesados de 17 amostras de quartzitos foram obtidos a partir das amostras coletadas na segunda campanha de campo. Para as amostras do quartzito, optou-se por realizar a concentração dos minerais pesados devido a baixa proporção destes minerais na rocha. A concentração desses minerais foi realizada segundo as seguintes etapas: britagem, moagem, separação de minerais magnéticos com imã de mão e com separador magnético tipo Franz e separação de minerais pesados utilizando o bromofório. A fração de minerais pesados não-magnético foi observada na lupa da Marca Zeiss, modelo Stemi 2000 C possibilitando a separação, quando presente, de grãos de rutilo e zircão nas amostras. Dentre as 17 amostras preparadas, apenas 9 quartzitos apresentaram grãos de rutilo no concentrado de minerais. Os grãos de rutilo selecionados foram montados em seções polidas com a resina *Epoxi*. Posteriormente, as seções polidas foram analisadas na microsonda eletrônica. Todas as etapas de concentração de minerais pesados foram realizadas nos laboratórios do DPM da Unesp de Rio Claro.

### 1.3.5 Caracterização com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

A partir da etapa de petrografia, 7 seções delgadas de metapelitos foram metalizadas com carbono e analisadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), a fim de identificar minerais acessórios não-identificáveis ao microscópio petrográfico, identificar e caracterizar texturas metamórficas em equilíbrio e as relações temporais entre deformação e metamorfismo. Essa etapa visou guiar e agilizar as análises de microsonda eletrônica e obter imagens para serem utilizadas em artigos, relatórios e nessa dissertação. A escolha das amostras teve como critério abranger todo o gradiente metamórfico descrito para área, buscando selecionar as amostras que fossem mais representativas da área e possuísem distintas paragêneses minerais. Nesta etapa, foi utilizado o MEV da marca JEOL modelo JSM 6010 LA, acoplado a um detector de espectroscopia por dispersão de energia (EDS) do DPM da Unesp de Rio Claro.

### 1.3.6 Análise geoquímica

Onze amostras foram selecionadas para a análise geoquímica de rocha total dos elementos maiores e menores por Fluorescência de Raio X (FRX), realizada no DPM da Unesp de Rio Claro. Primeiramente, as amostras selecionadas para a análise de FRX foram moídas, depois aquecidas para a determinação do LOI (perda do fogo). Em seguida, as amostras foram fundidas juntamente com o tetraborato de lítio e o material fundido foi montado em porta-amostras e analisado. O equipamento utilizado foi um espectrômetro sequencial, marca PHILIPS, modelo PW 2400. Os resultados obtidos na análise geoquímica foram utilizados para caracterização química das amostras e para a confecção de pseudosseções.

### 1.3.7 Confecção de Pseudosseções e diagramas AFM

Para o cálculo das pseudosseções, foi utilizado o *software* THERMOCALC (POWELL; HOLLAND, 1988) versão 3.40 com o banco de dados versão 6.2 de Holland e Powell (2011), White et al. (2014). Tal software utiliza bancos de dados termodinâmicos internamente consistentes.

### 1.3.8 Análises de Microsonda Eletrônica (EPMA)

Análises de EPMA foram realizadas tanto para as amostras de metapelito quanto para o quartzito da *Nappe* de Luminárias. Os principais minerais formadores de rochas (elementos maiores) como granada, clorita, cloritoide, estauroлита, biotita e muscovita foram analisadas somente nas sete seções delgadas de metapelitos. Nestes minerais, as análises foram realizadas de forma pontual na borda e no núcleo dos cristais, além de perfis borda a borda. As análises de elementos traço foram realizadas nos grãos de rutilos

tanto dos metapelitos (duas das sete seções polidas) quanto nos quartzitos (nove seções polidas). Para estas análises, utilizou-se o equipamento JEOL JXA - 8230, com 5 detectores WDS, do Laboratório de EPMA (DPM), Unesp de Rio Claro. Para análise dos silicatos, a padronização foi feita em minerais e óxidos, dependendo do elemento a ser analisado. O tempo de contagem para os elementos maiores foi de 10 segundo no pico e 5 segundos em cada posição do *background* (inferior e superior). Para os elementos menores, o tempo de contagem foi de 20 segundos para o pico e 10 segundos para o *background*. Utilizou-se aceleração de 15kV e corrente de 20nA. As análises no rutilo foram realizadas com 20kV e 80nA e seguiram as condições apresentadas por Luvizotto et al. (2009a). Os seguintes elementos foram analisados: Si, Al, Cr, V, Fe, Sn, Sb, Ta, Hf, W, Nb e Zr. Como referência e controle de qualidade, foram utilizados os padrões R10 e Sy apresentados por Luvizotto et al. (2009a).

### 1.3.9 Análises de LA-ICP-MS

Análises de Ti no quartzo foram feitas por LA-ICP-MS no Laboratório de Microgequímica do Departamento de Geociências da Universidade de Gotemburgo utilizando-se sistema de ablação a laser New Wave NWR213 acoplado a um espectrômetro de massa Agilent 8800 triple quadrupole. He foi utilizado como gás carreador para transportar o material produzido na célula de ablação. Uma mistura de He, Ar e N foi utilizada para introdução da amostra. Análises foram realizadas com cratera de ablação com diâmetro de 20  $\mu\text{m}$ , 7.7J/cm<sup>2</sup> de energia e repetição de 5Hz. A intensidade do *background* foi medida por 20s e o sinal por 60s, para cada ponto de análise. Foram analisados os isótopos: <sup>7</sup>Li, <sup>27</sup>Al, <sup>29</sup>Si, <sup>48</sup>Ti, <sup>49</sup>Ti, <sup>57</sup>Fe, <sup>72</sup>Ge. Padrões de quartzo do próprio laboratório (Audetat, Q6) e o vidro NBS610 foram utilizados para cálculo de concentração.

### 1.3.10 Análise e integração dos dados obtidos

A integração dos dados obtidos procurou caracterizar as condições de pressão e temperatura atingidas durante o pico metamórfico tanto nos metapelitos e nos quartzitos, a fim de avaliar e comparar a resposta dos diferentes tipos litológicos ao mesmo metamorfismo. Estas informações, em conjunto com as relações deformação *versus* metamorfismo interpretadas, forneceram pontos a partir dos quais foi possível se interpretar a geometria da trajetória *P-T*. As condições de pressão e temperatura calculadas foram comparadas com a literatura, com o objetivo de melhorar o entendimento do quadro tectônico regional.

### 1.3.11 Preparação da dissertação

Durante as etapas descritas acima, foi redigida a presente dissertação. Para a redação dos textos foram utilizados os *software* TeXShop, do pacote MacTex e Microsoft Word 2016, para a edição de figuras foram utilizados os *software* Corel Draw X7 e Adobe

Illustrator CS6, para a confecção de mapas foi utilizado o *software* ArcGis10.2.2 e para a confecção de tabelas e gráficos foi utilizado o *software* Excel 2016.

## 1.4 Fundamentação Teórica

Na maioria das vezes, o estudo dos minerais presentes nas amostras encontradas na superfície da Terra reflete a pressão e a temperatura em que essas rochas foram formadas em subsuperfície e a sua composição química. Para obter tais condições, a termodinâmica é uma importante ferramenta (WOOD; FRASER, 1977).

A termodinâmica é o ramo da física que estuda as relações entre o calor e as outras energias (como a mecânica, elétrica ou química), e, por extensão, as relações entre todas as formas de energia. Aplicando essa definição na petrologia, a termodinâmica é a ciência que trará informações de quais minerais serão estáveis nas diferentes condições ( $P$ - $T$ ). Sendo assim, é possível prever quais associações minerais estarão presentes nas diferentes condições (modelagem metamórfica) ou determinar em quais condições as rochas foram formadas usando a associação e a química mineral (termobarometria).

A descrição termodinâmica do equilíbrio de fases na petrologia metamórfica sempre envolve um sistema químico. O termo sistema, segundo Will (1998), pode ser usado de duas maneiras: (i) uma variedade de entidades químicas que descrevem a composição de um mineral ou uma rocha, como por exemplo o sistema KFMASH ( $K_2O$ - $FeO$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ ) que expressa a composição básica de um metapelito, utilizando neste a expressão sistema modelo; (ii) uma composição química fixa de  $n$ -componentes, representando neste caso a composição da rocha total de uma amostra. De uma maneira mais generalista, o sistema pode ser definido como um simples grupo de átomos, minerais, elementos químicos ou rochas que serão considerados (WILL, 1998).

A regra de fases define o grau de liberdade ou a variância de um sistema. A variância indica o número de variáveis cujos valores devem ser especificados, de forma a definir completamente o estado de equilíbrio de um sistema. Esse parâmetro ilustra o número de modos pelos quais um sistema químico pode ser modificado, sem alterar o número de fases em equilíbrio (CANDIA; ZABÓ; DEL LAMA, 2003). A regra de fases pode ser definida pela seguinte equação:

$$F = C + 2 - P \quad (1.1)$$

Na equação,  $F$  representa a variância ou grau de liberdade do sistema,  $C$  é o número de componentes químicos necessários para descrever a composição química do sistema e  $P$  representa o número de fases. Um ponto invariante ( $F=0$ ) significa que nenhum parâmetro ( $P$  e  $T$ ) pode variar para que todas as fases ocorram em equilíbrio (Figura 2). Dentro de

uma curva univariante,  $P$  ou  $T$  podem variar (Figura 2), enquanto que, em um equilíbrio divariante,  $P$  e  $T$  podem variar independente das fases do campo (Figura 2).

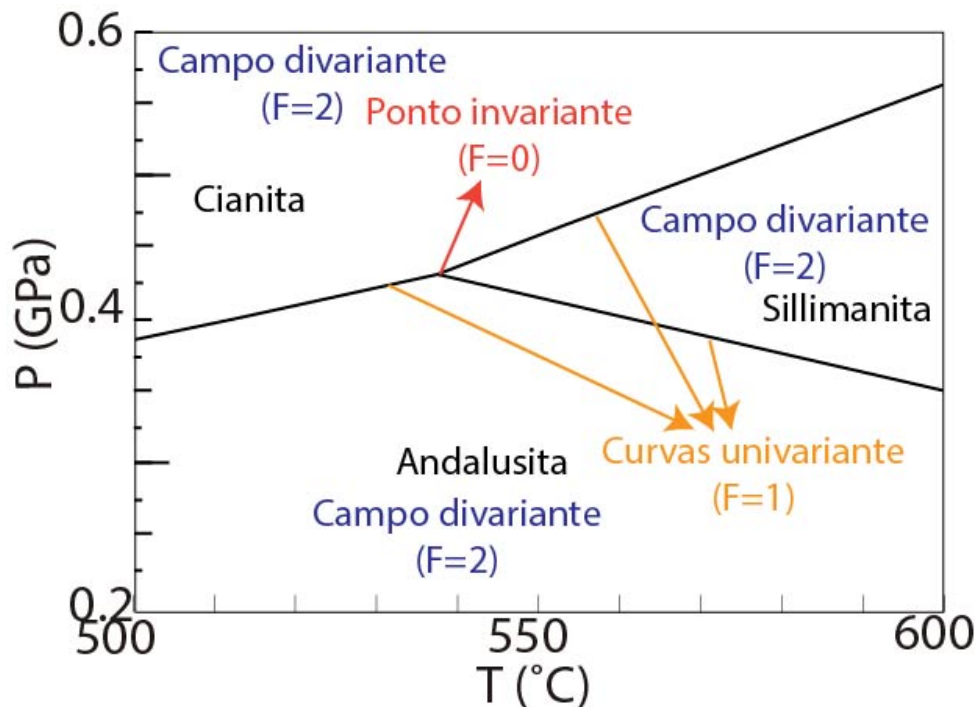


Figura 2: Diagrama  $P$  e  $T$  dos polimorfos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ilustrando diferentes graus de liberdade. Reações calculadas no THERMOCALC.

A termobarometria é utilizada para determinar as condições de temperatura e pressão registradas nas rochas. Segundo Powell e Holland (2008), a termobarometria pode ser dividida em termobarometria convencional e otimizada. A primeira se baseia apenas no equilíbrio termodinâmico de reações balanceadas entre os membros finais dos minerais e as suas composições químicas, enquanto que a segunda utiliza diversas reações metamórficas com correções estatísticas efetuadas a partir de um banco de dados de reações internamente consistente. A termobarometria por meio de pseudosseções se enquadra na termobarometria otimizada e oferece resultados mais robustos.

Os diagramas de fases são importantes ferramentas para a obtenção das condições pretéritas de temperatura e pressão registradas nas rochas. Estes diagramas resumem o equilíbrio das fases para um sistema modelo. Entretanto, a eficácia da aplicação destes diagramas está estreitamente relacionada a quanto o sistema real (no caso, a amostra) se aproxima do sistema modelado e de quão bem serão interpretadas as texturas e a variação composicional dos minerais (POWELL, 1991).

Diversos parâmetros podem ser utilizados na construção dos diagramas de fases (*e.g.*  $P$ ,  $T$ , Energia de Gibbs,  $X_{\text{O}}$ ,  $x_{\text{Mg}}$  etc). Esses diagramas oferecem informações sobre o equilíbrio de fases em sistemas naturais ou modelados.

Segundo Powell, Holland e Worley (1998), o cálculo de diagrama de fases envolve

quatro passos: (i) a escolha do sistema modelo no qual será calculado; (ii) formulação da termodinâmica das fases do sistema; (iii) decisão de qual diagrama será construído e (iv) a construção do diagrama de fases através do cálculo dos equilíbrios envolvidos. De acordo com esses autores, a decisão de qual diagrama utilizar depende principalmente do problema geológico que deseja ser resolvido.

As grades petrogenéticas são representações gráficas dos equilíbrios invariantes e univariantes do sistema, projetados em eixos com variáveis intensivas, geralmente  $P$  e  $T$  (BOWEN, 1940). Em geral, estes diagramas são úteis para mostrar a estabilidade das associações de baixa variância, porém não mostram os campos de alta variância ou o equilíbrio de uma composição fixa da rocha. A estabilidade das associações e as reações minerais são fortemente dependentes da composição específica da rocha, ou seja, nem todos esses equilíbrios in- e univariantes irão ocorrer dependendo da composição da amostra.

Os diagramas de compatibilidade mostram associações minerais e a variação química dos minerais com soluções sólidas em uma específica pressão e temperatura (POWELL; HOLLAND; WORLEY, 1998). Com o diagrama de compatibilidade AFM de Thompson (1957), é possível projetar a grande maioria dos minerais que compõem os metapelitos, além da composição química da amostra desejável. Já as pseudosseções são diagramas de fases construídos para uma composição química específica. Assim, tal diagrama contém informações sobre as associações minerais estáveis e as mudanças nas associações com a alteração das variáveis intensivas. Esses diagramas são, provavelmente, a melhor maneira de ilustrar a dependência de uma associação mineral, como por exemplo, para as diferentes condições de pressão e temperatura. (WILL, 1998).

Diversos softwares podem ser utilizados para o cálculo de pseudosseções, sendo possível criar esses diagramas utilizando um dentre os dois métodos possíveis (PEARCE; WHITE; GAZLEY, 2015). Um destes métodos é a minimização da energia livre de Gibbs ( $G$ ), como o *Perple\_X* (CONNOLLY, 1990) e o *Theriak/Domino* (CAPITANI; BROWN, 1987), que considera uma matriz de pontos para cada associação como o mínimo valor de  $G$  calculado. Com esses softwares, a pseudosseção pode ser construída com nenhum conhecimento preliminar das associações mineralógicas, embora a energia mínima local pode produzir resultados metaestáveis. Além disso, esse método pode não considerar perfeitamente as regras de construção de diagramas de fases, fazendo com que pequenos campos possam desaparecer e isopletas inapropriadas possam surgir (PEARCE; WHITE; GAZLEY, 2015). O outro método implantado pelo *THERMOCALC* de POWELL e HOLLAND (1988) envolve a resolução de diversas equações não lineares consistentes com as relações de equilíbrios das reações, formando um conjunto independente, escritos entre os membros finais das fases que estão sendo consideradas no equilíbrio (POWELL; HOLLAND; WORLEY, 1998).

Na prática, o software *Perple\_X* possui a vantagem de produzir resultados de



maneira automática, bastando o usuário entrar com os dados de química de rocha total e de modelos de atividades de cada componente. Todavia, o software THERMOCALC requer que o usuário calcule cada equilíbrio químico envolvido no diagrama, definindo as linhas e pontos que configuram a pseudosseção, sendo necessário a utilização do método de Schreinemakers para definir os limites de cada reação.

O método de Schreinemakers consiste num desenvolvimento substancialmente geométrico, que permite estabelecer a sequência das curvas de equilíbrio univariantes ao redor de um ponto invariante e a sua elaboração se baseia na regra de fases (Equação 1.1) (CANDIA; ZABÓ; DEL LAMA, 2003). Tal método permite limitar as reações, tornando a pseudosseção mais coerente.

No presente trabalho, utilizou-se o THERMOCALC versão 3.40 com o banco de dados ds62 de Holland e Powell (2011), White et al. (2014) para a confecção das pseudosseções. Este banco de dados foi utilizado em junção com a nova relação de atividade-composição mineral (a-X) que inclui mais amplamente a relação a-X dos minerais que contem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mudanças na formulação de diversas fases e ordem-desordem em todos os minerais ferro-magnesianos, os quais ocorrem a mistura de Fe-Mg em sítios múltiplos (POWELL et al., 2014; WHITE et al., 2014).

Como exposto anteriormente, o THERMOCALC calcula um conjunto de reações aplicáveis entre os membros finais do banco de dados e determina a confiabilidade desses cálculos através de cálculos de propagação de erros simples (POWELL; HOLLAND, 1988). Cada reação química é representada pela relação de equilíbrio da equação básica da termodinâmica.

$$0 = \Delta G^0 + RT \ln K \quad (1.2)$$

sendo  $\Delta G^0$  a variação na Energia de Gibbs,  $R$  a constante universal dos gases,  $T$  a temperatura e  $K$  a constante de equilíbrio para a equação balanceada.

Para cada membro final da fase mineral, a contribuição da  $\Delta G^0$  é (POWELL; HOLLAND, 1985):

$$\Delta G^0 = \Delta_f H_{1,298} - T S_{1,298} + \int_{298}^T C_p dT - T \int_{298}^T \frac{C_p}{T} dT + P V_{1,298} (1 + \alpha(T - 298) - \beta \frac{P}{2}) \quad (1.3)$$

sendo  $\Delta_f H_{1,298}$  a entalpia de formação da fase a 1 bar e 298 K,  $S$  a entropia a 1 bar e 298 K,  $V$  o volume a 1 bar e 298 K,  $C_p$  a capacidade de calor,  $\alpha$  o coeficiente termal de expansão e  $\beta$  o coeficiente de compressibilidade isoterma.

Para espécies fluidas, os membros finais  $H_2O$  e  $CO_2$ , correspondem a equação (POWELL; HOLLAND, 1985):

$$\Delta G_0 = \Delta_f H_{1,298} - T S_{1,298} \int_{298}^T C_p dt - T \int_{298}^T \frac{C_p}{T} dT + RT \ln f \quad (1.4)$$

Sendo:

$$RT \ln f = a + bT + cT^2 \quad (1.5)$$

Nesta expressão  $a$ ,  $b$  e  $c$  são funções da pressão determinadas pelo ajuste da fugacidade da  $H_2O$ .

### 1.4.1 Geotermobarometria

Geotermômetros e geobarômetros baseiam-se nas condições de equilíbrio expressa na equação 1.2 e são utilizados para determinar a temperatura e a pressão que um mineral em particular ou uma associação mineral foi formada (WILL, 1998).

No presente trabalho, optou-se pela aplicação do geotermômetro de Zr no rutilo (ZACK; MORAES; KRONZ, 2004; TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) e do geotermômetro Ti no quartzo (WARK; WATSON, 2006; THOMAS et al., 2010; THOMAS et al., 2015). Além de representarem excelentes ferramentas para a estimativa de temperatura, a intersecção das retas que representam as condições de equilíbrio destes geotermômetros em um espaço  $P$ - $T$  fornecem acurada estimativa de pressão (THOMAS et al., 2010) (Figura 3).

Foram também efetuadas estimativas de pressão e temperatura através do método de *average PT* (POWELL; HOLLAND, 1994) do software THERMOCALC, onde os dados de química mineral obtidos para as associações minerais em equilíbrio são utilizados.

Dados de elementos traço no rutilo (Si, Al, V, Fe, Sn, Sb, Hf, W, Ta, Zr, Nb, Cr) foram obtidos por meio de EPMA. Foram analisados cristais de rutilo de quatro amostras de xisto (LR-05, 05, 10C e 44C) e nove amostras de quartzito ao longo de toda a *Nappe* de Luminárias, na região de Luminárias (LR-52a, 20 e 30 – porção norte; LR-33B2, 39 – porção central; LR45 e 46 – porção sul) e na região de São Tomé das Letras (LR-62 e 67). Dados de Ti no quartzo foram obtidos para a amostra LR-44C por meio de LA-ICP-MS da Universidade de Gotemburgo. Esta amostra registra o grau metamórfico mais elevado dentre as rochas estudadas. Testes de análise de Ti no quartzo por EPMA realizados nesta amostra indicam que os resultados estão sempre abaixo do limite de detecção do equipamento, isto é, abaixo de 12 ppm de Ti.

### 1.4.2 Elementos traço no rutilo

O rutilo é o polimorfo mais comum do dióxido de titânio e ocorre amplamente nas rochas metamórficas. Além do titânio, elementos incompatíveis com raio iônico grande e carga elevada (HFSE – *high field strength elements*) podem ser incorporados no rutilo.

É sabido que o rutilo é um importante carreador de Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Hf, Ta e W (ZACK; MORAES; KRONZ, 2004). Neste sentido, o rutilo capaz espelhar a concentração química destes elementos na rocha total. Uma das importante aplicações dos elementos traços no rutilo é o geotermômetro de Zr no rutilo, uma vez que a concentração de Zr nos cristais rutilo é fortemente dependente da temperatura (ZACK; MORAES; KRONZ, 2004; TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007).

Com base em trabalhos experimentais, Tomkins, Powell e Ellis (2007) definem que a temperatura registrada no rutilo, para o campo do quartzo  $\alpha$  é expressa pela seguinte equação:

$$T(^{\circ}C) = \frac{83,9 + 0,410P}{0,1428 - R \ln \phi} - 273$$

Onde  $T$  é a temperatura em  $^{\circ}C$ ,  $P$  é a pressão em kbar,  $R$  é a constante do gás ( $0,0083144 \text{ kJ K}^{-1}$ ) e  $\phi$  é o teor de Zr no rutilo em ppm. Adota-se no presente trabalho a calibração de Tomkins, Powell e Ellis (2007). As estimativas de pressão utilizadas nos cálculos baseiam-se nas pseudosseções, descritas no próximo item.

A sistemática de elementos traço no rutilo pode ser utilizada para outras aplicações na geociências, como por exemplo o monitoramento de processos geoquímicos da crosta terrestre e do manto, proveniência de sedimentos e geocronologia (ZACK; EYNATTEN; KRONZ, 2004; TRIEBOLD et al., 2007; MEINHOLD, 2010; ZACK et al., 2011; TRIEBOLD; EYNATTEN; ZACK, 2012).

As concentrações de Nb e Cr podem ser utilizadas para diferenciar-se entre protólitos máficos e félsicos em estudos de proveniência de sedimento (ZACK et al., 2002; ZACK; EYNATTEN; KRONZ, 2004; TRIEBOLD et al., 2007; MEINHOLD et al., 2008). Baixos teores de Cr e altos teores de Nb definem que o rutilo é proveniente de rochas metapelíticas e valores altos de Cr e e baixos Nb determina que o rutilo é proveniente de rochas máficas. Triebold, Eynatten e Zack (2012) descreve que a classificação da origem do rutilo (metapelítica ou máfica) pela proporção de Cr e Nb pode ser calculada pela equação:

$$x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$$

Valores de  $x$  maiores que 0 indicam que a origem do rutilo é metapelítica. Valores negativos indicam origem máfica.

### 1.4.3 Geotermômetro Ti no quartzo

O quartzo é segundo mineral mais abundante da crosta terrestre e está presente em grande parte das rochas metamórficas. O Ti substitui Si no quartzo, em concentrações na ordem de 1 a 100 ppm. Essa substituição ocorre sem balanço de carga devido aos dois elementos serem cátions tetravalentes (WARK; WATSON, 2006). A substituição

do Ti por Si no quartzo é altamente sensível à temperatura podendo ser utilizada como geotermômetro (WARK; WATSON, 2006). Além da temperatura, Thomas et al. (2010) descreve que a substituição de Ti no quartzo também é sensível a pressão, segundo esses autores as condições de  $P$  e  $T$ , através desse geotermômetro, pode ser mensurada pela seguinte equação:

$$RT \ln X_{\text{TiO}_2}^{\text{quartz}} = -60952 + 1,520 \cdot T(K) - 1741 \cdot P(\text{kbar}) + RT \ln a_{\text{TiO}_2}$$

Onde  $R$  é a constante universal dos gases  $8,3145 \text{ J/K}$ ,  $T$  é a temperatura em Kelvin,  $X_{\text{TiO}_2}^{\text{quartz}}$  é a fração molar de  $\text{TiO}_2$  no quartzo e  $a_{\text{TiO}_2}$  é a atividade de  $\text{TiO}_2$  no sistema.

Como ilustrado na figura 3, através do cruzamento dos geotermômetros de Zr no Rutilo e Ti no Quartzo é possível obter, com precisão, as condições de pressão e de temperatura do metamorfismo registradas por esses dois geotermômetros de elementos traços.

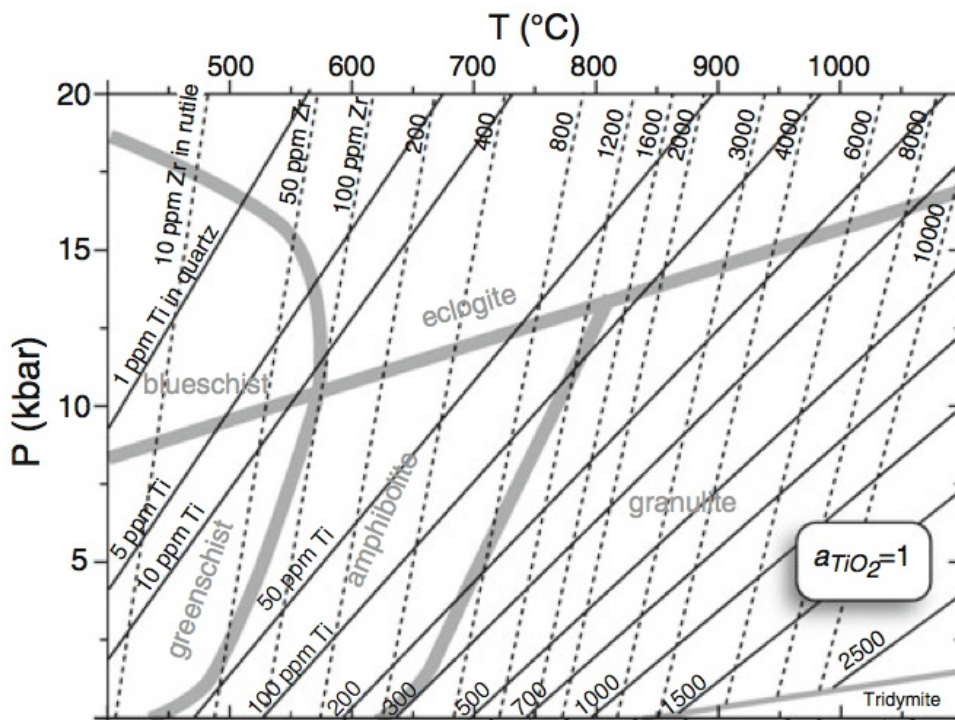


Figura 3: Isopletras dos geotermômetros de Ti no Quartzo e Zr no Rutilo extraído de (THOMAS et al., 2010).

## 2 Geologia Regional

### 2.1 Introdução

A porção sudeste da Plataforma Sul-Americana é composta pelas províncias estruturais do São Francisco, Tocantins e Mantiqueira (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA et al., 1981), onde ocorrem rochas associadas ao Cráton do São Francisco, faixas Brasília e Ribeira, respectivamente. Estas faixas móveis registram importantes processos metamórficos, magmáticos e sedimentares do Neoproterozoico que atuaram no Ciclo Brasileiro (BRITO NEVES; CAMPOS NETO; FUCK, 1999; CAMPOS NETO, 2000). O termo Colagem Brasileira é utilizado para designar as múltiplas orogêneses que resultaram na aglutinação do Gondwana ocidental. Tal colagem é dividida em dois sistemas orogênicos principais: Brasília e Mantiqueira (BRITO NEVES; CAMPOS NETO; FUCK, 1999; CAMPOS NETO, 2000). É nesse contexto, isto é, de sistemas orogênicos neoproterozoicos, que se insere a área de estudo desse presente trabalho (Figura 4).

O Orógeno Brasília Meridional (ou Faixa Brasília Meridional) registra episódios de subducção e colisão neoproterozoicos, referente ao fechamento do paleo-oceano Goiano (antes referido como Goianides), oriundos da quebra toniana do supercontinente Rodínia. O Sistema Orogrênico Mantiqueira, no qual se inclui a Faixa Ribeira, reúne diacronicamente, microplacas e terrenos relacionados ao fechamento do paleo-oceano Adamastor, amalgamados na borda oriental do protocontinente aglutinado à Faixa Brasília Meridional (BRITO NEVES; CAMPOS NETO; FUCK, 1999; CAMPOS NETO, 2000). A evolução das faixas Brasília e Ribeira pode ser entendida como dois episódios sem conexão (CAMPOS NETO, 2000; CAMPOS NETO et al., 2004) ou envolvendo superposição de deformação e de metamorfismo da Faixa Ribeira, mais nova, sobre a Brasília, gerando uma região de interferência (TROUW et al., 2000; TROUW et al., 2013; PETERNEL et al., 2005). Considerando essa discrepância, Campos Neto (2000), Campos Neto et al. (2004) inserem a *Nappe* de Luminárias no Orógeno Brasília Meridional, já Trouw et al. (2000), Peternel et al. (2005), Trouw et al. (2013) inserem a estrutura na zona de interferência entre as faixas Ribeira e Brasília.

Historicamente, a região sul do Estado de Minas Gerais foi alvo de inúmeros mapeamentos de detalhe a partir da década de 1950. Heinz Ebert foi o pioneiro e estudou detalhadamente as rochas da região de São João del Rei e arredores. Tal autor redefiniu a estratigrafia regional e observou que o metamorfismo aumentava de norte para sul (EBERT, 1955; EBERT, 1956; EBERT, 1957; EBERT, 1958; EBERT, 1968; EBERT, 1971; EBERT, 1984). Posteriormente, na década de 1980, a região foi alvo de estudos de professores e pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro, enfocando principalmente



Figura 4: As províncias estruturais do Brasil. O quadrado vermelho representa a área de estudos. Extraído de Hasui et al. (2012)

a estratigrafia das unidades da região e a evolução tectono-metamórfica através de um mapeamento detalhado e a análise microtectônica (HEILBRON et al., 1989).

## 2.2 Zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira

Inicialmente, Hasui e Oliveira (1984) descrevem o limite entre as faixas Ribeira e Brasília como uma faixa orogênica distinta, nomeada Faixa Alto do Rio Grande, que apresenta características semelhantes de outras faixas marginais brasileiras, com polaridade e vergência voltada para o bloco cratônico. Utilizando dados estruturais e geocronológicos, Trouw, Paciullo e Ribeiro (1994) reinterpretaram a Faixa Alto do Rio Grande como a zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. A configuração da porção limítrofe entre as Faixas Brasília e Ribeira é ilustrada na Figura 5.

Segundo Trouw et al. (2000), a zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira é composta pelas seguintes unidades:

- Embasamento (>1,8 Ga): segundo Trouw et al. (2000), o embasamento é formado

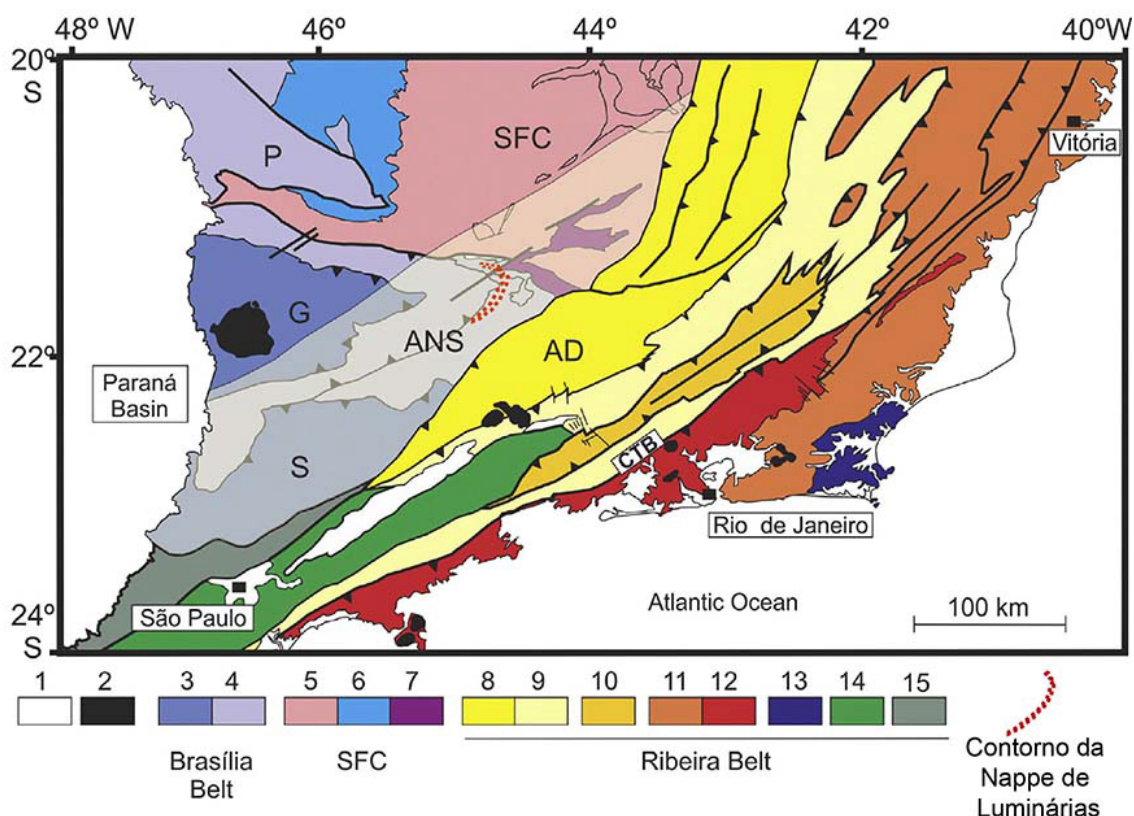


Figura 5: Configuração da porção sul da borda meridional do Crátón do São Francisco, na porção limítrofe entre as faixas, Brasília (FB) e Ribeira (FR) (TROUW et al., 2000; HEILBRON et al., 2004; HEILBRON et al., 2008). 1. Bacia do Paraná e Bacias Cenozoicas; Plúton Alcalinos Cretáceos / Cenozoicos; Faixa Brasília Meridional (3 e 4), 3. *Nappe* de Socorro(S)-Guaxupé(G); Sistema de *Nappes* de Andrelândia (ANS) e Passos (P); Crátón do São Francisco (SFC), 5. Embasamento; 6. Grupo Bambuí; 7. Rochas metassedimentares autóctones / paraúctones; Faixa Ribeira (8-15), 8. Domínio Andrelândia (AD); 9. Domínio Juiz de Fora; 10. Terreno Paraíba do Sul; 11. Terreno Oriental; 12. Arco do Rio Negro; 13. Terreno Cabo Frio; 14. Terreno Embu; 15. Terreno Apiaí. CTB - Contato Tectônico Central. Notar a área sombreada sobre as rochas da FB e CSF (3, 4, 5 e 7), que representa a zona de interferência entre as duas faixas.

por unidades similares ao Cratón do São Francisco, com idades superiores que 1,8 Ga, baseadas em idades de resfriamento metamórfico de K\Ar .

- Bacia São João del Rei (1,8 e 1,0 Ga): a bacia é composta por um sequência de quartzitos, com espessura superior a 1000 m, depositados em ambiente marinho. Tais rochas metassedimentares ocorrem em discordância com o embasamento e sotopostos pela sequência Carandaí. Esta bacia possui idades entre 1,8 e 1,0 Ga, baseado em relações de campo, datações de idade modelo  $T_{DM}$  de Sm/Nd, de Trouw et al. (1997) e correlações com outras bacias proterozoicas (RIBEIRO; SILVA, 1996; PACIULLO, 1997; PACIULLO; RIBEIRO; ANDREIS, 1993; PACIULLO et al., 1998)

- Bacia Carandaí (1,3 a 1,0 Ga): esta bacia registra inicialmente a deposição de sedimentos associados ao rifteamento da bacia, seguidos por fácies marinhas tanto de mar raso quanto profundo (TROUW et al., 2000).
- Bacia Andrelândia (1,0 Ga a 600 Ma): a bacia é composta por rochas metassedimentares com, pelo menos, 1500 m de espessura. As associações de fácies basais são compostas por paragneisses intercalados com anfibolitos, interpretados como depósitos continentais formados no início da fase rifte. Estes depósitos são recobertos por diversas sucessões de paragneisses, quartzitos e metapelitos, interpretadas como registros de diferentes níveis marinhos. No topo desta sucessão, ocorrem intercalações de anfibolitos derivados de basaltos do tipo MORB a transicionais (PACIULLO; RIBEIRO; ANDREIS, 1993; RIBEIRO et al., 1995; PACIULLO, 1997; GONÇALVES; FIGUEIREDO, 1992). A *Nappe* de Luminárias encontra-se nesta unidade.

Peternel et al. (2005) descrevem rochas que registram várias estruturas e associações metamórficas relacionadas aos eventos deformacionais neoproterozoicos que geraram as faixas móveis Brasília e Ribeira na região de Três Corações, a oeste da *Nappe* de Luminárias. Dentre estes eventos, ocorrem dois eventos deformacionais e metamórficos de pressão relativamente alta relacionados à Faixa Brasília e dois eventos metamórficos de pressão mais baixa relacionados à Faixa Ribeira.

Segundo Heilbron et al. (2008), a zona de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira representa o episódio de colisão mais antigo da Faixa Ribeira, e registra o retrabalhamento da borda sul do paleo-continente São Francisco. Nesta zona de interferência, ocorre a superposição do evento metamórfico Brasília (*ca.* 640-610 Ma) com o episódio de *ca.* 605-580 Ma relacionado ao desenvolvimento da Faixa Ribeira (MACHADO et al., 1996; TROUW et al., 2000; HEILBRON et al., 2000; CAMPOS NETO, 2000; CAMPOS NETO; CABY, 2004; HEILBRON et al., 2008; VALERIANO et al., 2004; VALERIANO et al., 2008).

Como as faixas Brasília e Ribeira são ortogonais, a área de interferência pode ser definida como a região em que a influência tectônica e metamórfica entre os cinturões está presente, isso ocorre onde as estruturas de superposição tem vergências contrastantes (Figura 6) ou onde as isógradas metamórficas se truncam (TROUW et al., 2013). Ainda segundo estes autores, a proposta de que o domínio Andrelândia pertence a zona de interferência é mantida, sendo argumentado que este domínio apresenta tanto estruturas tectônicas que indicam transporte NE (Faixa Brasília) sobrepostas por estruturas que indicam transporte NW (Faixa Ribeira). Além disso, Trouw et al. (2013) confirmam a ocorrência de cianita, que pertence a Faixa Brasília, sendo substituída por sillimanita (Faixa Ribeira) no sul da *Nappe* de Luminárias.



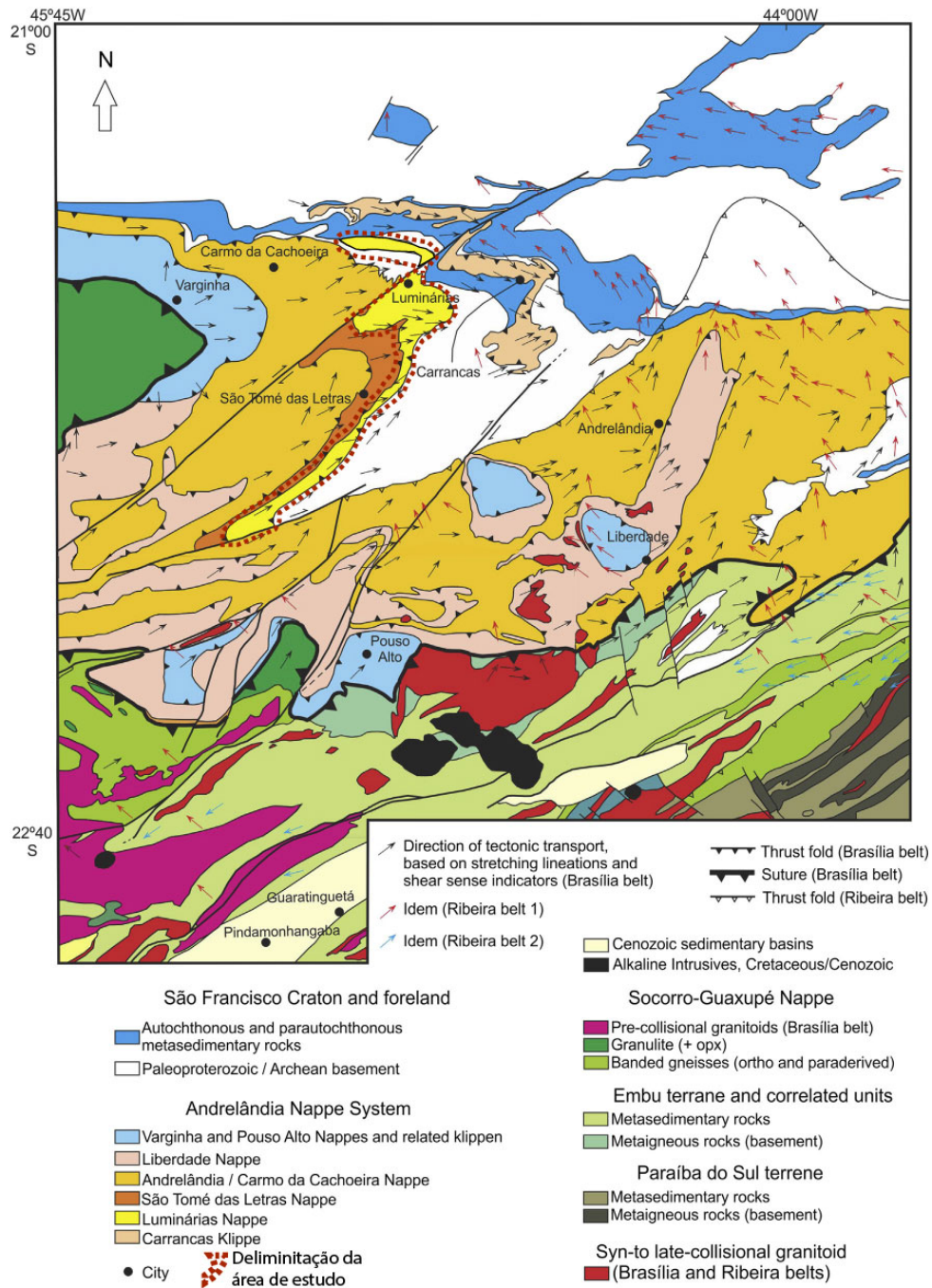


Figura 6: Mapa tectônico da área central da zona de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira, mostrando as diferentes *nappes* e a direção de transporte das duas faixas. A *Nappe* de Luminárias está em destaque (hachura em vermelho). Nota-se que a direção do transporte, na *Nappe* de Luminárias, possui a direção da Faixa Brasília. Extraído de Trouw et al. (2013).

### 2.2.1 Orógeno Brasília Meridional

Campos Neto (2000), Campos Neto e Caby (2000), Campos Neto et al. (2004), Campos Neto et al. (2011) interpretaram que o contato entre as faixas Brasília e Ribeira é abrupto e é marcado por zonas de cisalhamento com direção WSW-ENE (zona de milonitos

Rio Jaguari) que truncam a porção sul da Faixa Brasília na zona de transição com a Faixa Ribeira. Segundo a proposta de Campos Neto et al. (2004), o Orógeno Brasília Meridional é composto por uma pilha colisional de *nappes* formadas em três ambientes tectônicos distintos (Figura 7).

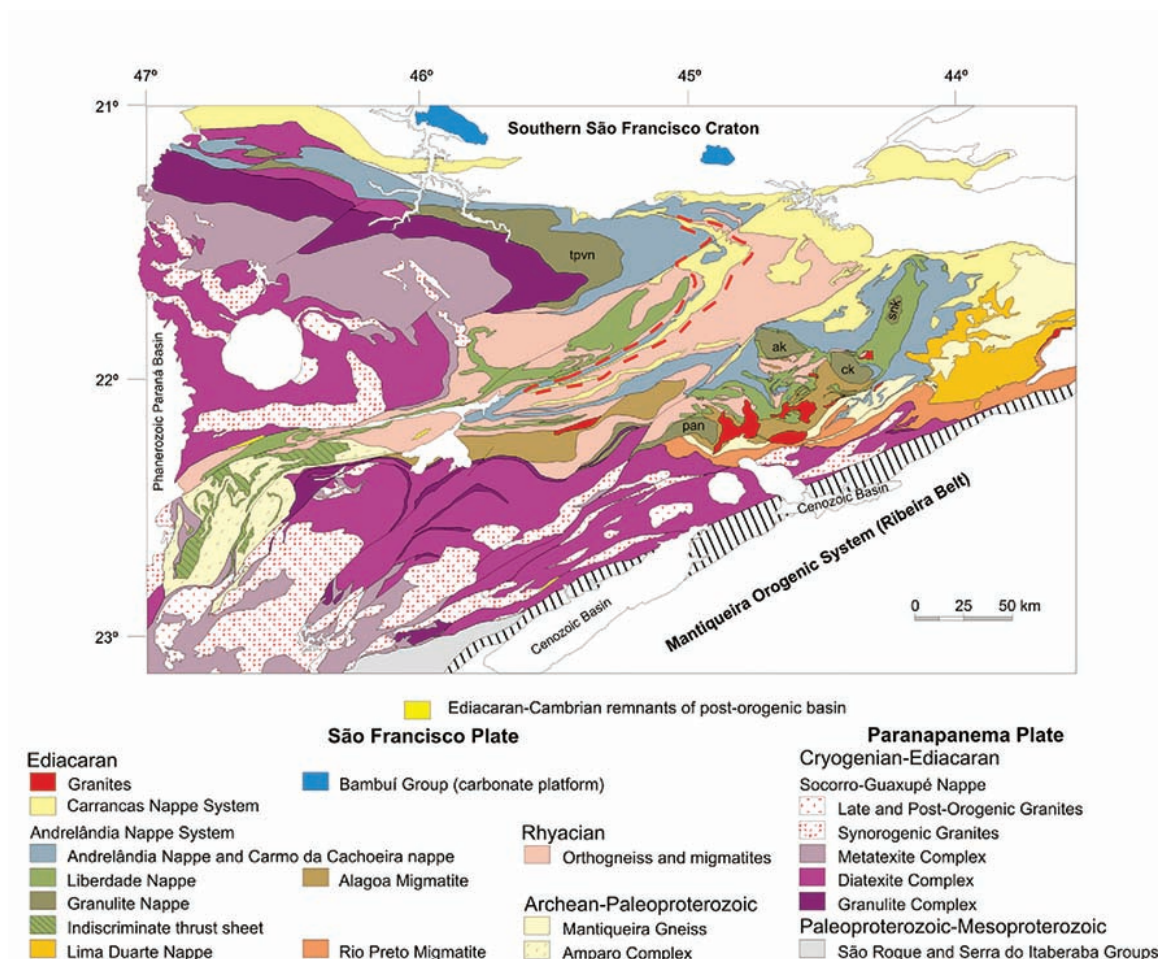


Figura 7: Sistema de *nappes* do Orógeno Brasília Meridional. Três Pontas-Varginha *Nappe* – tpvn, Pouso Alto *Nappe* – pan, Aiuruoca *Klippe* – ak, Carvalhos *Klippe* – ck, Serra da Natureza *Klippe* – snk. A área tracejado em vermelho define o contorno da *Nappe* de Luminárias. Extraído de Campos Neto et al. (2010)

- (i) *Nappe* Socorro-Guaxupé;
- (ii) Terreno ou Domínio Andrelândia;
- (iii) Sistema de *Nappes* Carrancas e *Nappe* Lima Duarte.

### 2.2.2 *Nappe* Socorro-Guaxupé

A *Nappe* Socorro-Guaxupé representa uma pilha alóctone de crosta inferior, com cerca de 15km de espessura. Este domínio possui afinidade com arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema. Segundo Campos Neto (2000),

a *Nappe* Socorro-Guaxupé é dividida nas seguintes unidades: (i) unidade basal granulítica, (ii) unidade diatexítica intermediária, (iii) unidade migmatítica superior, (iv) intrusões plutônicas sintectônicas.

A *Nappe* Socorro-Guaxupé sofreu um metamorfismo de alta temperatura que ocorreu a  $625 \pm 5$  Ma. As unidades superiores apresentam condições metamórficas máximas de  $900 \pm 50^\circ\text{C}$  e  $6,5 \pm 2$  kbar e trajetória metamórfica de aquecimento quase-isobárico (CAMPOS NETO et al., 2004). As condições de alta pressão, com cerca de  $850^\circ\text{C}$  e 14kbar estão presentes unidades mais basais, como a unidade granulítica basal (DEL LAMA et al., 2000; CAMPOS NETO, 2000; FREITAS, 2000; GARCIA; CAMPOS NETO, 2003). Além disso, o equilíbrio metamórfico associado ao relaxamento térmico colisional ocorreu entre  $615 \pm 16$  e  $612 \pm 3$  Ma nos granulitos e entre  $619 \pm 4$  e  $604 \pm 10$  Ma para os granitos meta- e peraluminosos (CAMPOS NETO; CABY, 2004).

### 2.2.3 Terreno Andrelândia

O Terreno Andrelândia representa o domínio continental subductado, formado por um sistema de *nappes* de alta pressão, estirados e transportados para ENE e NE (CAMPOS NETO; CABY, 2004). O Terreno Andrelândia foi dividido, da base para o topo, em três *nappes* principais - Andrelândia, Liberdade e Três Pontas - Varginha - e as *klippen* associadas - Carvalhos, Serra da Natureza, Aiuruoca e Pouso Alto (CAMPOS NETO et al., 2007).

A *Nappe* Andrelândia e a *Nappe* Liberdade são compostas por xistos pelíticos e metawackes, metamorfizados em condições da fácies anfibolito inferior a médio a eclogito. A *Nappe* Pouso Alto e *klippen* associadas (Aiuruoca, Carvalhos e Serra da Natureza) compreendem rochas metamorfizadas em fácies granulito em alta-pressão, caracterizados por rochas pelíticas - com paragênese cianita + granada + ortoclásio + rutilo, livre de ortopiroxênio - e em rochas máficas - com paragênese granada + clinopiroxênio + plagioclásio. Estas estruturas apresentam assinaturas semelhantes às suas trajetórias P-T, em sentido horário e com importante estágio de decompressão isothermal (TROUW, 1992; CAMPOS NETO; CABY, 1999; CAMPOS NETO, 2000; TROUW et al., 2000; MOTTA et al., 2010; COELHO et al., 2015).

### 2.2.4 Sistema de *Nappes* Carrancas e *Nappe* Lima Duarte

Tanto a *Nappe* Lima Duarte quanto o sistema de *Nappes* Carrancas estão inseridos no domínio com afinidades de margem passiva e/ou relacionados à placa Sanfranciscana. A *Nappe* Lima Duarte é composta por quartzito muito grosso, recristalizado em textura milonítica, imbricado por sillimanita-granada-biotita paragneisses migmatíticos (CAMPOS NETO; CABY, 2004).

O metamorfismo nos paragneisses da *Nappe* Lima Duarte é progressivo e ocorrem em fácies anfibolito superior, com pico de  $807 \pm 25^\circ\text{C}$  e  $10 \pm 0,6\text{kbar}$ . A trajetória metamórfica possui sentido horário, saindo do campo de estabilidade da cianita e passando para o campo da sillimanita (ROCHA, 2011).

Segundo Campos Neto e Caby (2004), o sistema de *Nappes* Carrancas é subdividido em quatro escamas de cavalgamento que constituem o terreno frontal do Orógeno Brasília Meridional (Figura 7): *Nappe* Luminárias (objeto de estudo desse trabalho), *Klippe* Carrancas, Alóctone Serra da Bandeira e Alóctone Madre de Deus. Tais escamas de cavalgamento são compostas pelas rochas do Grupo Carrancas.

## 2.3 Grupo Carrancas

Como exposto acima, a *Nappe* de Luminárias é composta por rochas do Grupo Carrancas. A partir de trabalhos de mapeamento realizados no sul do estado de Minas Gerais, o Grupo Carrancas foi definido por Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), que mostraram que as rochas metassedimentares que ocorrem na região entre Lavras e Minduri apresentam características intermediárias entre o Grupo São João del Rei e o Grupo Andrelândia, ambos definidos por Ebert (1956).

Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983) dividiram as rochas metassedimentares do Grupo Carrancas em duas unidades, da base para o topo: Formação São Tomé das Letras, composta predominantemente por quartzito micáceo de coloração esverdeada (muscovita esverdeada) e Formação Campestre, composta por filitos, xistos e quartzitos. Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), ressaltam que os filitos podem conter cloritoide e o xisto pode conter granada, estauroлита e cianita, dependendo da localidade e grau metamórfico. Tais autores destacam que o Grupo Carrancas raramente contém biotita na região de Luminárias, local onde os litotipos das duas formações ocorrem interestratificados. Coutinho (2012) propôs a inclusão da Formação Chapada das Perdizes no Grupo Carrancas, litologicamente equivalente a Formação São Tomé das Letras, porém disposta no topo da sequência.

Ribeiro e Heilbron (1982), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983) consideram que os grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia foram depositados contemporaneamente em um mesmo ciclo sedimentar, porém com diferenças faciológicas. Ribeiro e Heilbron (1982) discutem ainda que os grupos apresentam gradações verticais e laterais entre si, interpretados como variações faciológicas de um único ciclo sedimentar, corroborando a hipótese de Ebert (1956).

Ribeiro e Heilbron (1982) dividiram o Grupo Carrancas em três fácies sedimentares alóctones e uma autóctone. As fácies alóctones são: (i) Itumirim-Carrancas-Minduri, composta por quartzito micáceo com muscovita esverdeada e turmalina das Fm. São Tomé

das Letras e Fm. Campestre, (ii) Três Pontas-Luminárias, constituída por quartzitos com níveis de filitos grafitosos e (iii) São Tomé das Letras-Conceição de Rio Verde, formada por quartzito com muscovita verde e filitos de mica verde. A fácies sedimentar autóctone é formada por biotita xisto, quartzitos e filitos.

A respeito da proveniência e dos ambientes deposicionais das rochas metassedimentares da região ao sul de Minas Gerais, Ebert (1971), Ebert (1968) e Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980) consideravam que as rochas metassedimentares dos Grupos Andrelândia e São José del Rei e Carrancas eram associados a um mesmo ciclo tectono-sedimentar. Entretanto, Andreis, Paciullo e Ribeiro (1989), Andreis, Ribeiro e Paciullo (1989) definem quatro ciclos deposicionais proterozoicos no sudeste de Minas Gerais, sendo eles:

- Ciclo Tiradentes, composto majoritariamente por quartzitos, depositados em uma transgressão sobre rochas expostas do embasamento em ambientes marinhos plataformais proximais rasos ou sob condições de submaré transicionais;
- Ciclo Lenheiro, composto por xistos, quartzitos e metapelitos, de origem fluvial na base e de origem lagunar-planície de maré no topo;
- Ciclo Carandaí, composto por xistos, metapelitos e metacalcários, sendo interpretados como depósitos de remoção de massa, sem implicações glaciogênicas;
- Ciclo Andrelândia, composto por gnaisses bandados, quartzitos e xistos micáceos, biotita-xistos. O conjunto basal deste ciclo sugere condições plataformais com aporte do embasamento, e os depósitos superiores são interpretados como sucessões plataformais distais associadas às atividades ígneas. Segundo tais autores, o Ciclo Andrelândia se desenvolveu em uma bacia separada dos demais ciclos, porém com idades próximas.

Ribeiro et al. (1995) reconheceram os quatro ciclos deposicionais definidos por Andreis, Paciullo e Ribeiro (1989), que foram depositados em três bacias deposicionais: Bacia de São João del Rei, Bacia Carandaí e Bacia Andrelândia, sendo as duas primeiras são intracontinentais, enquanto a última representa uma margem continental passiva do paleocontinente São Francisco, que se estendia mais para sudeste, em relação ao limite atual do cráton.

Campos Neto et al. (1990) agruparam estas rochas em três sequências deposicionais: Sequência Depositional Carrancas, que corresponde a uma plataforma transgressiva; Sequência Depositional Andrelândia, compatível com sistemas marinhos profundos em ambientes tectonicamente ativos; e Sequência Depositional Itapira, que representa recuo do nível do mar ou um preenchimento de bacia em estágio de pouca subsidência.

Paciullo, Ribeiro e Trouw (2003), Paciullo et al. (2000) reuniram os grupos Andrelândia e Carrancas na *Megassequência Andrelândia*, uma sequência metassedimentar de idade neoproterozoica composta por associações de litofácies distintas e rochas metaígneas associadas. Os autores dividem a megassequência em seis unidades, denominadas da base para o topo (Figura 8):

- Na<sub>1</sub>: biotita gnaiss e anfibolito, interpretados provavelmente como uma intercalação de arenitos feldspáticos e pelitos da fase rifte da evolução da bacia, marcando os primórdios da evolução da Bacia Andrelândia;
- Na<sub>2</sub>: paragneisses intercalados com quartzitos, xisto, rochas calcissilicáticas, mármore, gonditos e anfibolitos, interpretado como parassequências retrogradacionais de trato de sistema transgressivo durante uma fase proto-oceânica;
- Na<sub>3</sub>: quartzitos micáceos, expressivos na *Nappe* de Luminárias, intercalados com xistos, registrando uma provável parasequência agradacional depositada em trato de sistema transgressivo em uma plataforma estável na margem continental;
- Na<sub>4</sub>: filitos/xistos intercalados com quartzitos, compondo sucessões predominantemente pelíticas aluminosas com ocorrências de granada, cloritoide nas fácies xisto verde (norte da *Nappe* de Luminárias) e granada, estauroлита, cianita e/ou sillimanita (sul da *Nappe* de Luminárias). Esta sucessão registra um evento transgressivo, de máxima inundação da bacia;
- Na<sub>5</sub>: biotita xistos feldspático cinza escuro ou negros, homogêneos, transicionais para gnaisses que compreendem depósitos regressivos e transgressivo relacionados a períodos glaciais e pós-glaciais;
- Na<sub>6</sub>: biotita xistos feldspáticos e paragneisses intercalados com rochas calciossilicáticas, metacherts e anfibolito. Granada, cianita e/ou sillimanita e rutilo são minerais metamórficos comuns nas rochas pelíticas e semi-pelíticas. Tais rochas representam prováveis depósitos pelágicos, hemipelágicos e turbidíticos de porções mais distais.

A presença de uma descontinuidade estratigráfica permite individualizar duas sequências: (i) sequência Carrancas, que inclui as unidades Na<sub>1</sub>, Na<sub>2</sub>, Na<sub>3</sub>, Na<sub>4</sub> e caracteriza o domínio alóctone (*Nappe* de Luminárias e São Tomé das Letras e pela *Klippe* de Carrancas); (ii) sequência Turvo, representando o domínio autóctone, composta por biotita xistos e demais rochas associadas às unidades Na<sub>5</sub> e Na<sub>6</sub> (Figura 8).

Trabalhos recentes de Westin e Campos Neto (2013), Westin et al. (2016) sobre proveniência de sedimentos utilizando os métodos de U-Pb (LA-MC-ICP-MS), Lu-Hf (MC-ICP-MS) e Sm-Nd (TIMS) afirmam que a unidade Na<sub>1+2</sub> (Complexo São Vicente)

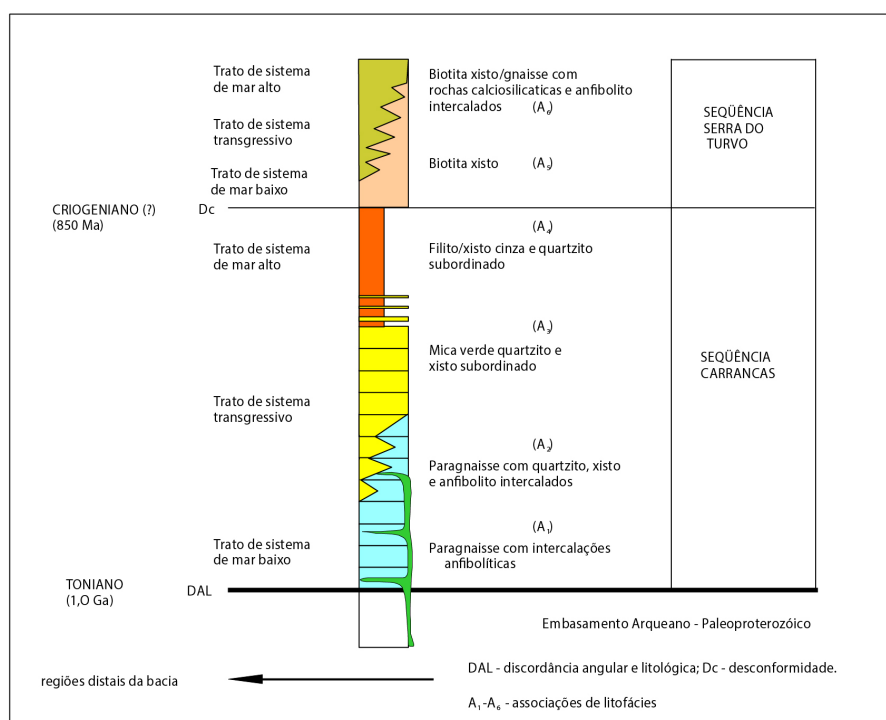


Figura 8: Estratigrafia da Megassequência Andrelândia. Extraído de Paciullo, Ribeiro e Trouw (2003).

é mais antiga que os grupos Andrelândia e Carrancas. Segundo estes autores, as rochas metassedimentares do Complexo São Vicente são imaturas e possuem três idades principais de deposição: 2170 Ma, 2140 Ma e 2130 Ma. A predominância da idade dos zircões detríticos próximas à idade de deposição, além do magmatismo sin-sedimentar, implica que as rochas do Complexo São Vicente foram depositadas em um bacia de margem convergente, com similaridade com bacia de *fore arc* e depósitos de fossa (WESTIN; CAMPOS NETO, 2013; WESTIN et al., 2016).

Segundo os mapas geológicos de Trouw et al. (2003), Quéméneur et al. (2003), Peternel, Trouw e Castro (2008), a *Nappe* de Luminárias é composta majoritariamente pelas unidades Na<sub>1+2</sub>, Na<sub>3</sub>, Na<sub>4</sub> no extremo norte, pelas unidades Na<sub>1+2</sub>, Na<sub>3</sub>, Na<sub>4</sub> e Na<sub>5</sub> a norte, e pelas unidade Na<sub>1+2</sub>, Na<sub>3</sub> e Na<sub>4</sub> ao centro e ao sul.

## 2.4 Geologia Estrutural da região da *Nappe* de Luminárias

Ebert (1971) já descrevia a região de Luminárias-Três Corações-Cambuquira-Lambari-Careaçu como uma zona de extrema atividade deformacional, na qual ocorreram uma série de empurrões em que sequências mais antigas foram empurradas sobre zonas

mais novas. Além disso, a área também possui lascas de embasamento entre as unidades metassedimentares. Nas décadas seguintes, a geologia estrutural das rochas metassedimentares do Grupo Carrancas foi descrita por diversos trabalhos, como Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Trouw et al. (1982), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), Trouw, Paciullo e Heilbron (1984), Trouw et al. (2000), Ribeiro et al. (1990), Paciullo (1980), Heilbron (1984), Valeriano (1985). Os autores destes trabalhos supracitados descrevem a presença de três fases deformacionais no sul do estado de Minas Gerais, sendo essas:

- Fase Deformacional  $D_1$ : tal fase foi responsável pela colocação das nappes e geração de uma clivagem ardosiana  $S_1$ . Esta fase foi definida através das relações com as demais fases, uma vez que dobras  $D_2$  deformavam uma foliação pretérita.
- Fase Deformacional  $D_2$ : esta fase é atribuída à foliação mais penetrativa  $S_2$  e à lineação de estiramento ou mineral  $L_2$ , que, em muitos casos, é paralela ao eixo das dobras de orientação E-W. Segundo Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), a foliação  $S_2$  é de baixo ângulo e corresponde à uma clivagem de crenulação muito apertada e frequentemente marcada por crescimento de micas em muitos filitos, enquanto que no quartzito é observada como uma lineação de estiramento ou mineral  $L_2$ . Os mesmos autores descrevem dobras geradas nessa fase, recumbentes, fechadas, quase isoclinais, empilhadas umas em cima das outras, com eixo 260/05 e superfície axial ligeiramente inclinada para oeste no quartzito na região de Luminárias.
- Fase Deformacional  $D_3$ : corresponde à última fase deformacional e é identificada como dobras milimétricas até quilométricas, com superfícies plano axiais de mergulho forte, geralmente para SE ou localmente para NW, essas dobras geralmente dobram  $S_2$ . Em algumas regiões essa fase foi tênue, causando apenas crenulações suaves em filitos e xistos, além da crenulação de grande escala. A falha de Três Corações é associada a esta fase, devido a sua orientação SW-NE, subparalela a  $S_3$ .

Trouw, Paciullo e Ribeiro (1994), Trouw et al. (2000), Ribeiro et al. (1995), Peternel et al. (2005) defendem que as fases  $D_1$  e  $D_2$  foram geradas durante o desenvolvimento da Faixa Brasília e  $D_3$  está relacionada com a Faixa Ribeira. Todavia, este modelo não é consenso entre os autores.

No extremo norte, a *Nappe* de Luminárias é cortada pela zona de cisalhamento Três Corações. Esta zona de cisalhamento é *strike slip* dextral, com deslocamento de aproximadamente 70km e movimento horizontal, com até 1km de espessura e deslocamento máximo horizontal de 12km. Devido à similaridade de orientação, ao tipo de milonito e à direção do movimento, esta estrutura é considerada contemporânea à zona de cisalhamento de Caxambu, a sul da *Nappe* de Luminárias (BITTENCOURT, 2010; TROUW et al., 2013).



## 2.5 Metamorfismo da *Nappe* de Luminárias

Os estudos que abrangem o metamorfismo da *Nappe* de Luminárias tiveram início na década de 1970, e foram intensificados durante a década de 1980. Ebert (1971) descreveu que as rochas metassedimentares da região de São Tomé das Letras estão metamorizadas em fácies xisto verde, sendo observado um aumento no grau metamórfico em direção à sudoeste.

Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Ribeiro e Heilbron (1982) descrevem que as condições de metamorfismo para as rochas do Grupo Carrancas variam de fácies xisto verde (grau baixo) na porção mais ao norte, e de fácies anfíbolito (grau intermediário) mais ao sul, ambos com pressões intermediárias, devido a presença de granada e cianita. Segundo estes autores, as paragêneses que marcam o grau mais baixo são  $Ms+Ctd+Qtz+Chl$ ;  $Ms+Ctd+Qtz+Grt$ ;  $Ms+Qtz$ ;  $Qtz+Ms+Ky$  e  $Bt+Ms+Qtz+Chl+Pl+Grt$ , enquanto que as paragêneses que marcam as fácies anfíbolito são  $Ms+Grt+St+Qtz+Ky$ ;  $Ms+Qtz$  e  $Qtz+Ms+Ky$ . As abreviações seguiram a proposta de Kretz (1983). Em alguns locais, Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Ribeiro e Heilbron (1982) ainda verificaram reações de retrometamorfismo tardio, registrado por porfiroblastos de granada e estauroлита substituídos por cloritoide. Ribeiro e Heilbron (1982) ainda descrevem que o aparecimento de silimanita mais ao sul (extremo sul da *Nappe* de Luminárias), interpretado como resultado do metamorfismo/deformação da Faixa Ribeira, a qual apresenta regime bórico inferior.

Ribeiro e Heilbron (1982), Trouw, Paciullo e Heilbron (1984) apresentam mapas de distribuição de isógradas metamórficas na região da *Nappe* de Luminárias (Figura 9). Nestes mapas, é possível observar que a *Nappe* de Luminárias é dividida em quatro associações minerais, de norte para sul:  $Grt$ ,  $Grt+St$ ,  $Grt+St+Ky$  e  $Grt+St+Ky+Sill$ . Tais isógradas confirmam a hipótese de que o grau metamórfico aumenta para sul. O fato de que as isógradas metamórficas são oblíquas à direção das camadas indica que o estabelecimento das isógradas se deu posteriormente aos empurrões responsáveis pelo empilhamento tectônico das *nappes* (RIBEIRO; HEILBRON, 1982). O mapa metamórfico de Trouw et al. (2000) (Figura 10) confirma as informações dos mapas anteriores, em que as rochas do norte da *Nappe* de Luminárias estão metamorizadas em fácies xisto verde, as do centro contêm cianita e as do sul contêm cianita e sillimanita. Mapas de isógradas metamórficas posteriores, como Trouw et al. (2013), Peternel et al. (2005), Reno et al. (2012) repetem essas mesmas isógradas para a região (Figura 11 e 10).

Silva (2010) estudou as rochas da *Klippe* de Carrancas, localizada a nordeste da *Nappe* de Luminárias, utilizando o modelagem metamórfico por meio de pseudosseções e análise microtectônica. Dados de geotermobarometria otimizada forneceram condições de pico metamórfico de  $10 \pm 1,7\text{kbar}$  e  $577 \pm 8^\circ\text{C}$  para a Serra da Estância e  $12,9 \pm 1\text{kbar}$  e  $608 \pm 20^\circ\text{C}$  para a Serra das Bicas. Tais condições evidenciam caráter de pressão mais elevado que o metamorfismo barroviano típico. Os resultados também mostram que toda a

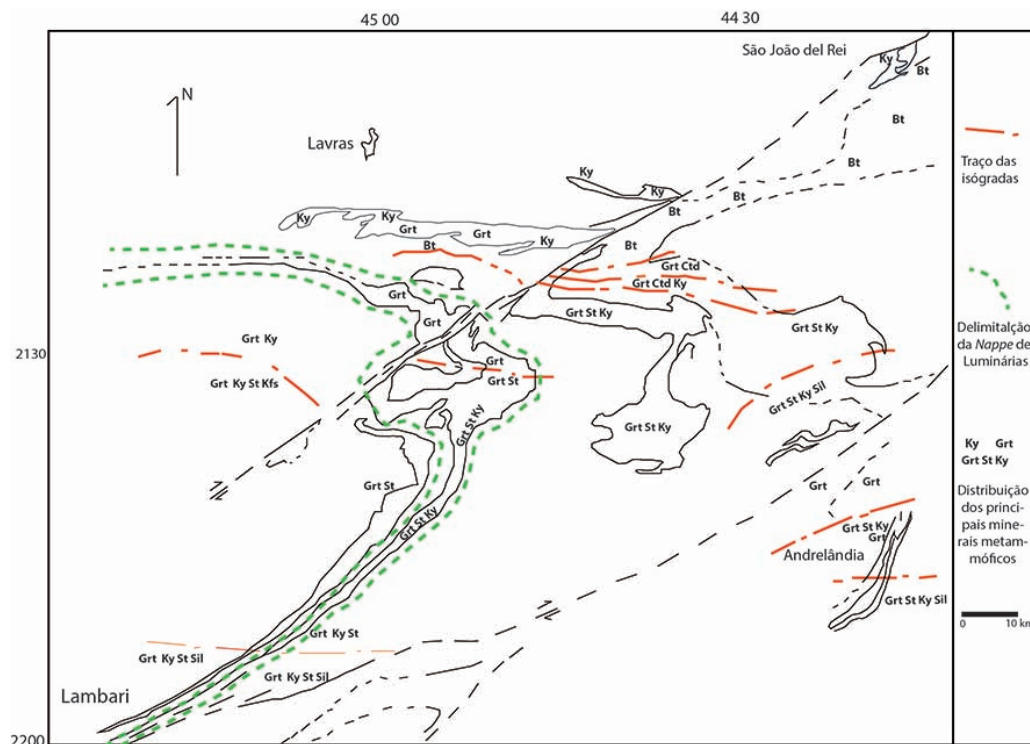


Figura 9: Mapa metamórfico do Grupo Carrancas e Andrelândia, mostrando a distribuição dos minerais índices metamórficos e o traço das isógradas. Nota-se que a granada ocorre como mineral metamórfico na porção norte da *Nappe* de Luminárias, ocorre granada, estauroлита e cianita na porção central e ocorre granada, estauroлита, cianita e sillimanita no seu extremo sul. Extraído de Ribeiro e Heilbron (1982).

porção norte da *Klippe* (região Serra dos Pombeiros, por exemplo) foi metamorfizada em fácies anfibolito inferior, condição na qual estauroлита é estável, contestando o modelo que sugeria ângulo entre a isógrada e os contatos litológicos. Tal autor também interpreta que a ocorrência de sillimanita atribuída ao Grupo Carrancas é produto da quebra da estauroлита durante a descompressão, não estando necessariamente relacionada com o desenvolvimento da Faixa Ribeira, como proposto por Peternel et al. (2005). Silva (2010) discute ainda que os eventos deformacionais responsáveis pelas foliações  $S_1$  e  $S_2$  são concomitantes ao metamorfismo da *Klippe* de Carrancas.

Dentre as fases deformacionais descritas por Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), Ribeiro e Heilbron (1982), Ribeiro et al. (1995), os autores descrevem que a fase  $D_1$  registra o início do metamorfismo, a fase  $D_2$  registra o auge do metamorfismo e fase  $D_3$  atuou após o pico metamórfico. Trouw, Paciullo e Ribeiro (1994), Trouw et al. (2000), Ribeiro et al. (1995) defendem que as fases  $D_1$  e  $D_2$  foram geradas durante o desenvolvimento da Faixa Brasília e que  $D_3$  está relacionada com a Faixa Ribeira. Todavia, este modelo não é consenso dentre os trabalhos na literatura.

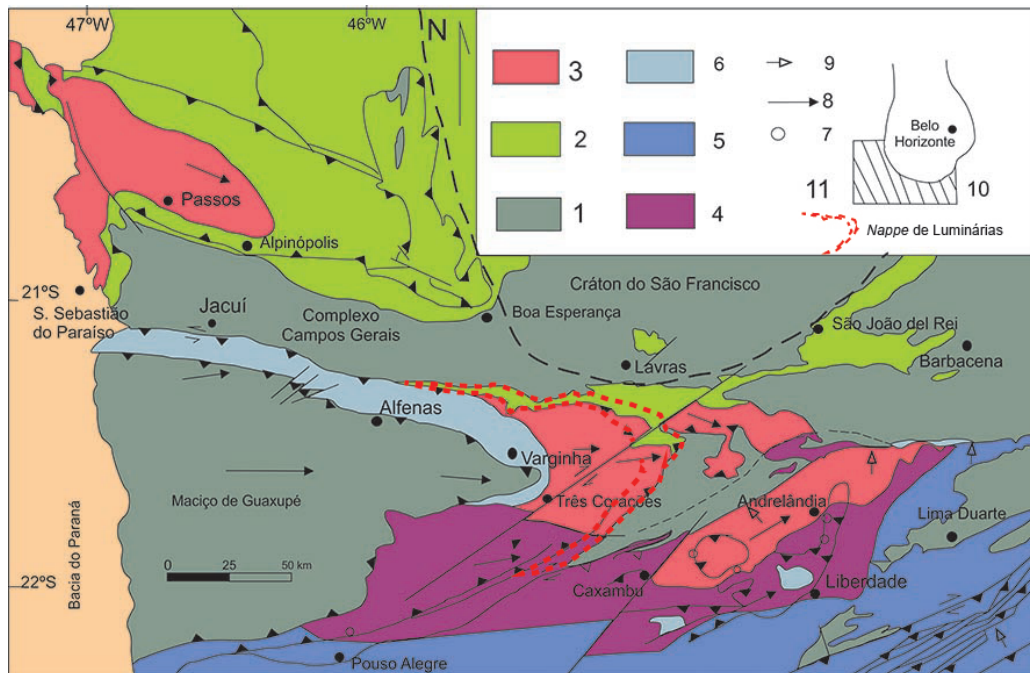


Figura 10: Mapa simplificado de isógradas metamórficas. 1 - Embasamento pré 1.8 Ga; 2. Fácies xisto verde; 3- Cianita; 4- Cianita e sillimanita; 5- Sillimanita em fácies anfibolito; 6- Granulitos de alta pressão (cianita e feldspato potássico); 7- Retroeclogito. Direção do transporte relativo 8- Faixa Brasília e 9- Faixa Ribeira. 10- Localização em relação ao cráton São Francisco. Extraído de Trouw et al. (2000).

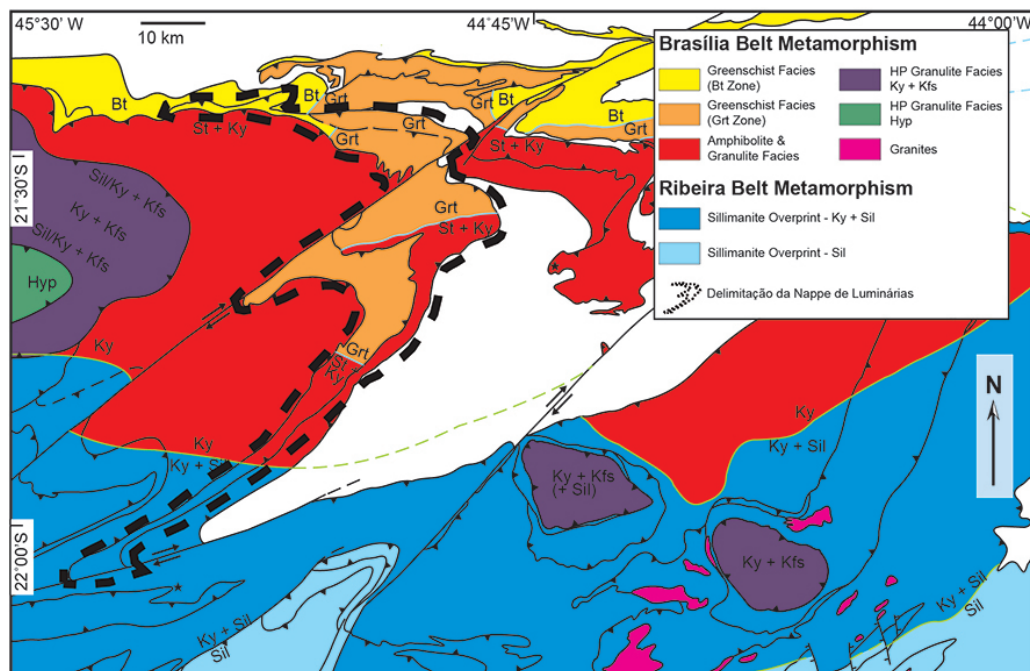


Figura 11: Mapa mostrando as zonas metamórficas do setor meridional do sul da Faixa Brasília. Nota-se que ocorre apenas a granada na porção norte da *Nappe* de Luminárias, ocorre estauroлита e cianita na porção central e ocorre cianita e sillimanita no seu extremo sul. Extraído de Reno et al. (2012).

## 3 Resultados

Apresentam-se a seguir os resultados obtidos no presente trabalho. A descrição das unidades presentes na área de estudos segue a proposta de Westin e Campos Neto (2013), Westin et al. (2016). Os autores utilizam a denominação de Complexo São Vicente para as unidades  $Na_{1+2}$  de Paciullo, Ribeiro e Trouw (2003). Por outro lado, mantém-se a proposta de Paciullo, Ribeiro e Trouw (2003) para as unidades  $Na_3$ ,  $Na_4$  e  $Na_5$ . Os dados referentes a unidade  $Na_4$  são compartimentados em quatro porções (norte, centro-norte, centro e sul) para melhor ilustrar as variações mineralógicas e texturais decorrentes do gradiente metamórfico (Figura 12). Ressalta-se que esta compartimentação refere-se, geograficamente, a área de estudos do presente trabalho (Apêndice A). Essa denominação não corresponde ao extremo norte e sul da *Nappe* de Luminárias, delimitadas pelos mapas apresentados por Trouw et al. (2003), Quéméneur et al. (2003), Peternel, Trouw e Castro (2008), Paciullo e Ribeiro (2008).

### 3.1 Geologia Local

A *Nappe* de Luminárias é composta pelo Complexo São Vicente (WESTIN; CAMPOS NETO, 2013; WESTIN et al., 2016) e pelas unidades  $Na_3$ ,  $Na_4$  e  $Na_5$  da Megasequência Andrelândia (PACIULLO; RIBEIRO; TROUW, 2003). A localização dos pontos descritos em campo é apresentada no Apêndice A (Mapa Geológico). Como base cartográfica, são utilizados os mapas apresentados por Trouw et al. (2003), Quéméneur et al. (2003), Peternel, Trouw e Castro (2008), Paciullo e Ribeiro (2008).

#### 3.1.1 Complexo São Vicente

O Complexo São Vicente é composto predominantemente por biotita gnaisse de granulação fina (Figura 13 B, C e D), com raras intercalações de metapelitos (Figura 13 E e F). Esse complexo ocorre contornando as demais unidades da *Nappe* (Apêndice A) em contato tectônico. Em campo, as rochas do Complexo São Vicente ocorrem como afloramentos de pequenas dimensões (Figura 13 A), como blocos de dimensões métricas e como afloramentos *in situ* em chão de estrada. Quando comparado com as demais unidades, a topografia na área de ocorrência desta unidade é aplainada, sendo composta por morros arredondados e planícies aluvionares.

O biotita gnaisse é finamente bandado (Figura 13 B), com bandas equigranulares de textura granoblástica e lepidoblástica. As bandas granoblásticas são compostas por quartzo ( $\pm 50\%$ ) e plagioclásio ( $\pm 30\%$ ), já as bandas lepidoblásticas são compostas por

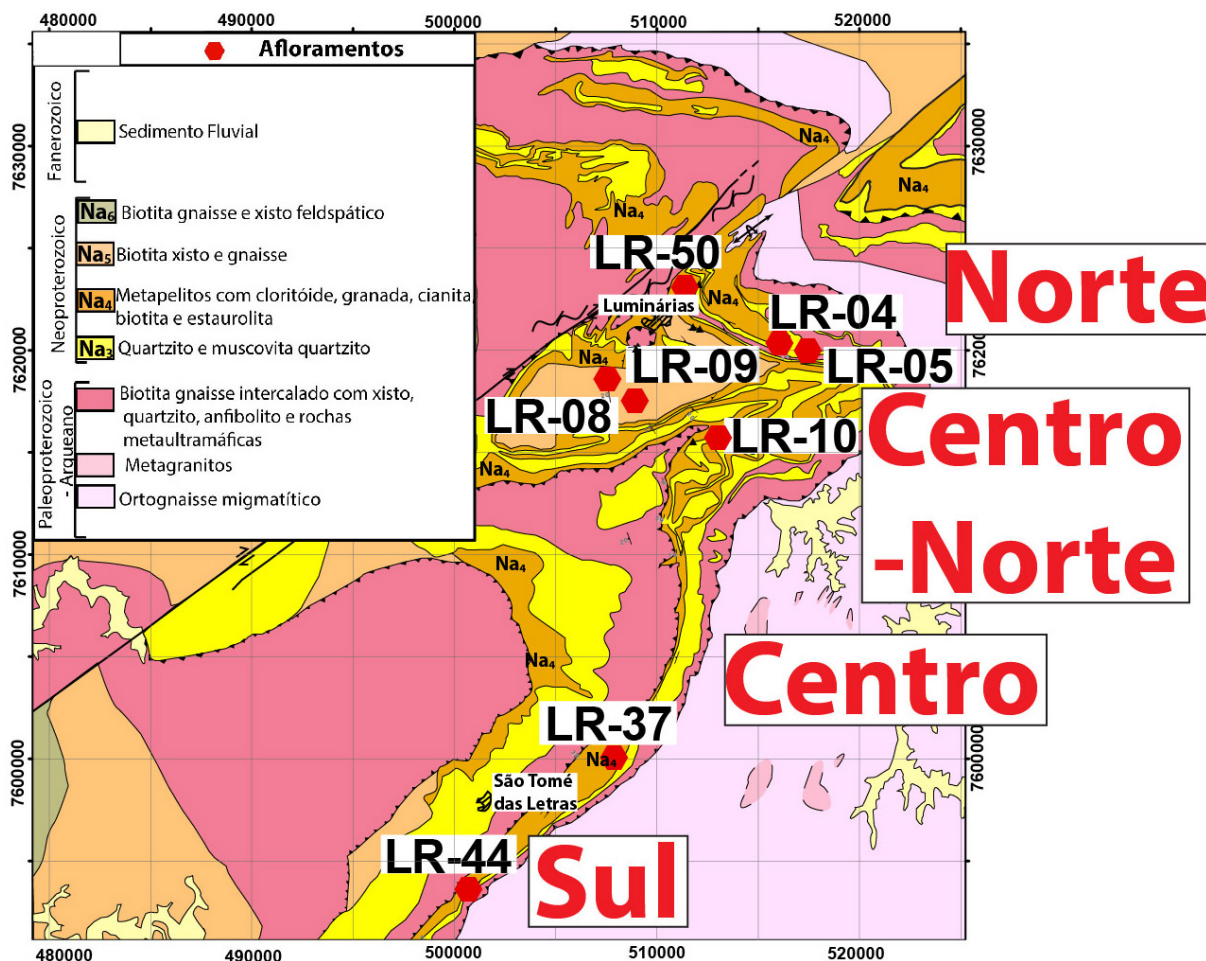


Figura 12: Mapa simplificado da *Nappe* de Luminárias mostrando a compartimentação da estrutura adotada nesse trabalho e a localização das principais amostras de metapelito.

biotita ( $\pm 20\%$ ). Cristais de epidoto, apatita, zircão e minerais opacos ocorrem como minerais traço. A granulação da rocha é fina, com a dimensão média dos cristais em torno de 0,2mm (Figura 13 C e D). A estrutura é anisotrópica, com xistosidade  $S_2$  marcada pela orientação preferencial de cristais de biotita e quartzo alongado. É frequente a presença de crenulações afetando a foliação da rocha.

Raras intercalações de granada xisto porfiroblástico com estauroлита são observadas (Figura 13). A rocha apresenta textura lepidoblástica, inequigranular e porfiroblástica. A granulação da matriz é fina, com dimensões médias dos cristais em torno de 0,4mm. Os porfiroblastos de granada e estauroлита atingem 3mm. A estrutura é fortemente anisotrópica e a foliação  $S_2$  (xistosidade) é marcada pela orientação dos cristais de muscovita, estauroлита e quartzo alongado. A matriz da rocha é composta por quartzo ( $\pm 50\%$ ), muscovita ( $\pm 40\%$ ), minerais opacos ( $\pm 1\%$ ). Clorita, apatita e zircão ocorrem como traço. Os porfiroblastos (Figura 13 E e F) são compostos por granada ( $\pm 6\%$ ) e estauroлита ( $\pm 3\%$ ). As granadas são ricas em inclusões de quartzo, minerais opacos e estauroлита (Figura 13 E). A relação

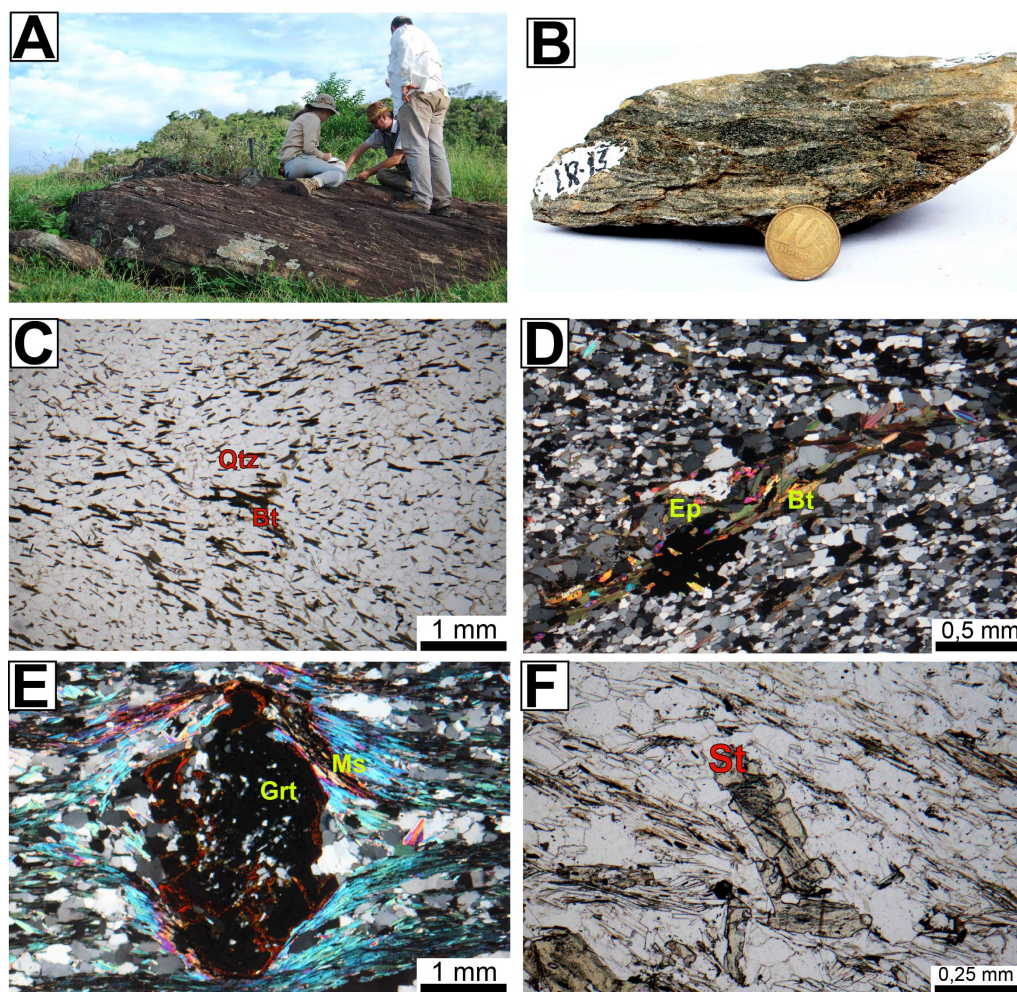


Figura 13: Unidade São Vicente. A) Afloramento de pequena dimensão da unidade. B) Amostra do biotita gnaiss (Ponto LR-13). C-D) Fotomicrografia do biotita gnaiss, onde é possível observar a textura granoblástica e granulação fina. Polarizadores paralelos em c e cruzados em d. E) Fotomicrografia do metapelito, mostrando um porfiroblasto de granada, com polarizadores cruzados (Lâmina LR-13). F) Fotomicrografia do metapelito mostrando um porfiroblasto de estauroлита, polarizadores paralelos (Lâmina LR-11).

da blastese mineral para essa rocha está ilustrada na Figura 14.

### 3.1.2 Unidade Na<sub>3</sub>

A Unidade Na<sub>3</sub> é composta por quartzito. Ocorre por toda a extensão da *Nappe* de Luminárias e possui espessura variável. Na porção norte, tal unidade ocorre como camadas dobradas entre camadas da unidade Na<sub>4</sub>. Nesta porção, os quartzitos bordejam as rochas da Unidade Na<sub>5</sub>, já as rochas da Unidade Na<sub>3</sub> afloram como uma extensa camada N-S entre as unidades São Vicente e Na<sub>4</sub> na porção central e sul da *Nappe* de Luminárias (Apêndice A). A unidade Na<sub>3</sub> ocorre também nas proximidades da cidade de São Tomé das Letras (Apêndice A), onde os quartzitos são explorados como rocha ornamental.

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Quartzo		—————	—————
Muscovita	—————	—————	—————
Granada		—————	—————
Estaurolita		—————	
Biotita		—————	
Clorita			—————

Figura 14: Quadro de blastese mineral da amostra LR-11.

Topograficamente, as rochas da Unidade Na<sub>3</sub> compõem as áreas mais elevadas, sustentando as serras da região (Figura 15 A). Afloramentos métricos (Figura 15 A e B) são frequentes nessa unidade. O contato com a unidade Na<sub>4</sub> é gradacional.

A Unidade Na<sub>3</sub> é composta por quartzito micáceo, raramente intercalado com camadas centimétricas de xistos. O quartzito micáceo possui textura granoblástica, podendo ser equigranular (Figura 15 C) ou inequigranular serial (Figura 15 D), dependendo do grau de recristalização dos cristais de quartzo. A estrutura é anisotrópica, marcada pela orientação dos filossilicatos e de cristais inequidimensionais de quartzo que marcam a xistosidade S<sub>2</sub> da rocha. É comum a presença de dobras onde a foliação principal é plano axial (Figura 15 B). A rocha é composta por quartzo, muscovita e minerais traço. A porcentagem de muscovita é variável, mas em geral inferior à 15%. Em diversas amostras, a muscovita possui coloração esverdeada. A granulação, o grau de recristalização e a extinção ondulante dos cristais de quartzo varia dependendo da localização na *Nappe* de Luminárias. Observa-se um aumento na granulação, no grau de extinção ondulante e do grau de recristalização dos quartzitos de norte para sul (Figura 15 C e D). Os minerais traço presentes no quartzito são magnetita, zircão, rutilo, apatita, hematita, ilmenita e turmalina.

### 3.1.3 Unidade Na<sub>4</sub>

A Unidade Na<sub>4</sub> é composta predominantemente por metapelitos e ocorre sobreposta à Unidade Na<sub>3</sub> e sotoposta à Unidade Na<sub>5</sub>. Aflora desde o extremo norte até extremo sul da *Nappe* de Luminárias, onde está em contato gradacional com a unidade Na<sub>3</sub> e em contato tectônico com o Complexo São Vicente. Ocorre também a oeste da cidade de São Tomé das Letras, fazendo contato gradacional com a Unidade Na<sub>3</sub> e tectônico com o Complexo São Vicente.

As rochas da Unidade Na<sub>4</sub> é observada sob a forma de pequenos afloramentos em canaletas e em pavimento de estradas ou ainda como blocos em pastagens. Exposições com grandes dimensões são raras (Figura 16 A e B). Quando comparada com as demais

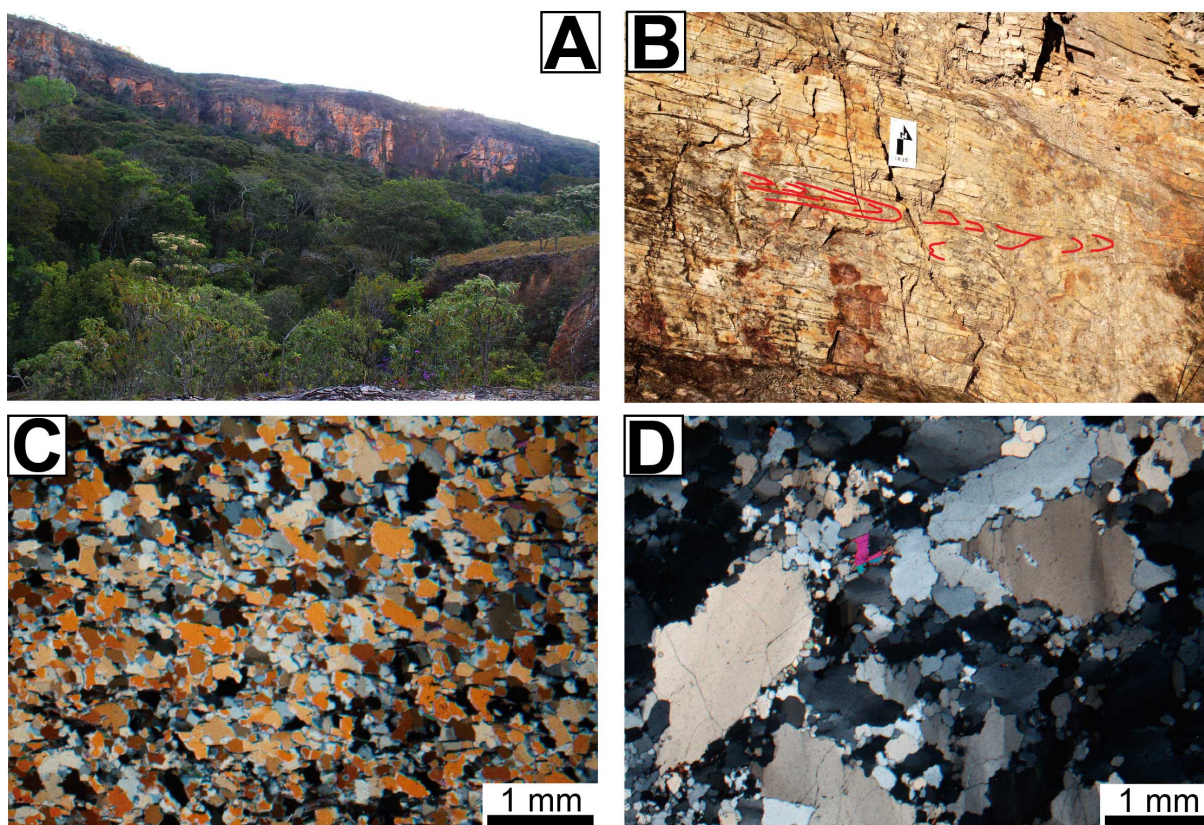


Figura 15: Unidade Na<sub>3</sub>. A) Afloramento de grande dimensão, em forma de um paredão de quartzito no topo da encosta. (Vista do Ponto LR-32). B) Afloramento de quartzito dobrado da Unidade Na<sub>3</sub>, em uma pedreira (Ponto LR-15). A escala possui cerca de 20 cm e as linhas vermelhas destacam as dobras. C) Fotomicrografia do quartzito, com granulação muito fina, localizado no norte da *Nappe* de Luminárias. Polarizadores cruzados (Lâmina LR-15). D) Fotomicrografia do quartzito com granulação média a fina, com forte extinção ondulante e recristalização em forma de subgrãos. Amostra localizada a sul da *Nappe* de Luminárias. Polarizadores cruzados (Lâmina LR-48).

unidades, as rochas da Unidade Na<sub>4</sub> se encontram mais intemperizadas, sendo raras exposições frescas. A área de ocorrência desta unidade é composta por morros arredondados de baixa declividade.

Por ocorrerem ao longo de toda a extensão da *Nappe* de Luminárias e por apresentarem diferentes associações minerais a depender do grau metamórfico, os metapelitos dessa unidade são o foco principal do presente trabalho.

### 3.1.3.1 Metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> da porção norte da *Nappe* de Luminárias

Na porção norte da *Nappe* de Luminárias, os metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> são compostos por muscovita xisto porfiroblástico com cloritoide e cianita (Figura 18 A, B e C) e clorita xisto com estauroilita e cianita (Figura 18 D).

O muscovita xisto porfiroblástico com cloritoide e cianita apresenta textura lepidoblástica, inequigranular porfiroblástica. A matriz é composta por muscovita, clorita,



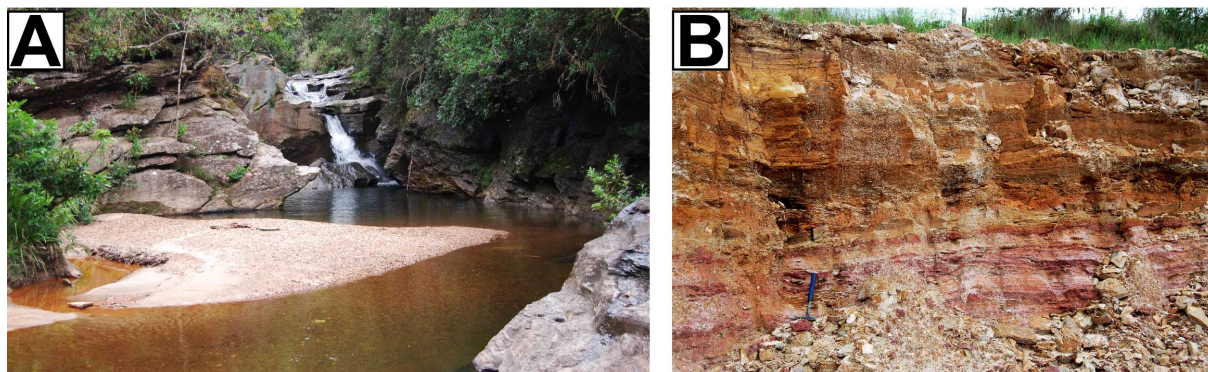


Figura 16: Exemplos de afloramentos da Unidade Na<sub>4</sub>. A) Cachoeira do Mandembe, composta por metapelitos da unidade Na<sub>4</sub>. A cachoeira tem cerca de 20m de altura. (LR-10). B) Afloramento de metapelito avermelhado (base) intercalado com quartzitos alaranjados (topo). O martelo de cabo azul como escala (canto inferior esquerdo) (Ponto LR-01).

cianita e rutilo, já os porfiroblastos são constituídos por cloritoide (Figura 18 A e B). A granulação da matriz é fina, com dimensão média dos cristais de 0,3mm, e os porfiroblastos atingem 4mm. A estrutura é anisotrópica com uma xistosidade S<sub>2</sub> marcada pela orientação preferencial dos cristais de muscovita, clorita e de minerais opacos. Frequentemente, a xistosidade está crenulada (Figura 18 A e B). A rocha é composta por muscovita (±80%) que compõe a matriz, quartzo (±5%) que ocorre como lentes alongadas com extinção ondulante moderada, clorita (±5%), minerais opacos (±5%), rutilo (±2%), cloritoide (±3%) e cianita (traço). Os porfiroblastos de cloritoide não possuem sombra de pressão e a trilha de inclusão segue a foliação externa (Figura 18 A e B) indicando que esse mineral é pós-tectônico em relação à foliação principal (S<sub>2</sub>) da rocha (Figura 17). A cianita ocorre na matriz, marcando a xistosidade S<sub>2</sub> (Figura 18 C), sendo interpretada como sin-tectônica a esta foliação (Figura 17).

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Muscovita		—————	—————
Quartzo	—————	—————	
Clorita		—————	—————
Cloritoide			—————
Rutilo	—————	—————	
Cianita		—————	

Figura 17: Quadro de blastese mineral da amostra LR-04.

O clorita xisto com estauroлита e cianita possui textura lepidoblástica, equigranular. A granulação é fina e a dimensão média dos cristais está em torno de 0,4mm. A estrutura é anisotrópica, com uma orientação preferencial dos cristais de mica e cristais de quartzo alongados. Esta orientação forma uma clivagem espaçada de crenulação anastomosada S<sub>2</sub>, sendo o domínio de clivagem composto por clorita e o micróliton compostos por quartzo.

Esta rocha é composta por: clorita ( $\pm 55\%$ ); quartzo ( $\pm 40\%$ ) que apresenta extinção ondulante forte a moderada; muscovita ( $\pm 3\%$ ); minerais opacos (ilmenita e rutilo) ( $\pm 2\%$ ); e minerais traço. Os minerais traço estão representados por: estaurolita (Figura 18 D), que ocorre como cristais corroídos que estão sendo substituídos por clorita; cianita, que ocorre dispersa; apatita; e rutilo. A relação da blastese mineral para essa rocha está ilustrada na Figura 19.

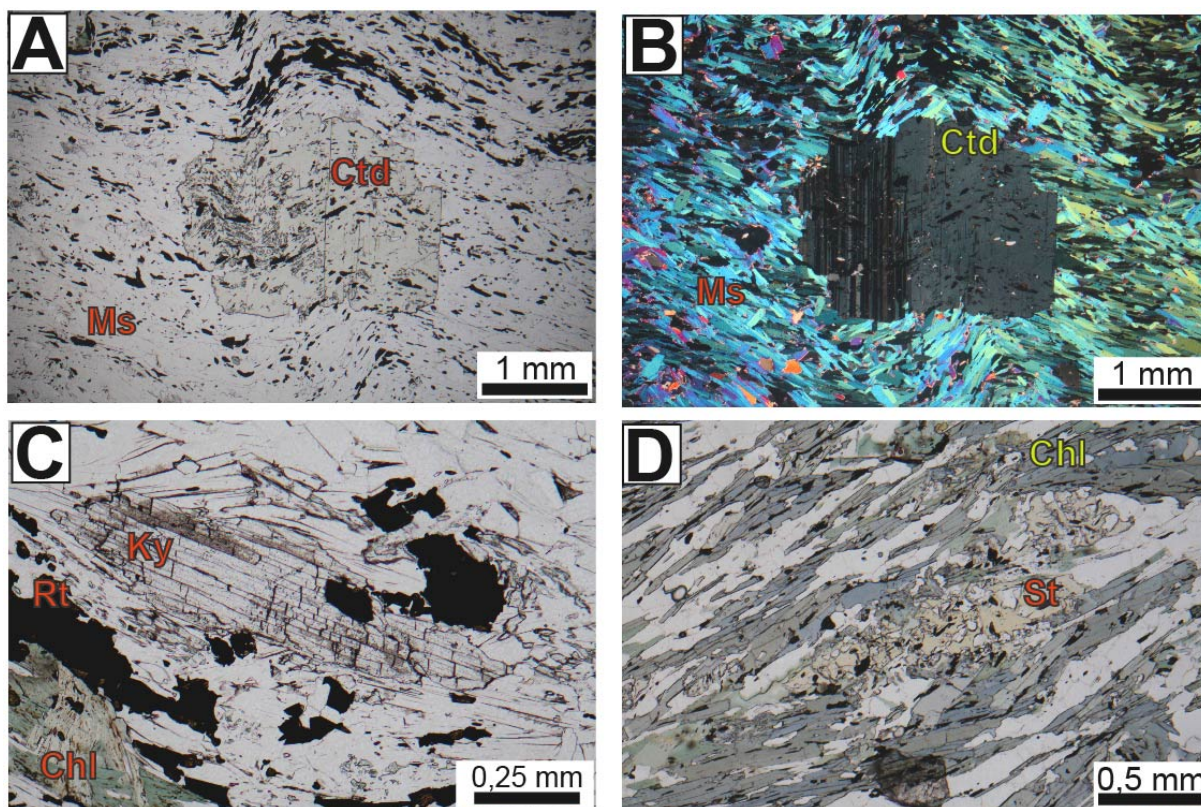


Figura 18: Metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> no Norte da *Nappe* de Luminárias. A-B) Fotomicrografia mostrando um porfiroblasto pós-tectônico de cloritoide ao centro e matriz com textura lepidoblástica crenulada. Polarizadores paralelos em A e cruzados em B (Lâmina LR-04). C) Fotomicrografia mostrando um cristal de cianita no metapelito, na borda inferior esquerda é possível observar cristais de clorita. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-04). D) Fotomicrografia mostrando um porfiroblasto de estaurolita sendo substituído por cristais de clorita. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-05).

### 3.1.3.2 Metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> da porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias

Na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias, os metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> são representados por muscovita xisto porfiroblástico com granada e estaurolita. O ponto LR-10 é um afloramento de grande porte (Cachoeira do Mandembe com mais de 20m de altura – Figura 16 A), onde ocorre uma grande variedade mineralógica na qual é possível observar diferentes texturas reacionais.

O muscovita xisto porfiroblástico com granada e estaurolita possui textura lepidoblástica, inequigranular, porfiroblástica (Figura 20 B). A estrutura é anisotrópica,

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Clorita		—————	—————
Quartzo	—————	—————	
Muscovita		—————	
Rutilo		—————	
Estauroлита	—————		
Cloritoide		—————	
Cianita		—————	

Figura 19: Quadro de blastese mineral da amostra LR-05.

marcada pela orientação dos cristais de flossilicatos que marcam a clivagem de crenulação, foliação principal da rocha  $S_2$  (Figura 20 A). A matriz da rocha é composta por: muscovita ( $\pm 33$  a  $\pm 54\%$ ); quartzo ( $\pm 20$  a  $\pm 42\%$ ) com extinção ondulante e fraca recristalização; clorita (traço a  $\pm 23\%$ ) que ocorre tanto na matriz como bordejando os porfiroblastos; biotita ( $\pm 1$  a  $\pm 13\%$ ) que ocorre inclusa na estauroлита e associada à clorita e a muscovita (Figura 20 C). Apatita, rutilo e minerais opacos ocorrem como traço. Os porfiroblastos são constituídos por granada, estauroлита e, mais raramente, cloritoide. A granada apresenta hábito euédrico a subédrico e é poiquiloblástica (Figura 18 A e B) com inclusões de quartzo e minerais opacos. As granadas apresentam trilhas de inclusão que indicam que o mineral está rotacionado. Os porfiroblastos apresentam sombra de pressão, evidenciando caráter pré- a sin-tectônico em relação à fase de deformação que gerou a foliação principal da rocha ( $S_2$ ) (Figura 21). A estauroлита ocorre sob a forma de cristais euédricos que ocorrem na matriz rica em muscovita e também associados a cristais de cloritoide em domínios poucos micáceos. Os porfiroblastos de estauroлита também são poiquiloblásticos, com inclusões rotacionadas de ilmenita, rutilo e biotita (Figura 20 B e C). Devido a estas características, a estauroлита é interpretada como sin-tectônica a  $S_2$  (Figura 21). Por ocorrerem com as bordas corroídas englobando cristais euédricos de estauroлита, os porfiroblastos de cloritoide são interpretados como pós-tectônicos a  $S_2$  (Figura 20 D) (Figura 21).

### 3.1.3.3 Metapelitos da Unidade $Na_4$ da porção central da *Nappe* de Luminárias

Na porção central da *Nappe* de Luminárias, a Unidade  $Na_4$  possui espessura reduzida (Apêndice A e Figura 12). Durante os trabalhos de campo, nenhum afloramento com rocha fresca foi encontrado, sendo observado apenas afloramentos de pequeno porte (Figura 22 A). Os dois litotipos que ocorrem nesta unidade apresentam a quantidade de quartzo como fator determinante, sendo classificados como metapelitos pobres em quartzo e metapelitos ricos em quartzo.

O metapelito pobre em quartzo é representado por muscovita xisto porfiroblástico

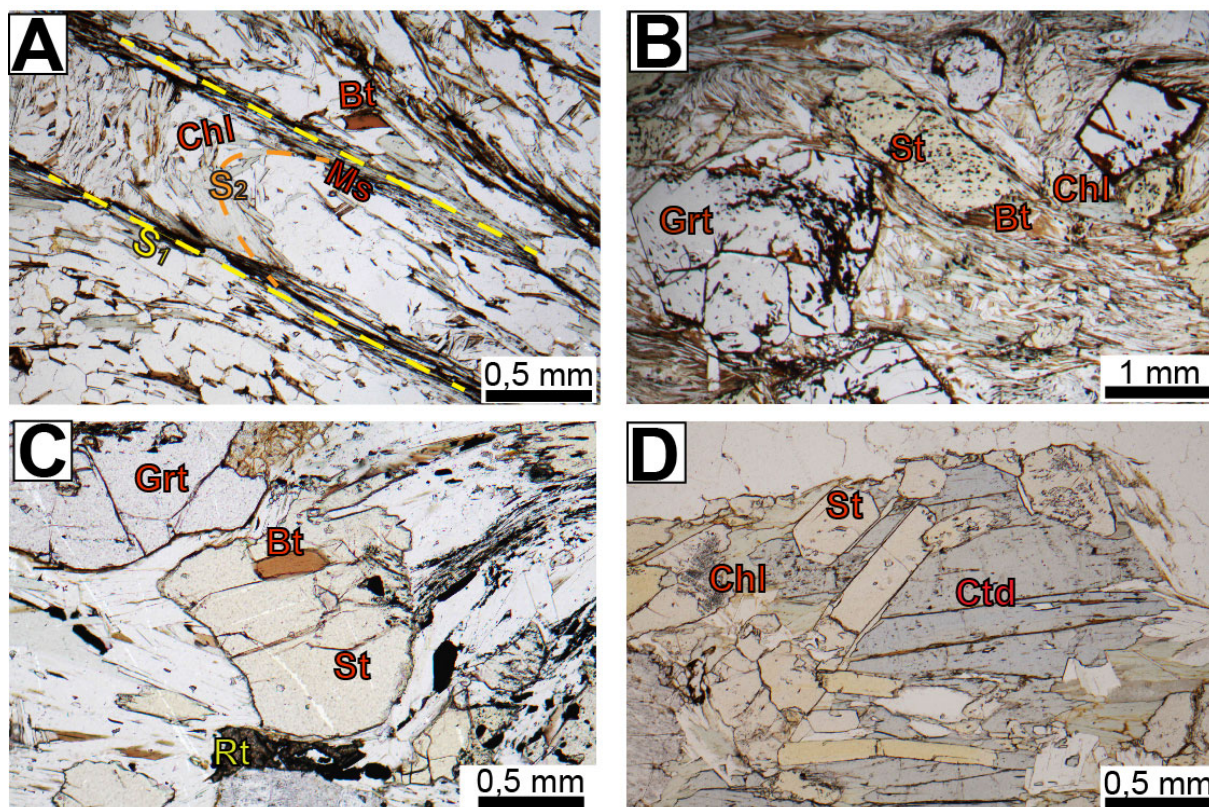


Figura 20: Metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias. A) Fotomicrografia da matriz do muscovita xisto porfiroblástico, mostrando as duas foliações existente que formam uma clivagem de crenulação. A foliação S<sub>2</sub> que está dobrada e a S<sub>1</sub> é formada majoritariamente por muscovita. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-10A) . B) Fotomicrografia dos porfiroblastos de granada e estauroлита sin-tectônicos. A matriz é formada por quartzo, muscovita, biotita e clorita. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-10B). C) Fotomicrografia mostrando porfiroblasto de estauroлита com um cristal de biotita incluído. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-10C). D) Fotomicrografia mostrando o cloritoide subbedral a anedral englobando cristais eudrais a subbedrais de estauroлита. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-10E).

com granada. Em campo, esta rocha ocorre bastante alterada e possui cor vermelha, textura lépidoblástica e porfiroblástica. A granulação é fina, com dimensão média dos cristais em torno de 0,3mm. A estrutura é anisotrópica, marcada pela orientação preferencial dos filossilicatos que marcam a xistosidade S<sub>2</sub>. A matriz é formada por muscovita e quartzo. Porfiroblastos de granada foram observados em algumas amostras, e raros cristais de estauroлита também estão presentes.

As rochas enriquecidas em quartzo são representadas por um monótono muscovita xisto (Figura 22 B). A textura predominante é lépidoblástica, com lentes de textura granoblástica. A granulação é fina, com dimensão média dos cristais em torno de 0,3mm. A estrutura é anisotrópica, marcada pela orientação preferencial dos cristais de muscovita, que marcam a xistosidade S<sub>2</sub>. A rocha é composta por muscovita ( $\pm 60\%$ ) e quartzo ( $\pm 40\%$ ), que ocorre com extinção ondulante moderada. Os minerais traço são: turmalina,

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Muscovita		—————	—————
Quartzo	—————		
Biotita		—————	
Granada		—————	
Estaurolita		—————	
Cloritoide			—————
Rutilo	—————		
Ilmenita		—————	—————

Figura 21: Quadro de blastese mineral das amostras LR-10A, LR-10C e LR-10E.

apatita, estaurolita, óxidos e hidróxidos de Fe (relacionados a processos intempéricos) e minerais opacos.

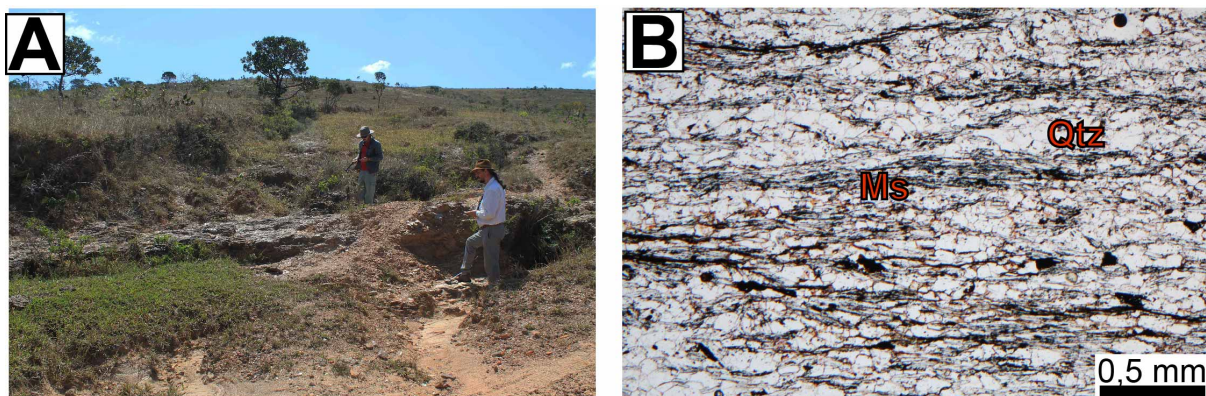


Figura 22: Unidade Na<sub>4</sub> na porção central *Nappe* de Luminárias. A) Afloramento de pequeno porte do granada xisto porfiroblástico com granada bastante alterada (Ponto LR-30). B) Fotomicrografia do muscovita xisto com estrutura anisotrópica. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-32).

#### 3.1.3.4 Metapelitos da Unidade Na<sub>4</sub> da porção sul da *Nappe* de Luminárias

Na porção sul da *Nappe* de Luminárias, a Unidade Na<sub>4</sub> é representada por estaurolita xisto porfiroblástico com granada e cianita, e por muscovita xisto.

O estaurolita xisto porfiroblástico com granada e cianita possui textura nemato-blástica (Figura 23 A), inequigranular e porfiroblástica. A granulação da matriz é fina, com dimensão média dos cristais em torno de 0,5mm. Possui porfiroblastos de granada com dimensões de até 5mm (Figura 23 C e D). A estrutura é anisotrópica, com orientação preferencial dos cristais de muscovita e estaurolita que marcam a xistosidade S<sub>2</sub> (Figura 23 A). A matriz é composta por muscovita (±45%), quartzo (±35%), estaurolita (±20%) e cianita (traço) que também marca a xistosidade S<sub>2</sub> (Figura 23 A). Algumas amostras apresentam traço de biotita e clorita na matriz. Estes minerais ocorrem como cristais anedrais

e não apresentam nítida orientação preferencial, sendo interpretados como tardios a  $S_2$  (pós pico metamórfico) (Figura 23 B e 24). Turmalina, rutilo, zircão, apatita e minerais opacos ocorrem como minerais traço. Os porfiroblastos de granada ( $\pm 15\%$ ) são euedrais a subedrais, poiquiloblásticos, com inclusões internas espiraladas de quartzo, estauroлита, ilmenita e rutilo. As trilhas e inclusões presentes na granada indicam cristalização pré- a sin-tectônica em relação à foliação principal  $S_2$ , e que estas foram rotacionadas (Figura 23 C e D e 24). A estauroлита apresenta hábito subedral a euedral. Como este mineral ocorre incluso nos porfiroblastos de granada, interpreta-se sua cristalização como pré a sin-tectônica em relação a foliação  $S_2$  (Figura 24). A cianita não ocorre inclusa na granada e é interpretada como sin-tectônica à foliação, cuja cristalização se deu posteriormente à estauroлита (Figura 24).

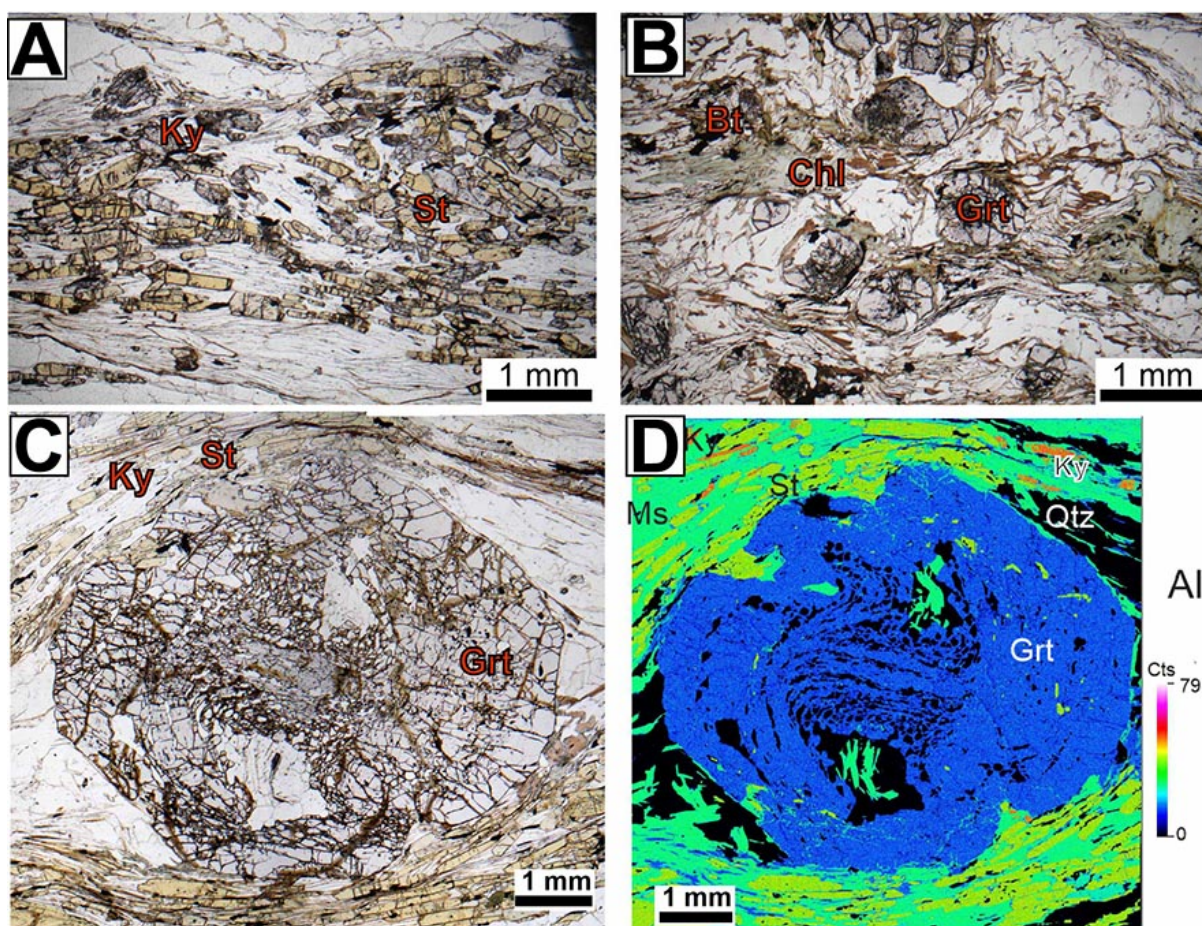


Figura 23: Unidade  $Na_4$  na porção sul *Nappe* de Luminárias. A) Fotomicrografia mostrando a matriz do estauroлита xisto porfiroblástico com granada e cianita. É possível observar a textura nematoblástica da matriz. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-44C). B) Fotomicrografia do xisto porfiroblástico com granada, mostrando a presença de clorita e biotita tardia. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-44A) C) Fotomicrografia de um porfiroblasto de granada do estauroлита xisto porfiroblástico com granada e cianita. Polarizadores paralelos (Lâmina LR-44C). D) Mapa composicional de Al, gerado pela EPMA do porfiroblasto de granada e matriz contendo estauroлита, muscovita, quartzo e cianita. O porfiroblasto apresenta sombra de pressão (Lâmina LR-44C).

O muscovita xisto que ocorre na Unidade Na<sub>4</sub> no sul da *Nappe* de Luminárias, apresenta textura lepidoblástica e equigranular. A granulação é fina, com dimensão média dos cristais em torno de 0,3mm. A estrutura é anisotrópica, marcada pela orientação preferencial dos flossilicatos que marcam a xistosidade S<sub>2</sub>. Estas rochas são compostas por muscovita (25 a 48%), quartzo (30 a 60%) e biotita (10 a 20%). Clorita, granada, turmalina, minerais opacos, plagioclásio e óxidos e hidróxidos de Fe ocorrem como minerais traço nestas rochas.

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Muscovita		████████████████████	
Quartzo	████████████████████		
Estauroлита		████████████████████	
Granada		████████████████████	
Cianita			████████████████████
Rutilo		████████████████████	
Ilmenita			████████████████████
Biotita			████████████████████
Clorita			████████████████████

Figura 24: Quadro de blastese mineral das amostras LR-44A e LR-44C.

### 3.1.4 Unidade Na<sub>5</sub>

A Unidade Na<sub>5</sub> é composta por biotita xisto porfiroblástico com granada. Essa unidade ocupa o topo da sequência metassedimentar que compõe a *Nappe* de Luminárias e ocorre apenas no norte da estrutura (Apêndice A), fazendo contato gradacional com a unidade Na<sub>4</sub>. Em geral, as rochas da Unidade Na<sub>5</sub> afloram sob a forma de blocos e pequenos afloramentos. Raramente ocorrem em afloramentos de maiores dimensões (Figura 25 A). A área de ocorrência da unidade Na<sub>5</sub> é composta por morros arredondados com baixa declividade que atingem cotas intermediárias na região.

O biotita xisto porfiroblástico com granada possui textura lepidoblástica (Figura 25 B), inequigranular porfiroblástica (Figura 25 C e D). A granulação da rocha é fina, cuja dimensão média dos cristais da matriz é em torno de 0,3mm e os porfiroblastos de granada alcançam até 5mm. A estrutura é anisotrópica, sendo marcada pela orientação preferencial dos flossilicatos que formam a xistosidade S<sub>2</sub>. A matriz da rocha é composta por quartzo (20 a 40%), muscovita (30 a a 35%), biotita (10 a 20%), plagioclásio (5 a 15%), clorita (traço a 2%), minerais opacos (traço a 1%), turmalina (traço) e apatita (traço). Os porfiroblastos de granada (2%) são poiquilíticos (Figura 25 C e D), cujas inclusões apresentam minerais opacos, quartzo e muscovita. Além disso, as granadas possuem sombra

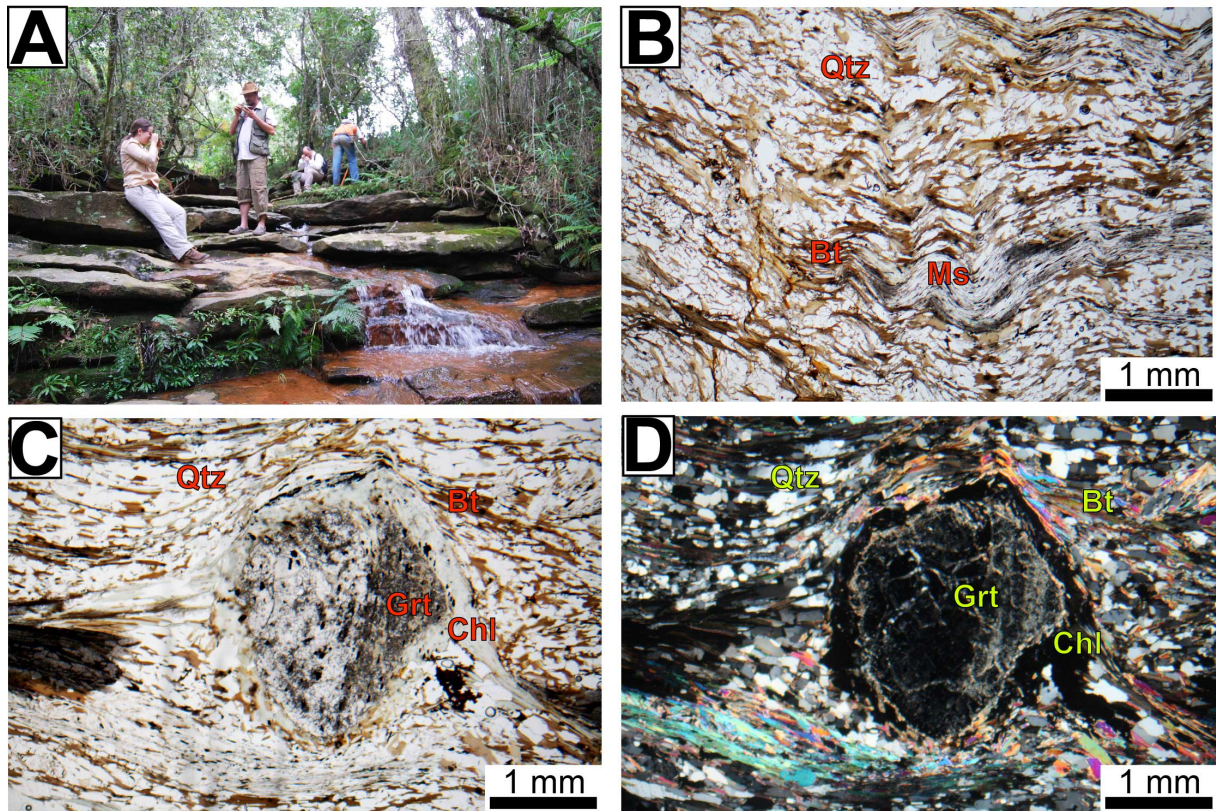


Figura 25: Unidade Na<sub>5</sub>. A) Afloramento em uma cachoeira de pequeno porte composta por metapelitos da unidade Na<sub>5</sub>. (LR-9). B) Fotomicrografia da matriz do biotita xisto porfiroblástico com granada da unidade Na<sub>5</sub>. É possível ver a xistosidade bem marcada, sendo cortada por uma clivagem de crenulação. (Ponto LR-08). C-D) Fotomicrografia do biotita xisto porfiroblástico com granada da unidade Na<sub>5</sub>. No centro, encontra-se o porfiroblasto de granada com sombra de pressão, envolto por clorita em uma matriz composta por muscovita, quartzo e biotita. (Ponto LR-09).

de pressão e são bordejadas por clorita, sendo interpretados como sin-tectônicas em relação a foliação S<sub>2</sub> (Figura 26).

	pré-Sn (D1)	Sn (D2)	pós-Sn (D3)
Muscovita		—————	—————
Quartzo	—————	—————	
Biotita		—————	—————
Plagioclásio	—————	—————	
Clorita			—————
Granada	—————	—————	

Figura 26: Quadro de blastese mineral das amostras LR-08 e LR-09.



## 3.2 Química Mineral

As amostras e os respectivos minerais analisados por EPMA estão indicados na Tabela 1. A localização das amostras é apresentada no Mapa Geológico (Apêndice A). Tabelas contendo as concentrações obtidas para os minerais analisados são apresentadas no Apêndice C. Para o cálculo dos membros finais dos minerais, foi utilizado o software AX (url: <http://www.esc.cam.ac.uk/research/research-groups/research-projects/tim-hollands-software-pages/ax>) desenvolvido por Tim Hollands. Para a estaurolita, os cálculos foram feitos com base nos critérios apresentados por Spear (1995).

Tabela 1: Tabela contendo as amostras de xistos e os respectivos minerais analisados pela EPMA.

Amostras / Minerais	LR-04 Cloritoide xisto com cianita (Norte)	LR-10C Granada xisto com estaurolita (Centro- Norte)	LR-10E Granada xisto com estaurolita e cloritoide (Centro- Norte)	LR-37D Muscovita xisto com granada (Centro)	LR-44A Muscovita xisto com granada (Sul)	LR-44B Muscovita xisto (Sul)	LR-44C Granada estaurolita xisto com cianita (Sul)
Granada		X	X	X	X	X	X
Estaurolita		X	X				X
Cloritoide	X		X				
Muscovita		X	X		X		X
Biotita		X	X		X		
Clorita	X	X	X		X		
Rutilo (elementos traço)		X					X

### 3.2.1 Granada

A granada está presente na *Nappe* de Luminárias desde a porção centro-norte até a porção sul. Na maioria das vezes, este mineral ocorre como porfiroblastos euedrais a subedrais, ricos em inclusões de diversos minerais, como quartzo, estaurolita, biotita, rutilo e ilmenita.

#### 3.2.1.1 Granada da porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias

Na porção Centro-Norte da *Nappe* de Luminárias, foram analisados cristais de granada de dois litotipos representativos (Figura 27): (1) granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita, correspondente à amostra LR-10C (Figura 20 B e C), e (2) granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide, correspondente à amostra LR-10E (Figura 20 D).

Os cristais de granada da porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias apresentam um zoneamento entre o núcleo e a borda. Observando-se os gráficos de composição química dos perfis de granadas (Figura 27), é possível perceber que este zoneamento ocorre bruscamente para os membros almandina e grossulária, porém é mais suave para os tipos espessartita e piropo. Como a composição química das granadas é similar nos dois litotipos,

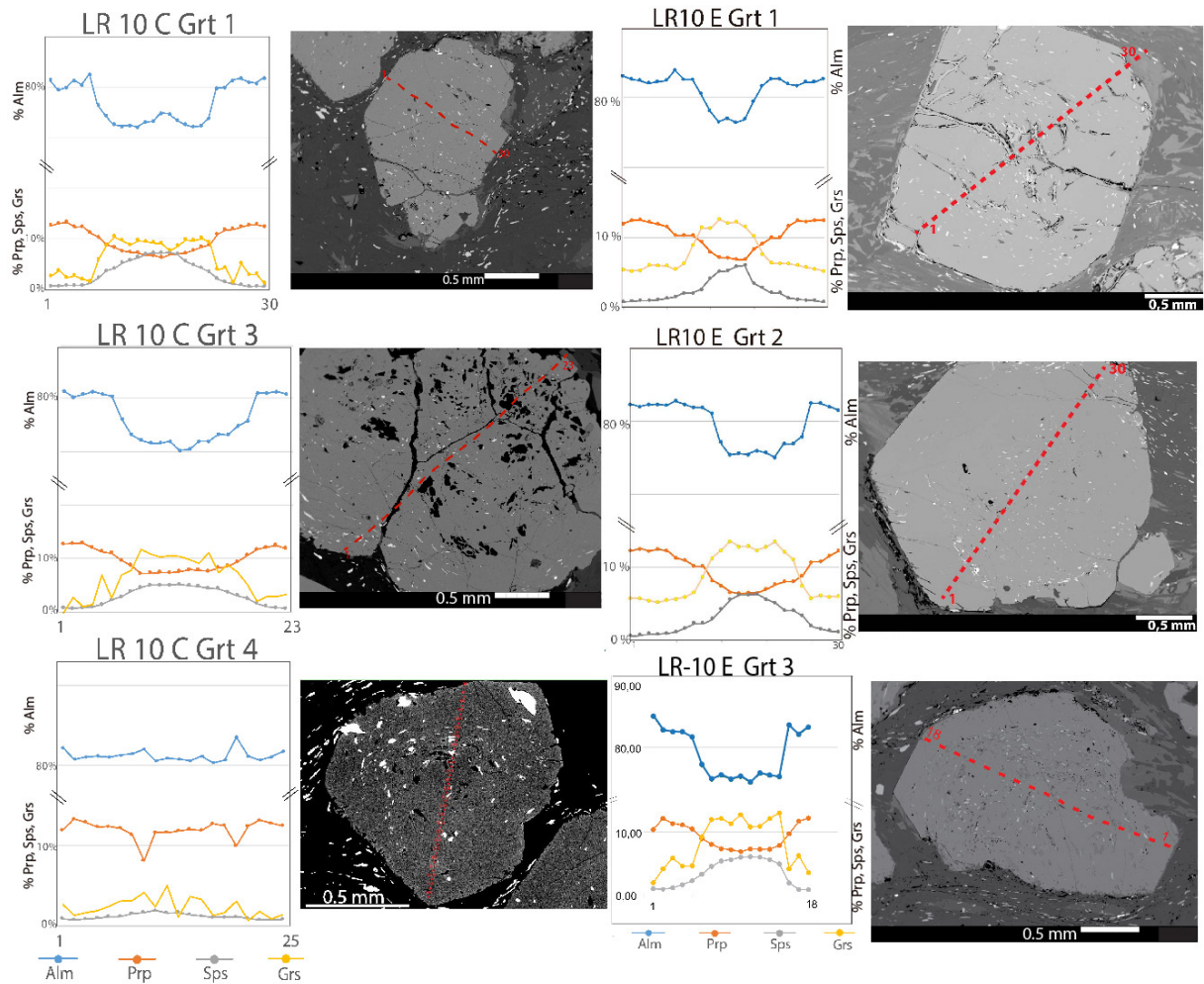


Figura 27: Análise de química mineral dos cristais de granada do granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita (Amostra LR-10C) e do granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide (Amostra LR-10E) da porção centro norte da *Nappe* de Luminárias. À esquerda, gráficos ilustrando a composição química dos perfis em termos dos membros finais da granada. À direita, imagens de elétrons retroespalhados (BSE) dos cristais de granada analisados. Alm: almandina, Prp: piropo, Sps: espessartita e Grs: grossulária.

estas serão descritas em conjunto. Para ambos, o membro principal é almandina, que ocorre tanto na borda quanto no núcleo, alcançando até 85%, em relação aos demais tipos de granada, nas bordas dos cristais. Já no centro dos cristais, os teores mínimos de almandina diminuem para 70%. O membro final piropo apresenta a mesma tendência, de enriquecimento em direção à borda dos cristais, apresentando teores máximos de 13% e teores mínimos de 6,3%. Já a espessartita e a grossulária possuem uma tendência inversa: enriquecimento em direção ao núcleo. Os teores de máximos de espessartita são 7,4% e os mínimos são 0,56% (granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide). Os teores de grossulária variam de 12% a ausente. Em resumo, os teores de Fe e Mg são maiores nas bordas, enquanto que os de Ca e Mn são maiores no centro dos cristais.

O cristal de granada (Grt 4) da amostra LR-10C não apresenta zoneamento (Figura 27). A composição química deste cristal possui valores compatíveis com as bordas dos cristais zonados, indicando assim que o corte do cristal ocorreu ao longo da borda de um cristal.

### 3.2.1.2 Granada da porção central da *Nappe* de Luminárias

Na porção central da *Nappe* de Luminárias, a presença de metapelitos frescos com granada é rara. Foi analisada somente uma granada de um muscovita xisto com granada (amostra LR-37D, Figura 28). Diferentemente de outras amostras, os cristais de granada deste litotipo possuem forma anedral e alongada, com textura poiquiloblástica, com inclusões de ilmenita e quartzo. Ocorre clorita nas fraturas.

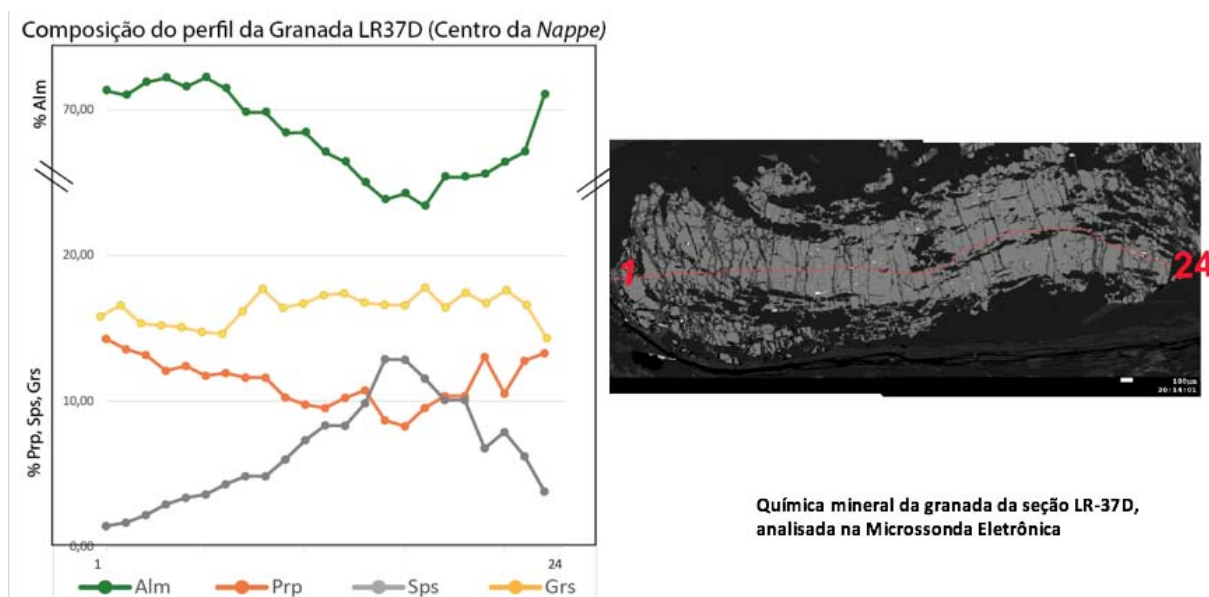


Figura 28: Química mineral da granada do muscovita xisto com granada (amostra LR-37D) do centro da *Nappe* de Luminárias. À esquerda, gráficos ilustrando a composição química dos perfis em termos dos membros finais da granada. À direita, imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do cristal de granada analisado. Alm: almandina, Prp: piropo, Sps: espessartita e Grs: grossulária.

Apesar da morfologia irregular da granada, é observada uma variação composicional para os membros almandina, piropo e espessartita (Figura 28). A almandina é o membro final mais abundante ao longo de todo o perfil, cujos teores aumentam em direção às bordas do cristal (Figura 28). Nas bordas, os teores de almandina variam de 72% a 70%, enquanto que no centro diminuem para 65% a 63%. Os teores de piropo possuem a mesma tendência que a almandina (aumento nas bordas e diminuição no centro), porém seu perfil é sutilmente mais aplainado. Nas bordas, tais teores variam de 14,3% a 11,6%, enquanto que no centro diminuem para 11% a 9%. A espessartita possui padrão inverso, possuindo maiores teores no núcleo em relação às bordas. Nas bordas, os teores de espessartita variam

de 4,85% a 1,44%, enquanto que no centro aumentam para 13% a 10%. Ao longo do perfil, os teores de grossulária variam de 17,6% a 14,1%.

### 3.2.1.3 Granada da porção sul da *Nappe* de Luminárias

A granada é um mineral frequente nas rochas da porção sul da *Nappe* de Luminárias. Foram analisados cristais de granada de três litotipos representativos desta área: xisto porfiroblástico com biotita, granada e plagioclásio (amostra LR-44A), muscovita xisto porfiroblástico com biotita e granada (amostra LR-44B) e granada-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C). A seguir, serão descritos separadamente os cristais de granada analisados destas diferentes rochas.

Os cristais de granada da amostra LR-44A possuem dimensões médias em torno de 1,5 mm. As trilhas de inclusão indicam rotação do porfiroblasto (ângulos em torno de 85°). Os três perfis realizados nos cristais de granada deste litotipo demonstram que os cristais possuem composições distintas (Figura 29). A granada 1 apresenta zoneamento entre a borda e o núcleo do cristal (Figura 29). Tal zoneamento não é regular ao longo do perfil e pode ser interpretado como produto de um ou mais três fatores, como a rotação no mineral, o efeito do corte ou a forma como foi traçado o perfil de análises. A almandina é o membro predominante e possui altos teores na borda do cristal (82% a 74%) e teores menores no centro (74% a 66%). Os teores de grossulária apresentam enriquecimento no núcleo (18,5% a 14,6%) e valores de 14,0% a 6,26% nas bordas. Os teores de piropo e grossulária não acompanham este zoneamento e a variação dos valores não apresenta padrão regular (Figura 29). Os valores de piropo variam de 12,3% a 5,57% e os da grossulária variam de 18,5% a 6,26% ao longo do perfil analisado. Na granada LR-44A 2 (Figura 29), a almandina é o membro principal e seus valores variam de 80% a 88%. O membro piropo é o segundo mais abundante, com valores de 17,5% a 6,25%. Os valores de grossulária variam de 4,11% a 1,12%, enquanto os valores de espessartita variam de 3,22% a 1,08%.

No muscovita xisto porfiroblástico com biotita e granada (amostra LR-44B), a granada é anedral e apresenta composição constante, comparado com os demais cristais de granada analisados (Figura 29). Este cristal é bordejado por biotita e clorita, e possui inclusões de quartzo e ilmenita. A almandina também é o membro principal (Figura 29), porém apresenta valores inferiores (71% a 68%) quando comparados aos demais. O segundo membro mais abundante é a espessartita, com valores de 16,9% a 14,2%. O terceiro membro em abundância é a piropo, com teores de 10,3% a 6,22%. O membro menos frequente é a grossulária, que varia de 4,00% a 0,95%. A composição média desta granada se correlaciona com análises referentes ao núcleo dos demais cristais de granada analisados.

No granada-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C), os porfiroblastos de granada possuem forma subedral e contém trilhas de inclusão (quartzo, ilmenita, rutilo e

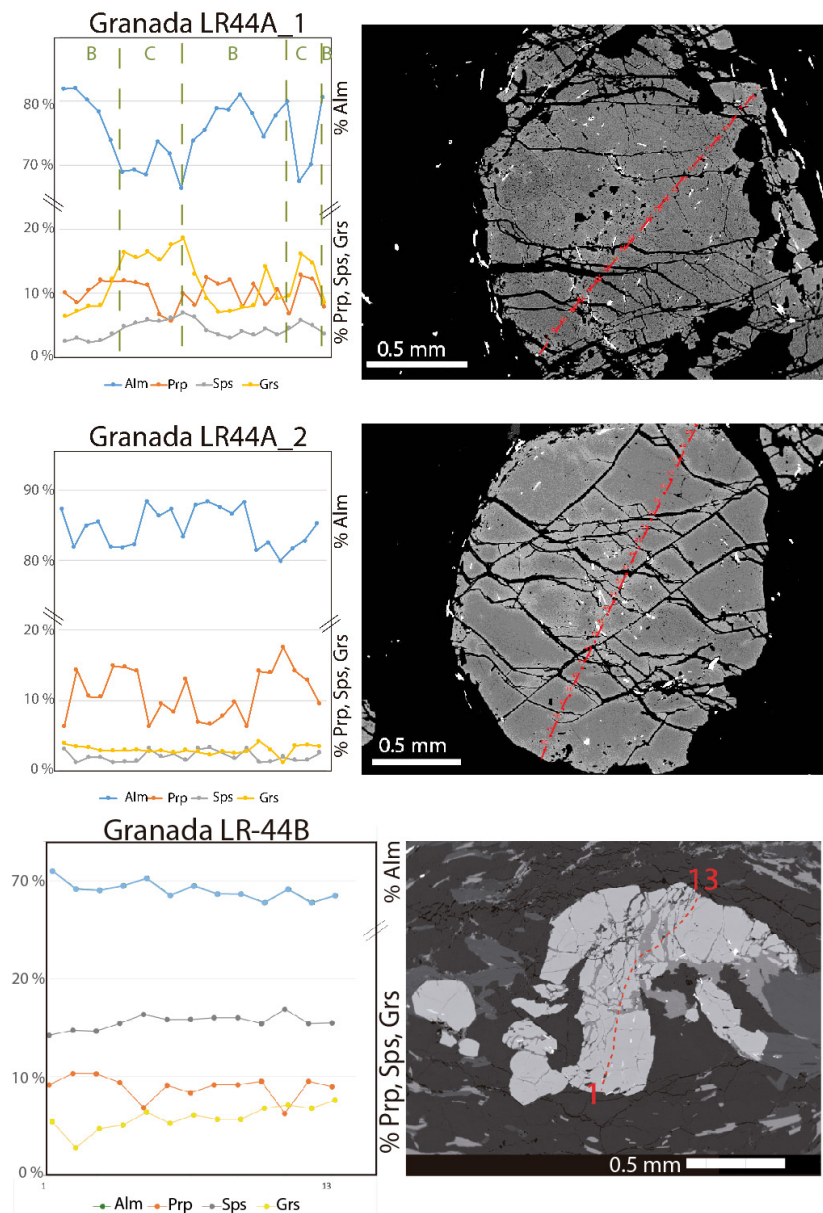


Figura 29: Química mineral da granada do muscovita xisto porfiroblástico com biotita e granada localizado na porção sul da *Nappe* de Luminárias (amostra LR-44A e LR-44B). À esquerda, gráficos ilustrando a composição química dos perfis em termos dos membros finais da granada. À direita, imagens de elétrons retroespalhados (BSE) dos cristais de granada analisados. Alm: almandina, Prp: piropo, Sps: espessartita e Grs: grossulária, C: centro e B: borda.

estauroilita), indicando rotação com ângulo aproximado de  $60^\circ$  (Figura 30 e 31). Estes cristais possuem zoneamento composicional bem marcado entre o núcleo e a borda (Figura 30 e 31). Nota-se que os cristais com dimensões menores possuem composição similar à borda dos porfiroblastos maiores (Figura 30). O domínio da borda possui teores mais elevados de almandina e piropo, enquanto que o domínio central possui teores mais elevados de espessartita (Figura 30 e 31). O membro grossulária se mantém constante. A almandina

é o membro mais abundante, com os teores variam de 84% a 69% nas bordas, e de 77% e 67% no núcleo. A espessartita apresenta o padrão inverso, com valores variando entre 17,0% a 3,30% nas bordas e 21,3% a 14,3% no núcleo. Os teores de piropo variam de 14,4% a 6,16% na borda e de 11,1% a 6,28% no núcleo. Ao longo de todo perfil, os valores de grossulária variam de 3,54% a 0,91%.

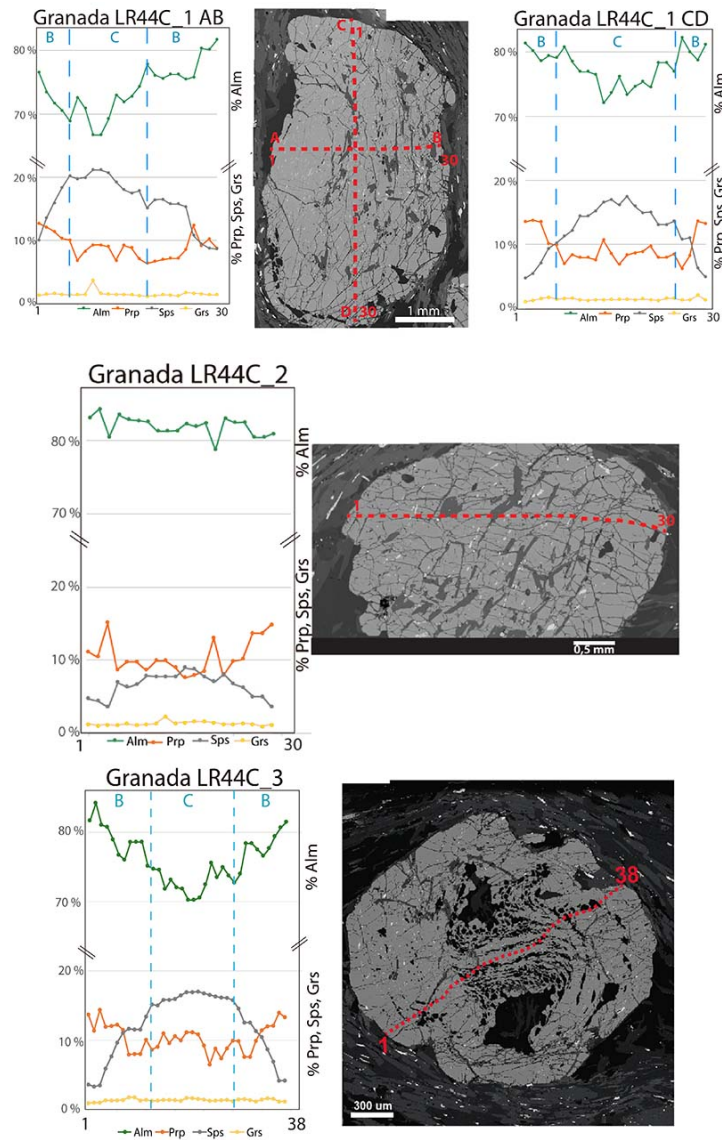


Figura 30: Química mineral da granada do granada-estaurolita xisto com cianita localizado no sul da *Nappe* de Luminárias (amostra LR-44C). À esquerda, gráficos ilustrando a composição química dos perfis em termos dos membros finais da granada. À direita, imagens de elétrons retroespalhados (BSE) dos cristais de granada analisados. A linha azul tracejada divide os domínios da granada. Alm: almandina, Prp: piropo, Sps: espessartita, Grs: grossulária, C: centro e B: borda.

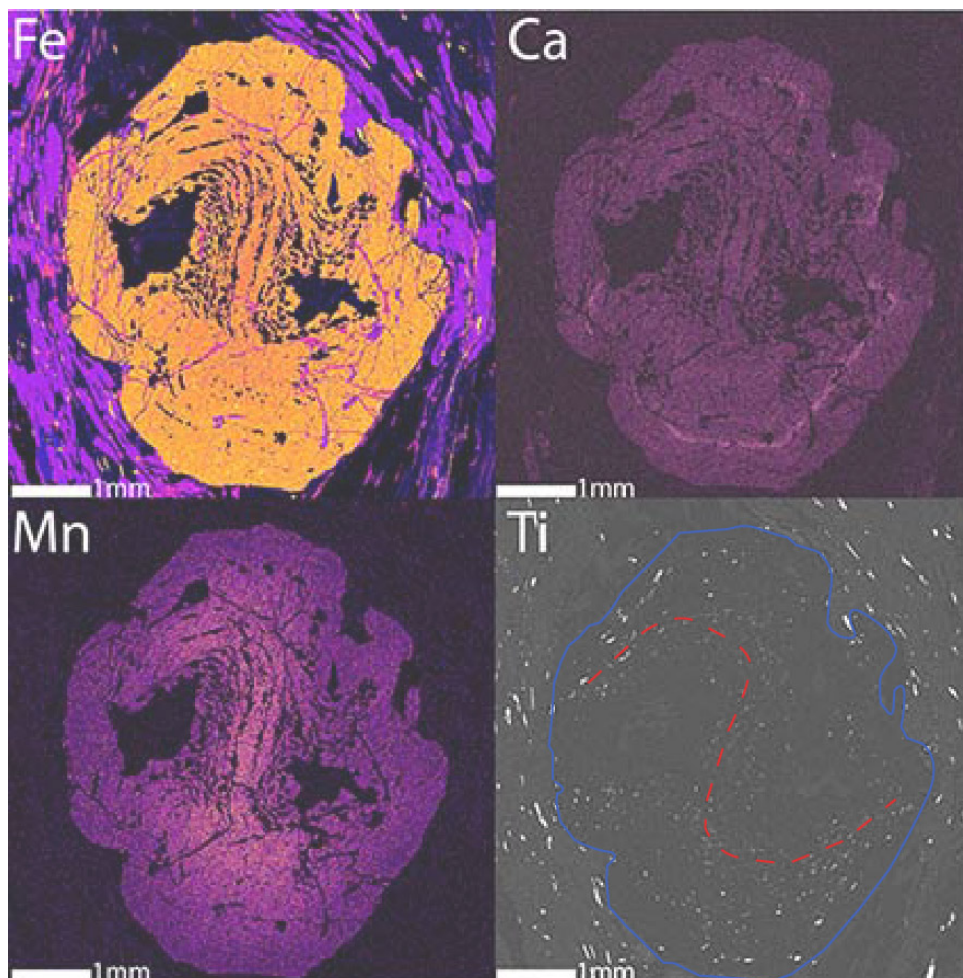


Figura 31: Mapas composicionais obtido pela EPMA da granada do granada-estauroлита xisto com cianita localizado no sul da *Nappe* de Luminárias (amostra LR-44C). Nesta figura, é possível observar a variação composicional do Fe e Mn, uma fina zona mais enriquecida em Ca e os minerais ricos em Ti em uma trilha de inclusões rotacionadas no porfiroblasto de granada (destacada pela linha vermelha pontilhada), marcando a foliação na matriz.

### 3.2.2 Estauroлита

A estauroлита está presente desde a porção centro-norte até a porção sul da *Nappe* de Luminárias. Foram analisados cristais de estauroлита de dois litotipos representativos da porção centro-norte: granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita (amostra LR-10C) e granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide (amostra LR-10E). Na porção sul, foram analisados cristais de estauroлита do granada-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C).

Na porção norte da *Nappe* de Luminárias, os cristais de estauroлита dos dois litotipos são porfiroblásticos, subedrais e possuem inclusões de ilmenita, quartzo e biotita (Figuras 20 e 32). Todavia, a ocorrência de estauroлита na amostra LR-10E está sempre associada aos cristais de cloritoide (Figura 20 D). Já na porção sul, a estauroлита ocorre sob a forma

de cristais subedrais e compõe grande parte da matriz da rocha (Figura 23A, C e D, 32), além de estar inclusa também nos cristais de granada.

A fórmula química média dos cristais de estaurolita é:

- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C - centro-norte):  $\text{Fe}^{2+}_{2,93}\text{Mg}_{0,47}\text{Zn}_{0,12}\text{Mn}_{0,01}\text{Ti}_{0,11}\text{Cr}_{0,01}\text{Al}_{17,38}\text{Si}_{7,57}\text{O}_{46,5}\text{H}_3$
- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte):  $\text{Fe}^{2+}_{3,10}\text{Mg}_{0,51}\text{Zn}_{0,07}\text{Ti}_{0,12}\text{Cr}_{0,01}\text{Al}_{17,19}\text{Si}_{7,63}\text{O}_{46,5}\text{H}_3$
- Granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C - sul):  $\text{Fe}^{2+}_{3,11}\text{Mg}_{0,58}\text{Zn}_{0,02}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,13}\text{Cr}_{0,01}\text{Al}_{17,19}\text{Si}_{7,60}\text{O}_{46,5}\text{H}_3$

Os cristais de estaurolita da *Nappe* Luminárias possuem composição química homogênea, como pode ser observado nos perfis analisados (Figura 32). Sua composição química é similar para os três litotipos, salvo algumas diferenças. Na porção centro-norte da *Nappe* Luminárias, os cristais de estaurolita possuem teores de Zn mais elevados (0,11 a 0,13 a.p.f.u. - amostra LR-10C; 0,05 a 0,09 a.p.f.u. - amostra LR-10E; 0,01 a 0,03 a.p.f.u. - amostra LR-44C). Os teores de Mn são inferiores nas rochas da porção centro-norte quando comparado às do sul da *Nappe* (0,00 a 0,01 a.p.f.u. - amostra LR-10C; 0,00 a.p.f.u. - amostra LR-10E; 0,02 a 0,03 a.p.f.u. - amostra LR-44C).

Como ilustrado no gráfico de  $\text{Si}+\text{R}^{2+}(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Zn}+\text{Mn})$  versus  $x\text{Mg}$  ( $x\text{Mg} = \frac{\text{Mg}}{\text{Fe}+\text{Mg}}$ ) representado na Figura 32), a estaurolita do granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C) possui teores menores de  $\text{Si}+\text{R}^{2+}(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Zn}+\text{Mn})$  quando comparada com a estaurolita dos outros litotipos. Além disso, a estaurolita do granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C) do sul da *Nappe* de Luminárias possui valores de  $x\text{Mg}$  mais elevados, quando comparado com estaurolita da porção centro-norte (0,13 a 0,15 - porção centro-norte; 0,15 a 0,16 - porção sul). Conseqüentemente, a relação de  $x\text{Fe}$  ( $x\text{Fe} = \frac{\text{Fe}}{\text{Fe}+\text{Mg}}$ ) da porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias é superior (0,86) quando comparada à porção sul (0,84).

### 3.2.3 Cloritoide

O cloritoide ocorre apenas nas porções norte e centro-norte da *Nappe* de Luminárias. Duas rochas representativas da *Nappe* foram selecionadas para a análise dos cristais de cloritoide: cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04), representativa da porção norte, e granada xisto com estaurolita e cloritoide (amostra LR-0E), do centro-norte (Figura 33). Visto que a composição química dos cristais é similar, os dados foram tratados em conjunto.



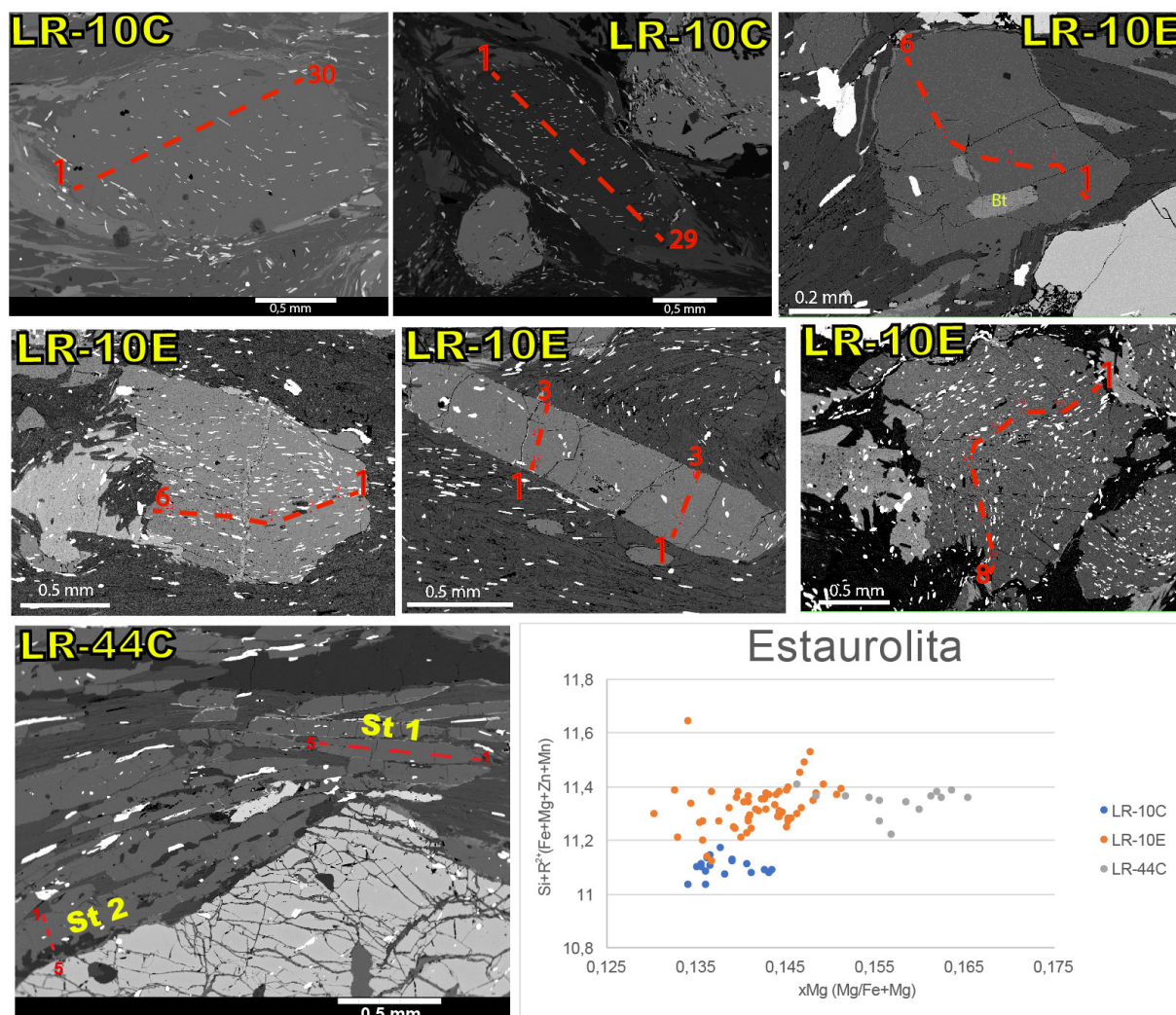


Figura 32: Imagens de BSE dos cristais de estaurolita analisados das rochas localizadas no centro-sul (granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita, amostra LR-10C; e granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide, amostra LR-10E) e no sul (granada-estaurolita xisto com cianita, amostra LR-44C) da *Nappe* de Luminárias. Abaixo, o gráfico de  $\text{Si}+\text{R}^{2+}(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Zn}+\text{Mn})$  versus  $x\text{Mg}$  ( $x\text{Mg} = \frac{\text{Mg}}{\text{Fe}+\text{Mg}}$ ) da estaurolita.

Nas rochas da porção norte (amostra LR-04), o cloritoide ocorre sob a forma de porfiroblastos subedrais ricos em inclusões (poiquiloblásticos) de quartzo, rutilo e muscovita e ilmenita (Figura 18 A e B). As trilhas de inclusão interna seguem a orientação da matriz, indicando ser pós-tectônicos em relação à foliação principal. Na porção centro-norte (amostra LR-10E), os cristais de cloritoide são subedrais a anedrais e ocorrem associados aos cristais de estaurolita (Figura 20 D e 33). Tais cristais estão orientados segundo a foliação principal da amostra. Em ambas as rochas, as concentrações dos elementos analisados são similares e não se observa zoneamento nos cristais.

A fórmula média dos cristais de cloritoide na porção norte, representados na amostra LR-04, é  $\text{Fe}^{2+}_{0,77}\text{Mg}_{0,16}\text{Mn}_{0,05}\text{Al}_{1,95}\text{Fe}^{3+}_{0,07}\text{Si}_{0,99}\text{O}_5(\text{OH})_2$ , enquanto que a fórmula média

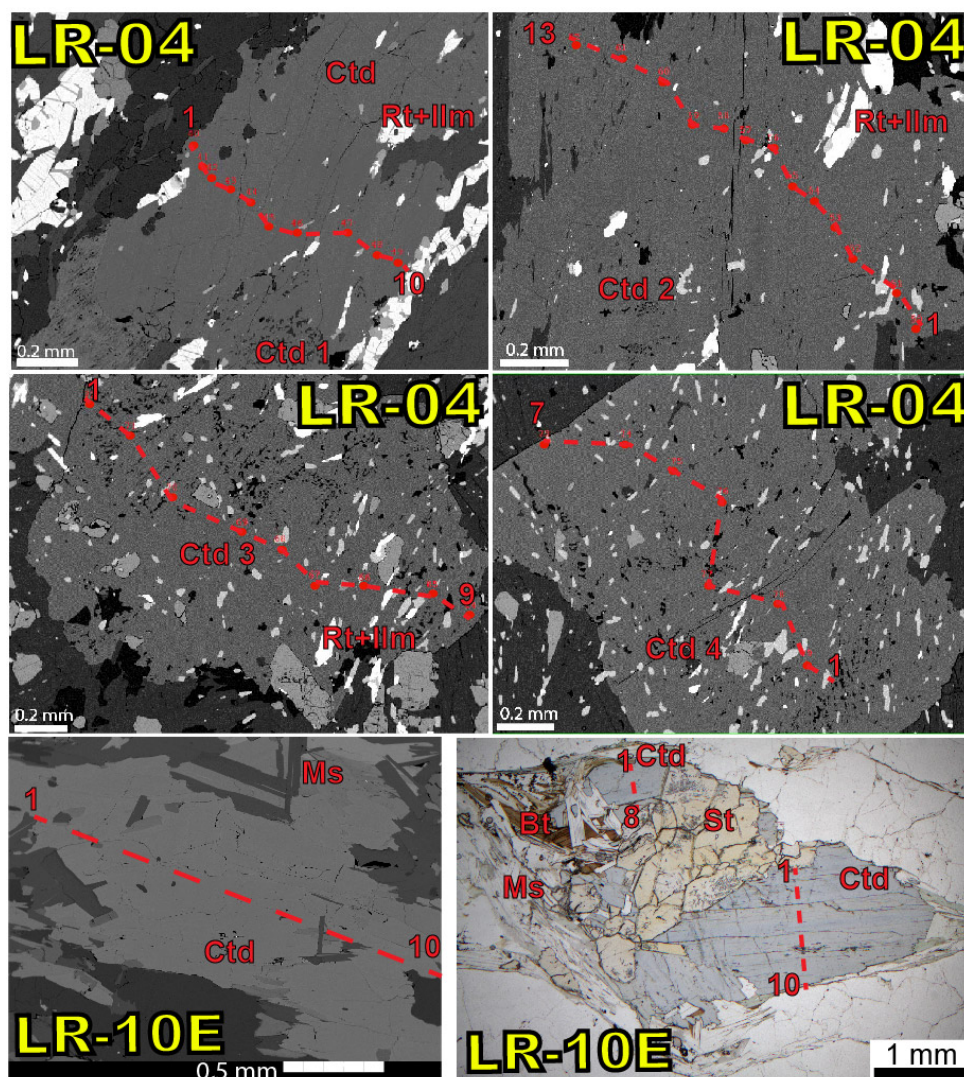


Figura 33: Imagens de BSE dos cristais do cloritoide analisados do cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04) e do granada xisto com estauroлита e cloritoide (amostra LR-10E) do norte e centro-norte da *Nappe* de Luminárias, respectivamente. Na amostra LR-04, os cristais de cloritoide 1 e 2 possuem orientação paralela à foliação, já os cristais de cloritoide 3 e 4 são oblíquos à foliação. A orientação das trilhas de inclusão seguem a foliação externa. Na amostra LR-10E, os cristais de cloritoide ocorrem associados à estauroлита.

dos cloritoides presentes na porção centro-norte (amostra LR-10E) é  $\text{Fe}^{2+}_{0,81}\text{Mg}_{0,19}\text{Al}_{1,97}\text{Fe}^{3+}_{0,01}\text{Si}_{1,01}\text{O}_5(\text{OH})_2$ .

Através de gráficos de dispersão de  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mg,  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mn e  $\text{Fe}^{3+}$  versus Al, é possível observar que as duas amostras possuem tendências diferentes (Figura 34). No gráfico de  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mg, nota-se que os cristais de cloritoide da porção norte apresentam valores de Mg e  $\text{Fe}^{2+}$  inferiores quando comparados à porção centro-norte (Figura 34 A). Todavia, a relação entre estes elementos ( $x_{\text{Fe}} = \frac{\text{Fe}}{\text{Fe} + \text{Mg}}$ ) não se altera significativamente (0,82, amostra LR-04, porção norte; 0,81, amostra LR-10E, porção centro-norte). O gráfico de  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mn mostra que os cristais de cloritoide da porção norte possuem teores

mais elevados de Mn e mais baixos de  $\text{Fe}^{2+}$  em relação à porção centro-norte (Figura 34 B). Os cristais de cloritoide da porção norte possuem teores mais elevados de Al e teores ligeiramente inferiores de  $\text{Fe}^{3+}$  quando comparados com os cristais de cloritoide do centro-norte (Figura 34 C).

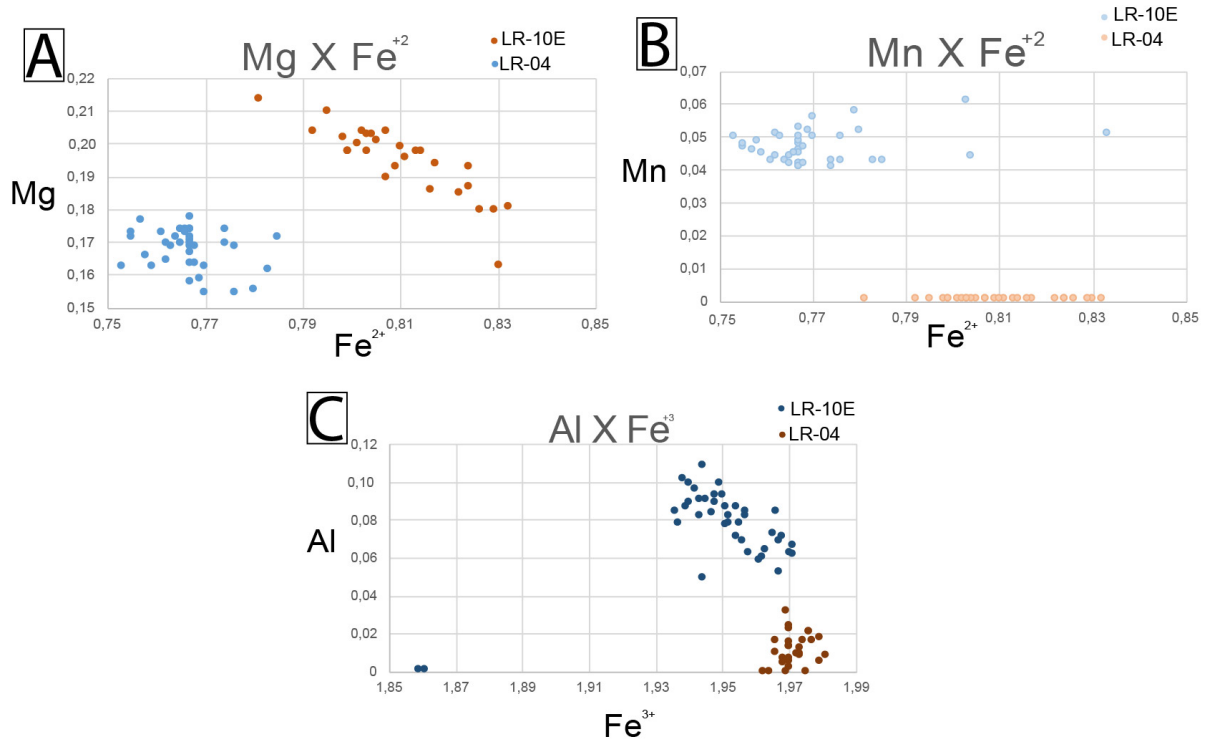


Figura 34: Gráficos de dispersão de alguns dos elementos analisados nos cristais de cloritoide das amostras LR-04 (círculos azuis) e LR-10E (círculos vermelhos). A) Gráfico  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mg. B) Gráfico  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mn e C) Gráfico  $\text{Fe}^{3+}$  versus Al. Valores em a.p.f.u..

### 3.2.4 Muscovita

Foram analisados cristais de muscovita das seguintes rochas: granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita (amostra LR10C - centro-norte), granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte), muscovita xisto (amostra LR-44A - sul) e granada-muscovita-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C - sul). Nestes litotipos, a muscovita ocorrendo sob a forma de cristais subedrais orientados (Figura 35) e representa o principal mineral formador de rocha (com exceção da amostra LR-44C), compondo sua matriz.

A fórmula química média dos cristais de muscovita analisados é:

- Granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita (amostra LR10C - centro-norte):  $\text{K}_{0,81}\text{Na}_{0,15}\text{Mg}_{0,08}\text{Fe}^{2+}_{0,07}\text{Ti}_{0,02}\text{Al}_{2,81}\text{Si}_{3,06}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ .

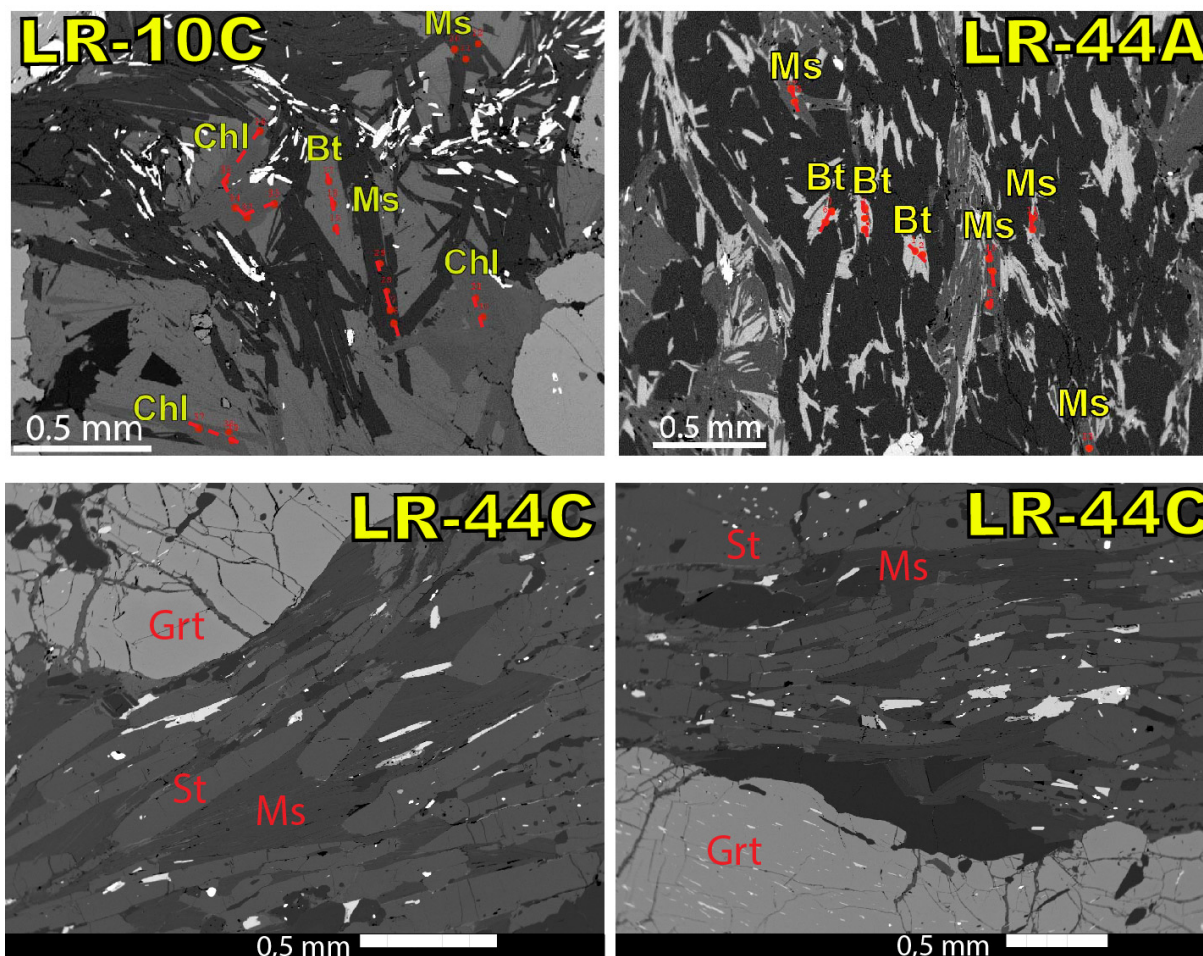


Figura 35: Imagens de BSE dos cristais de muscovita, biotita e clorita analisados da amostra LR10C (granada xisto porfiroblástico com estauroлита e biotita) da porção centro-norte e da amostra LR-44A (muscovita xisto com granada) e do granada-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C) do sul da *Nappe* de Luminárias.

- Granada xisto porfiroblástico com estauroлита e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte):  $K_{0,79}Na_{0,14}Mg_{0,08}Fe^{2+}_{0,07}Ti_{0,01}Al_{2,77}Si_{3,10}O_{10}(OH)_2$ .
- Muscovita xisto com granada (amostra LR-44A - sul):  $K_{0,84}Na_{0,12}Mg_{0,09}Fe^{2+}_{0,07}Ti_{0,03}Al_{2,77}Si_{3,07}O_{10}(OH)_2$ .
- Granada-estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44C - sul):  $K_{0,78}Na_{0,12}Mg_{0,08}Fe^{2+}_{0,06}Ti_{0,03}Al_{2,72}Si_{3,05}O_{10}(OH)_2$ .

Os gráficos de dispersão dos elementos envolvidos nas principais substituições que ocorrem nas micas foram elaborados para caracterizar as variações químicas dos cristais analisados (Figura 36). A partir da análise dos resultados, é possível notar diferenças composicionais entre muscovitas da porção centro-norte (amostras LR-10C e LR-10E) e da porção sul (amostras LR-44A e LR-44C). Em relação aos teores de Na (Figura 36), muscovitas das amostras da porção sul possuem valores inferiores (entre 0,10 a 0,14 a.p.f.u.)

quando comparadas às da porção centro-norte (valores entre 0,14 a 0,16 a.p.f.u.). Os teores de K são inferiores no granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte) e no granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C - sul) (valores entre 0,70 a 0,82 a.p.f.u.) (Figura 36). Já os valores de Ca+Al, (Na,K)+Si, Al e Si+Mg são similares em todas as muscovitas da *Nappe* de Luminárias (Figura 36). Algumas análises da amostra LR-44C apresentaram composições discrepantes em relação às demais, como pode ser visto na (Figura 36). Tais análises foram interpretadas como muscovitas que não estão em equilíbrio.

Os teores de Fe e Mg na muscovita das amostras do centro-norte e do sul da *Nappe* de Luminárias são similares (Figura 36). O valor médio de xFe ( $xFe = \frac{Fe}{Fe+Mg}$ ) do granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR10C - centro-norte) é 0,45, do granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte) é 0,48, e das duas rochas do sul da *Nappe* de Luminárias (LR-44A e LR44C) é 0,44.

### 3.2.5 Clorita

A clorita ocorre em toda extensão da *Nappe* de Luminárias. Foram analisados cristais de clorita das seguintes rochas: cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04, porção norte), granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C) e granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E) localizados na porção centro-norte e granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C), localizado na porção sul.

No norte da *Nappe* de Luminárias (amostra LR-04), a clorita ocorre sob a forma de cristais anedrais a subedrais, geralmente associados aos cloritoides (Figura 37 A e B). No centro-norte da *Nappe* (amostras LR-10C e LR-10E), tais cristais apresentam formas subedrais a anedrais, ocorrendo associados à biotita, muscovita, cloritoide e estaurolita (Figuras 35 e 37). No sul da *Nappe* (amostra LR-44C), a clorita ocorre sob a forma de cristais subedrais a anedrais na matriz e bordejando os porfiroblastos de granada. Na amostra analisada, a clorita sempre está associada à biotita, sendo que o limite entre estes dois minerais é quase indistinguível (Figura 37 D).

Para cada amostra, a fórmula química média dos cristais de clorita analisados é:

- Cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04 - norte):  $Mg_{2,02}Fe^{2+}_{2,43}Mn_{0,05}Si_{2,51}Al_{2,94}Fe^{3+}_{0,02}Na_{0,01}O_{10}(OH)_{16}$ .
- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C - centro-norte):  $Mg_{2,14}Fe^{2+}_{2,34}Mn_{0,03}Si_{2,52}Al_{2,92}Fe^{3+}_{0,03}O_{10}(OH)_{16}$ .
- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte):  $Mg_{2,15}Fe^{2+}_{2,10}Si_{2,78}Al_{2,69}Na_{0,01}O_{10}(OH)_{16}$ .

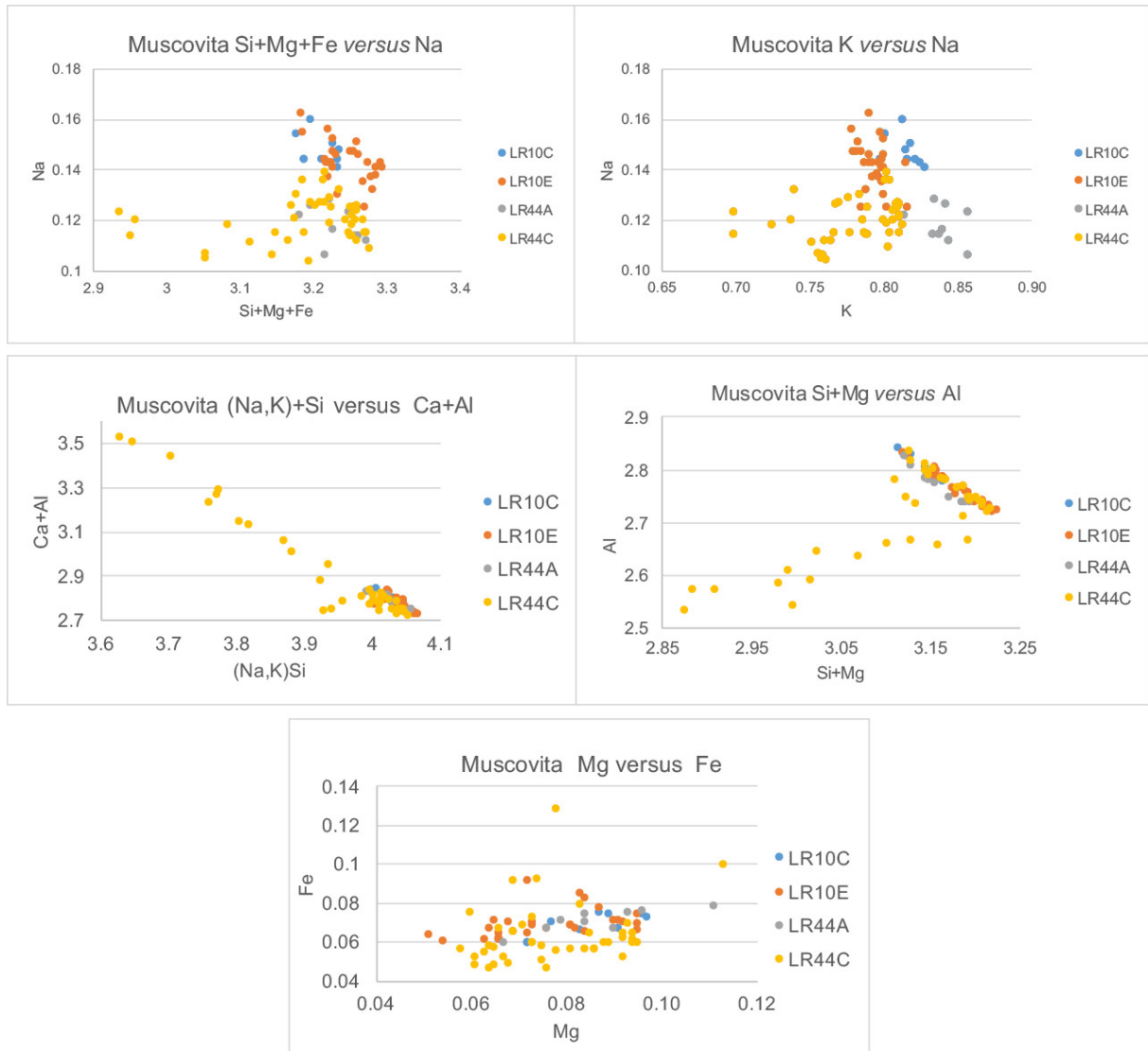


Figura 36: Gráfico de dispersão de Na *versus* Si+Mg+Fe, K *versus* Na, (Na,K)+Si *versus* Ca+Al, Si+Mg *versus* Al e Mg *versus* Fe dos cristais de muscovita analisados. Círculos azuis e laranjas representam, respectivamente, as muscovitas das amostras LR10C e LR-10E, presentes no centro-norte da área. Círculos cinzas e amarelos representam, respectivamente, as muscovitas das amostras LR-44A e LR-44C, presentes no sul da área. Amostras: LR10C (granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita); LR-10E (granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide); LR-44A (muscovita xisto com muscovita) e LR-44C (granada-estaurolita xisto com cianita). Valores em a.p.f.u.

- Granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C - sul) (clorita+biotita):  
 $Mg_{2,09}Fe^{2+}_{1,79}Si_{3,04}Al_{2,51}Na_{0,01}O_{10}(OH)_{16}$ .

Os resultados obtidos são ilustrados no gráfico de dispersão de  $Fe^{2+}$  *versus* Mg apresentado na Figura 38. Na porção norte (amostra LR-04), os cristais de clorita apresentam valores mais elevados de  $Fe^{2+}$  e teores intermediários de Mg (Figura 38) quando comparados às demais amostras. Nesta amostra, a média do xFe ( $xFe = \frac{Fe}{Fe+Mg}$ )

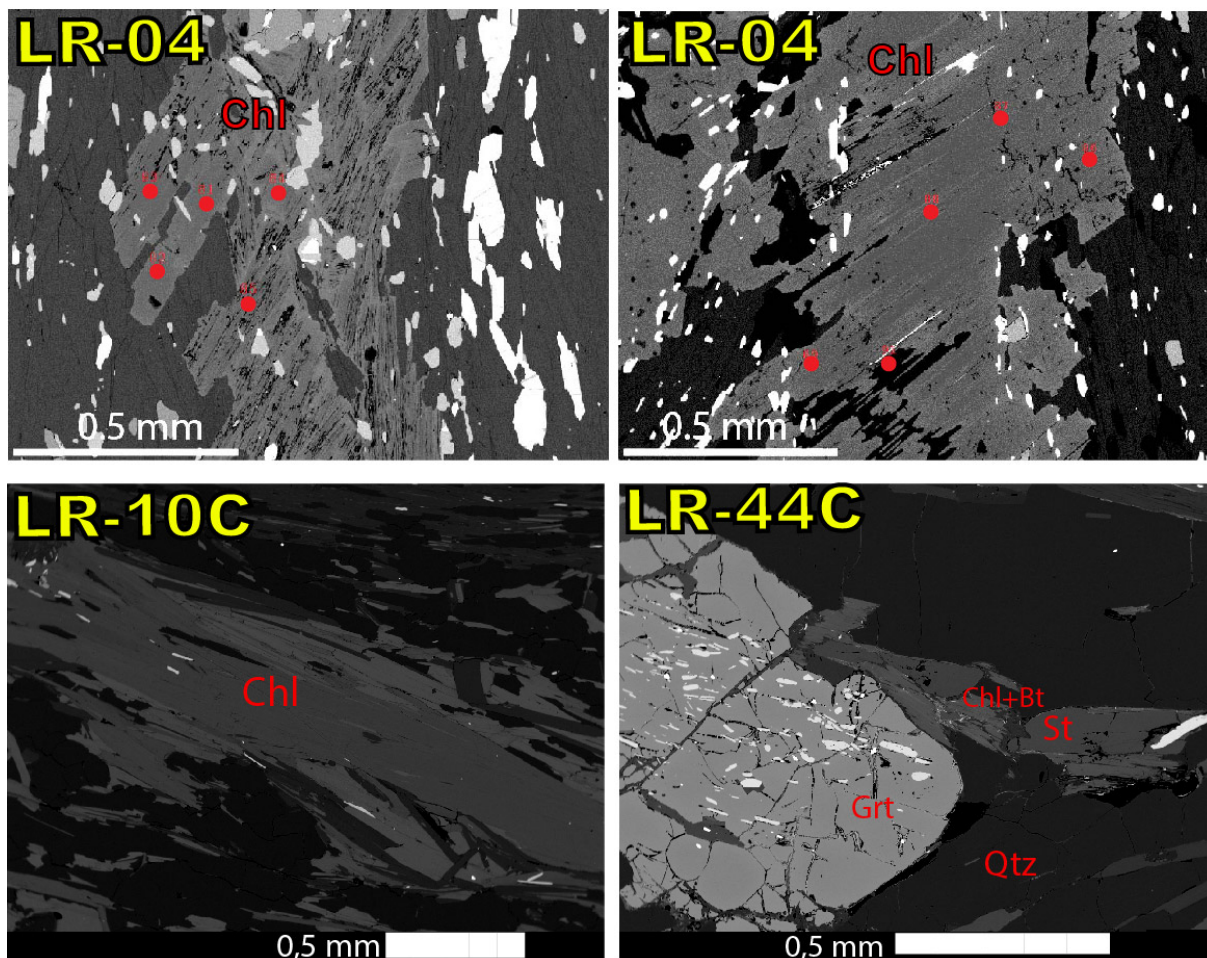


Figura 37: Imagens de BSE dos cristais de clorita analisados do cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04 - norte), do granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C - centro-norte) e cristais analisados de clorita+biotita do granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C - sul)

é 0,55 com valores variando de 0,51 a 0,59.

Para a porção centro-norte da *Nappe* (amostras LR-10C e da LR-10E), os cristais de clorita apresentam teores de  $Fe^{2+}$  e Mg muito próximos, sendo que os valores de  $Fe^{2+}$  são intermediários e os valores de Mg são mais elevados, quando comparados às outras amostras (Figura 38). Para a amostra LR-10C, o  $xFe$  médio é 0,51 com valores variando de 0,59 a 0,48. Para a amostra LR-10E, o  $xFe$  médio é 0,50, variando de 0,48 a 0,52.

Na porção sul (amostra LR-44C), os cristais de clorita+biotita analisados possuem baixos teores de  $Fe^{2+}$  e valores baixos a intermediários de Mg (Figura 38). O valor médio de  $xFe$  para esta amostra é de 0,46 com valores variando de 0,48 a 0,44.

Os teores de Al contidos na clorita da porção norte são mais elevados que nas demais amostras, já os teores de Mg+Si são inferiores (Figura 38). Na porção centro-norte (amostras LR-10C e LR-10C), a clorita apresenta valores intermediários de Al e de Mg+Si (Figura 38). Na porção sul da *Nappe*, os cristais de clorita possuem teores de Al inferiores

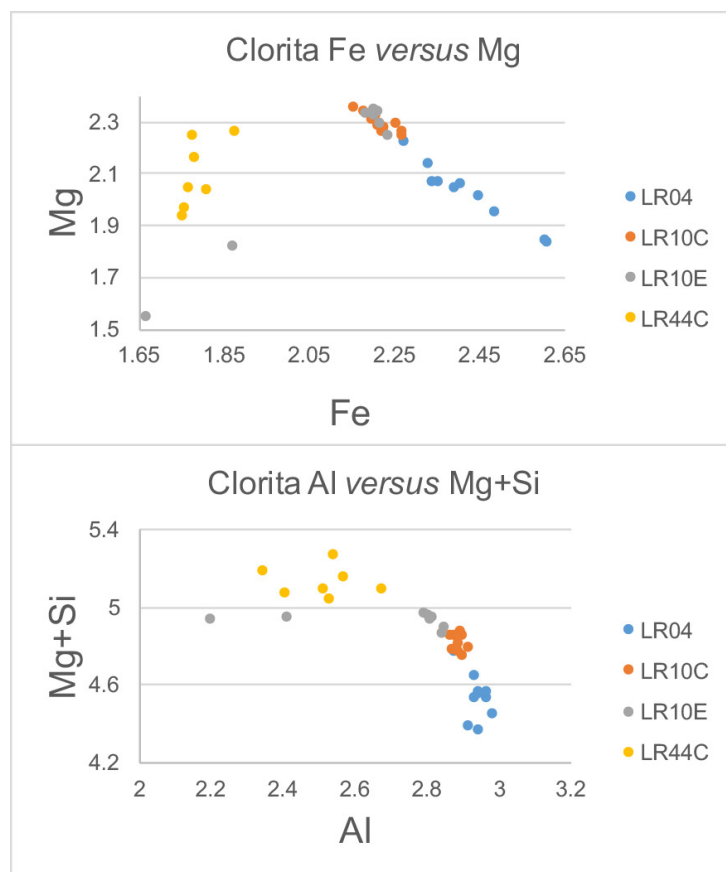


Figura 38: Gráficos de dispersão de  $\text{Fe}^{2+}$  versus Mg e de Al versus Si+Mg dos cristais de clorita analisados de toda a extensão da *Nappe* de Luminárias. Amostras: LR-04 (porção norte), amostras LR-10C e LR-10E (porção centro-norte) e a amostra LR-44C (porção sul). Valores em a.p.f.u.

e teores de Mg+Fe superiores do que as outras cloritas (Figura 38).

### 3.2.6 Biotita

Na *Nappe* de Luminárias, a biotita é observada desde a porção centro-norte até o sul. Foram analisados cristais de biotita provenientes de quatro amostras, sendo duas rochas da porção centro-norte (granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita – LR-10C e granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide – LR-10E) e duas rochas da porção sul (muscovita xisto com granada – LR-44A e granada-estaurolita xisto porfiroblástico com cianita – LR-44C).

Na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias (amostras LR-10C e LR10E), a biotita ocorre sob a forma de cristais subedrais a anedrais, geralmente associados à muscovita e clorita da matriz na rocha, seguindo a orientação preferencial da foliação (Figura 35 e 39). Já ao sul da *Nappe* (amostra LR-44A), os cristais de biotita possuem hábito anedral a subedral e ocorrem na matriz da rocha. Na amostra LR-44C, a biotita ocorre em textura intimamente relacionada com clorita, tornando indistinguível estes dois



minerais (Figura 37).

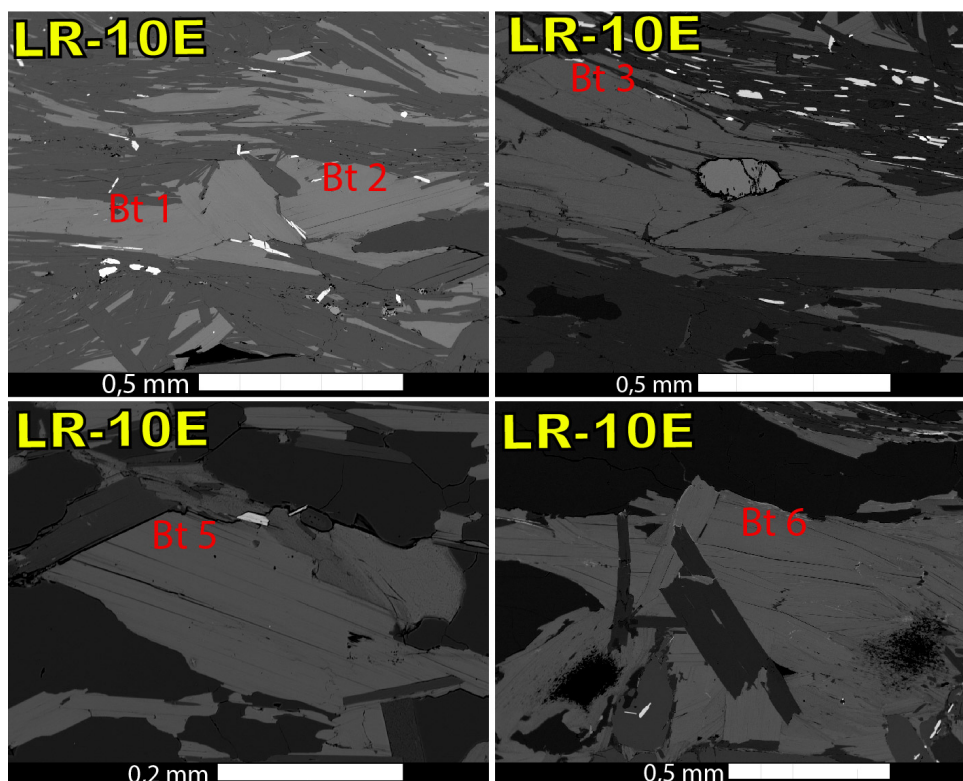


Figura 39: Imagens de BSE dos cristais de biotita analisados no granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E) da porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias.

Nas amostras analisadas, a fórmula química média dos cristais de biotita é:

- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e biotita (amostra LR-10C - centro-norte):  $K_{0,78}Mg_{1,14}Fe^{2+}_{1,15}Al_{1,69}Fe^{3+}_{0,13}Ti_{0,08}Si_{2,71}O_{10}(OH)_2$ .
- Granada xisto porfiroblástico com estaurolita e cloritoide (amostra LR-10E - centro-norte):  $K_{0,75}Mg_{1,08}Fe^{2+}_{1,25}Al_{1,68}Fe^{3+}_{0,03}Ti_{0,08}Si_{2,78}O_{10}(OH)_2$ .
- Muscovita xisto com granada (amostra LR-44A - sul):  $K_{0,86}Mg_{1,01}Fe^{2+}_{1,34}Al_{1,72}Fe^{3+}_{0,10}Ti_{0,09}Si_{2,65}O_{10}(OH)_2$ .
- Granada-estaurolita xisto com cianita (amostra LR-44C - sul) (biotita+clorita):  $K_{0,33}Mg_{2,09}Fe^{2+}_{1,79}Al_{2,51}Ti_{0,05}Si_{3,04}O_{10}(OH)_2$ .

Os gráficos de dispersão de  $Fe^{2+}$  versus Mg, Mg+Si versus Al, K versus Na, Ti versus Si representam as principais substituições que ocorrem na biotita e estão ilustrados na Figura 40. Através destes gráficos, foi possível observar que a biotita da porção centro-norte (amostras LR-10C e LR-10E) é quimicamente diferente da biotita do sul (LR-44A) da *Nappe*. Os teores de  $Fe^{2+}$  são inferiores para as biotitas da porção centro-norte (1,11 a

1,33 a.p.f.u.) em comparação com as biotitas da porção sul (1,26 a 1,38). Já os teores de Mg apresentam tendência inversa, com valores maiores na porção centro-norte (0,94 a 1,16 a.p.f.u.) e menores na porção sul (0,99 a 1,07 a.p.f.u.). A proporção de Al é mais elevada na porção sul (1,70 a 1,74 a.p.f.u. no sul; 1,64 a 1,70 a.p.f.u. no centro-norte) e os teores de Mg+Si são mais elevados na biotita do centro-norte (3,70 a 3,99 a.p.f.u. no centro-norte; 3,62 a 3,69 a.p.f.u. no sul). As proporções moleculares de K são superiores na biotita da porção sul (0,80 a 0,88 a.p.f.u. no sul; 0,68 a 0,81 a.p.f.u. na porção centro-norte). As proporções de Na são similares nas biotitas de todas as amostras analisadas. Os teores de Ti são superiores na biotita da porção sul da *Nappe* (0,08 a 0,12 a.p.f.u. no centro-norte e de 0,12 a 0,13 a.p.f.u. no sul) e as concentrações de Si são mais elevadas na porção centro-norte (2,69 a 2,83 a.p.f.u. na porção centro-norte; 2,60 a 2,68 a.p.f.u. na porção sul).

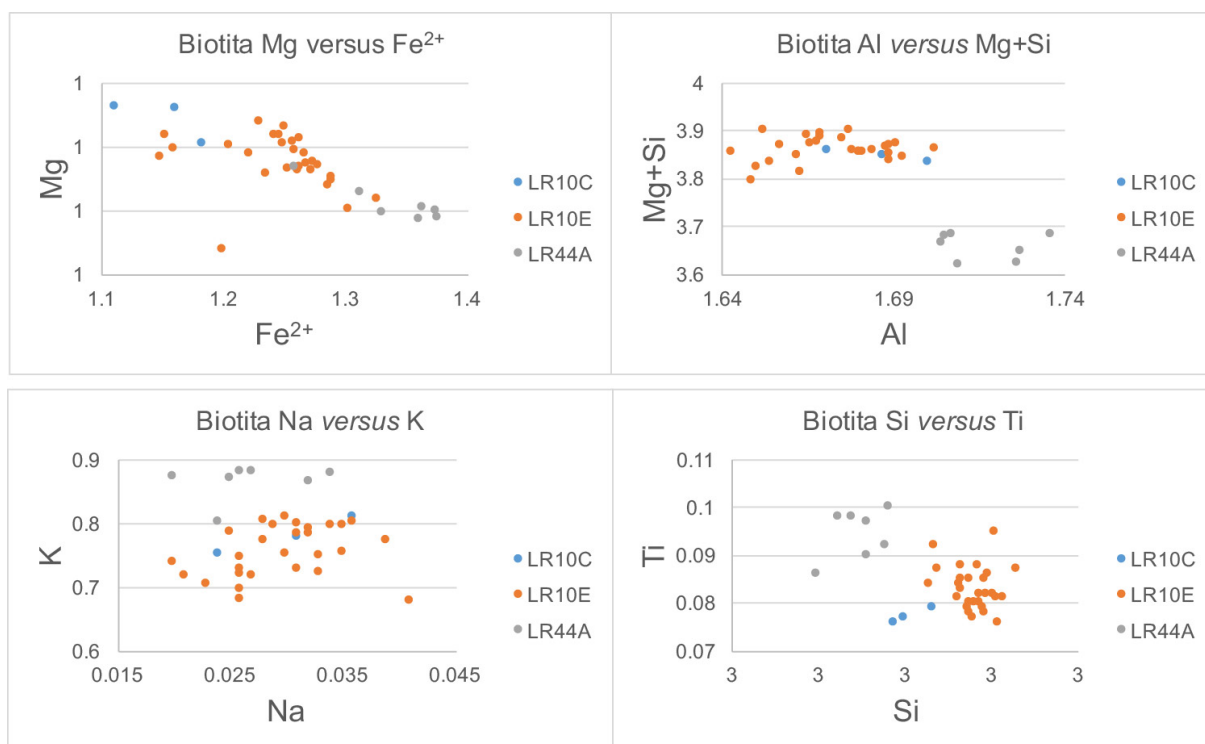


Figura 40: Gráficos de dispersão de Fe<sup>2+</sup> versus Mg, Mg+Si versus Al, K versus Na, Ti versus Si dos cristais de biotita analisados. Os círculos azuis e alaranjados representam, respectivamente, as amostras LR-10C e LR-10E, ambas da porção centro-norte. Os círculos cinzas correspondem à amostra LR-44A, proveniente do sul da *Nappe* de Luminárias. Valores em a.f.p.u.

### 3.2.7 Elementos traço em rutilo de metapelitos

Foram analisados cristais de rutilo, provenientes de quatro amostras de metapelitos representativas de toda a extensão da *Nappe* de Luminárias. Os elementos traço do rutilo das seguintes rochas foram analisados: cloritoide xisto com cianita (amostra LR-04) e

clorita xisto (amostra LR-05) da porção norte; granada xisto com estauroлита (LR-10C) da porção centro-norte; granada estauroлита xisto com cianita (amostra LR-44) da porção sul.

Nas rochas da porção norte da *Nappe* de Luminárias (amostras LR-04 e LR-05), os cristais de rutilo são abundantes e, em geral, ocorrem com lamelas de ilmenita e com inclusões de zircão. No centro-norte (amostra LR-10C), os cristais de rutilo apresentam duas tipologias: cristais límpidos (Figura 41 A) e cristais com pequenas inclusões de cristais de zircão (Figura 41 B). Já na porção sul (amostra LR-44C), os cristais de rutilo ocorrem sob a forma de cristais lípidios ou com lamelas de ilmenita (Figura 41 C), e alguns cristais apresentam inclusões de zircão (Figura 41 D). A análise química dos elementos traço nos cristais de rutilo das quatro amostras estão apresentadas no Apêndice C (Tabela 17).

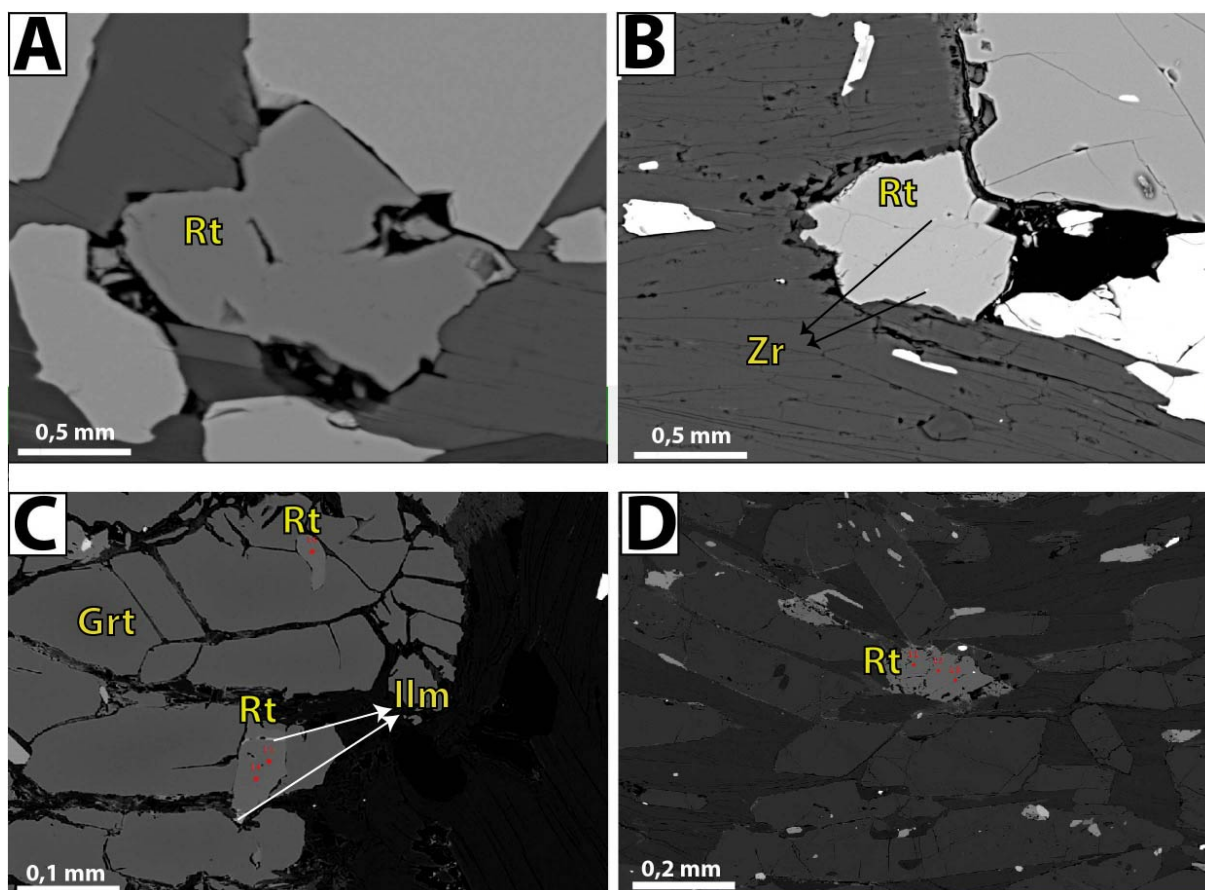


Figura 41: Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados nos metapelitos. A) Rutilo-3 da amostra LR-10C, mostrando cristal de textura límpida. B) Rutilo-10 da amostra LR-10C, mostrando inclusão de cristais de zircão. C) Rutilo 7 e 7B da amostra LR-44C. Nota-se que estes cristais de rutilo estão inclusos na granada e possuem lamelas de ilmenita. D) Rutilo 6 da amostra LR-44C. Tal cristal ocorre na matriz e possui uma inclusão de zircão.

Devido às inclusões de zircão observadas em alguns cristais de rutilo, o Si foi adicionado à rotina de análise. As análises que apresentam concentrações altas de Si

(acima de 250 ppm) e Zr foram descartadas, sendo interpretadas como contaminações oriundas do zircão (fluorescência secundária de inclusões em subsuperfície).

Como mostra a Tabela 17 (Apêndice C) e a Figura 42, as temperaturas calculadas, pelo geotermômetro de Zr no rutilo (Item 1.4.2), para as rochas da porção norte da *Nappe* (LR-04 e LR-05) são inferiores quando comparada com as amostras da porção sul. Para a porção centro-norte (LR-10C), as temperaturas apresentam grande dispersão, como mostra Figura 42, apresentando valores mínimos e máximos que extrapolam os valores obtidos nas demais amostras. Estes dados podem sugerir que os cristais de rutilo da amostra LR-10C são cristais detríticos que ainda registram assinatura do protólito. Ressalta-se também que as variações nas concentrações de Nb e Cr nas amostras LR-04 e LR-05 são altas, com concentrações de Cr e Nb acima de 1500 ppm e 10000 ppm, respectivamente (Tabela 17, Apêndice C).

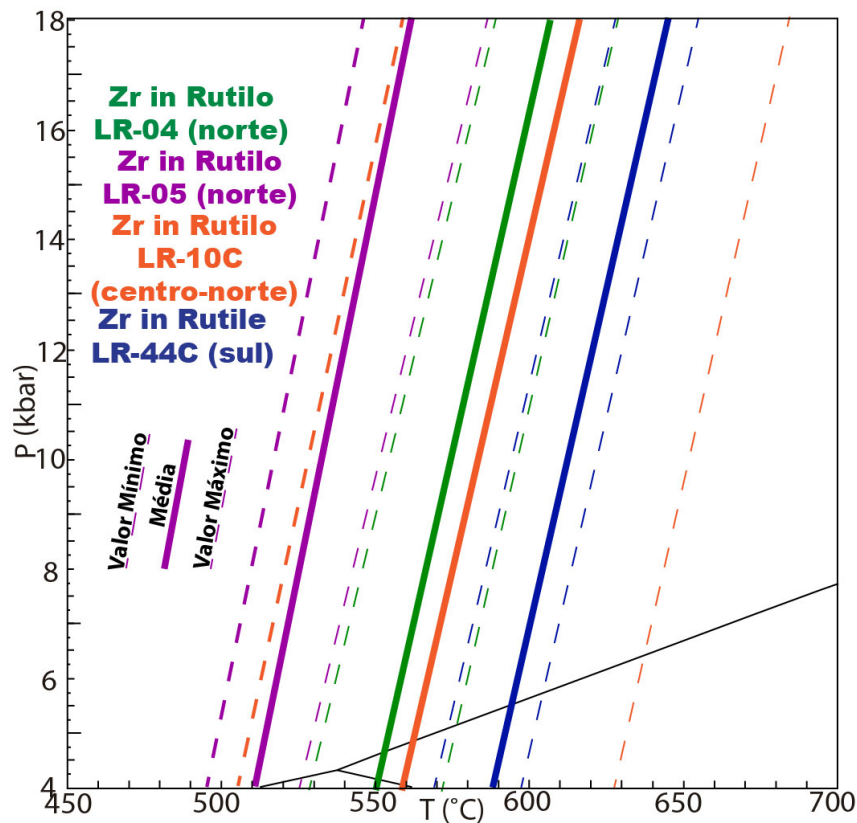


Figura 42: Diagramas mostrando os valores máximos, médios e mínimos de temperatura calculados para o geotermômetro de Zr no rutilo de Tomkins, Powell e Ellis (2007) das quatro amostras de metapelitos analisadas da *Nappe* de Luminárias.

### 3.2.8 Elementos traço em rutilo de quartzito

Com o objetivo de investigar se os cristais de rutilo oriundos de quartzitos metamorfizados na transição entre fácies xisto verde e anfibolito/eclogito, foram obtidas concentrações de elementos traço no rutilo para as amostras de quartzito, as quais podem ser utilizadas para o cálculo de temperatura utilizando-se o geotermômetro de Zr em rutilo.

Ao todo, 17 amostras de quartzito (com cerca de 20kg cada) foram coletadas. Das 17 amostras, apenas 9 apresentaram grãos de rutilo no concentrado de minerais (ver localização apresentada no Apêndice A). Todas as amostras de quartzito coletadas derivam da Unidade Na<sub>3</sub> e abrangem toda a extensão da *Nappe* de Luminárias (Figura 43). Ocorrem duas camadas principais de quartzito da Unidade Na<sub>3</sub>, com direção preferencial NNE/NE, uma mais a oeste e outra mais a leste, como pode ser observado na figura 43. Sete das nove amostras derivam da camada que ocorre na porção leste do mapa (denominada no presente trabalho como domínio Luminárias), enquanto que as duas amostras restantes (LR-62 e LR-64) derivam da camada que ocorre na porção oeste do mapa (denominada no presente trabalho de domínio São Tomé das Letras) (Figura 43).

As concentrações de elementos traço obtidas para os cristais de rutilo das 9 amostras analisadas são apresentadas no Apêndice C (Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21).

As nove amostras de quartzito foram divididas em quatro grupos, levando em conta a sua localização geográfica (Apêndice A e Figura 43), as concentrações de Zr nos cristais de rutilo e a relação de Cr e Nb. São eles: porção norte e centro-norte do domínio Luminárias (amostras LR-52a, LR-22 e LR-30), porção central do domínio Luminárias (amostras LR-33b e LR-39), porção sul do domínio Luminárias (amostras LR-45 e LR-46) e domínio São Tomé das Letras (amostras LR-62 e LR-65).

Dentre as amostras da porção norte e centro-norte do domínio Luminárias, a amostra LR-52a está localizada à norte da Zona de Cisalhamento de Três Corações, a amostra LR-22 ocorre próximo do afloramento LR-10 e a amostra LR-30 está localizada ligeiramente mais ao sul (Figura 43). A tipologia dos cristais de rutilo destas amostras é bastante variada, apresentando geralmente forma irregular. Além disso, estes cristais de rutilo podem apresentar inclusões de zircão (Figura 44 A e B), ilmenita (Figura 44 B) e biotita. Nestas amostras, as concentrações de Zr no rutilo é bastante variável, portanto as temperaturas calculadas por este geotermômetro também variam amplamente (Tabela 18 (Apêndice C) e Figura 45 A). Para o rutilo do quartzito da porção norte do domínio Luminárias, o índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) ( $x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$ ) apresenta valores majoritariamente positivos, revelando que tais cristais de rutilo são oriundos de rochas metapelíticas (Figura 45 B).

Dentre as amostras que ocorrem na porção central do domínio Luminárias, a LR-39

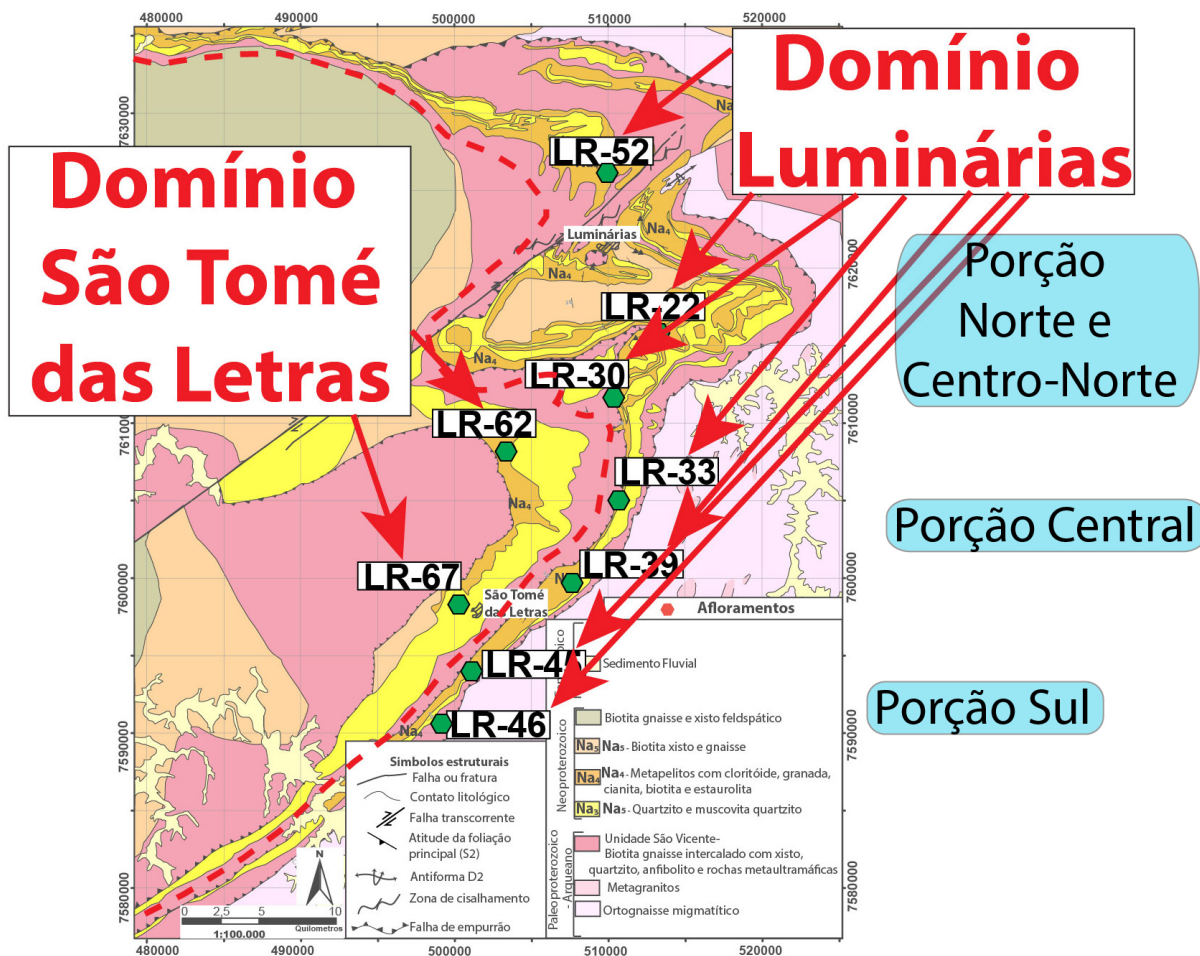


Figura 43: Mapa simplificado da *Nappe* de Luminárias, mostrando a divisão dos domínios do quartzito e porções, além da localização das amostras analisadas de quartzito.

está localizada mais ao sul que a LR-33B (Figura 43). Nestas amostras, os cristais de rutilo são geralmente subedrais (Figura 46). Todavia, alguns cristais são arredondados, evidenciando se tratarem de grãos detríticos. Além disso, podem apresentar inclusões de zircão, fosfatos (Figura 46 A) e lamelas de ilmenita. Entretanto, alguns grãos são homogêneos e não apresentam inclusões (Figura 46 B). As concentrações de Zr nos cristais de rutilo analisados são mais constantes (Tabela 19) quando comparadas com as amostras da porção norte e centro-norte. Consequentemente, as temperaturas calculadas são mais constantes (Figura 45 A) com média em torno de 590°C, e também possuem valores positivos do índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) ( $x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$ )), interpretados como origem pelítica (Figura 45 B).

Na porção sul do domínio Luminárias (amostras LR-45 e LR-46), os cristais de rutilo são angulosos e possuem textura límpida (Figura 47 A). Lamelas de ilmenita são frequentes e raras inclusões de cristais de zircão são observadas (Figura 47 B). A granulação dos cristais de rutilo é maior que a granulação dos demais analisados (Figura 47). Assim como na porção central do domínio Luminárias, as concentrações de Zr no rutilo são relativamente

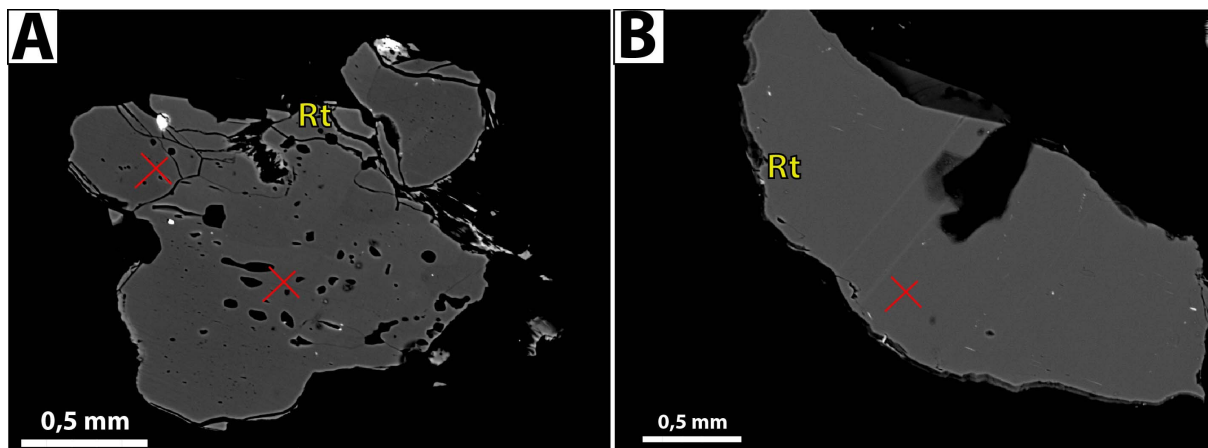


Figura 44: Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção norte e centro-norte do domínio Luminárias. A) Rutilo-1 da amostra LR-52a. Tal cristal possui inclusões de cristais de zircão. B) Rutilo-5 da amostra LR-30, apresentando inclusão de cristais de zircão e lamelas de ilmenita.

constantes (Tabela 20), o que remete ao cálculo de temperaturas com pouca variação, com média em torno de 620°C (Figura 45). Além disso, também apresentam valores positivos do índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) ( $x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$ ), indicando que os cristais de rutilo são derivados de rochas pelíticas (Figura 45 B).

Na região de São Tomé das Letras, duas amostras foram analisadas, uma coletada nas redondezas da cidade (LR-67) e outra aproximadamente de 10 km (LR-62) para norte (Figura 43). Em ambas as amostras, os cristais de rutilo são límpidos e por vezes apresentam bordas recristalizadas (Figura 48 B). Raras lamelas de ilmenita são observadas (Figura 48 A). Nestes quartzitos, as temperaturas obtidas nos cristais de rutilo, através do geotermômetro de Zr em rutilo de Tomkins, Powell e Ellis (2007), são constantes. Nota-se que a amostra LR-62 apresenta uma média de temperatura ligeiramente superior à amostra LR-67, que ocorre mais ao sul (Figura 49). As temperaturas médias obtidas foram de 657°C (amostra LR-67) e 676°C (amostra LR-62), como mostra a Figura 49. É importante ressaltar que ambas as temperaturas obtidas para o domínio São Tomé das Letras são superiores as encontradas no domínio Luminárias. Além disso, o índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) ( $x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$ ) obtido para os cristais de rutilo da amostra LR-62 apresentam valores negativos, mostrando uma assinatura de rochas máficas, diferente daquela pelítica obtida para os rutilos do domínio Luminárias.

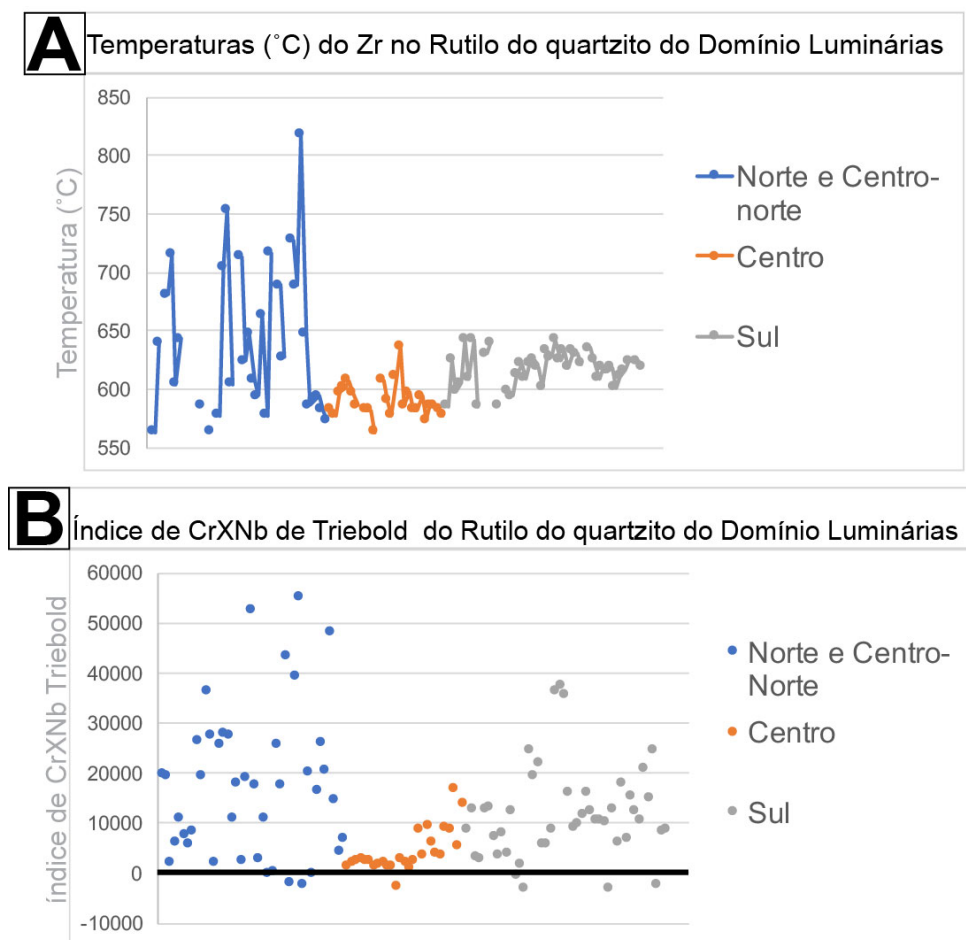


Figura 45: A) Gráfico das temperaturas calculadas pelo geotermômetro de Zr em rutilo (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) nas amostras de quartzito. B) Diagrama do índice de Triebold, Eynatten e Zack (2012) para o rutilo do domínio da Luminárias. Esse índice relaciona o Nb e Cr no rutilo, os valores positivos indicam que o rutilo é proveniente de rochas metapelíticas e valores negativos indicam proveniência de rochas máficas. Os gráficos estão divididos em três partes, mostrando os resultados dos cristais de de rutilo da porção norte e centro-norte (amostras LR-52a, LR-22 e LR-30 expressas na Tabela 18), central (amostras LR-33B e LR-39 expressas na Tabela 19) e sul (amostras LR-45 e LR-46 expressas na Tabela Tabela 20) da *Nappe* de Luminárias.



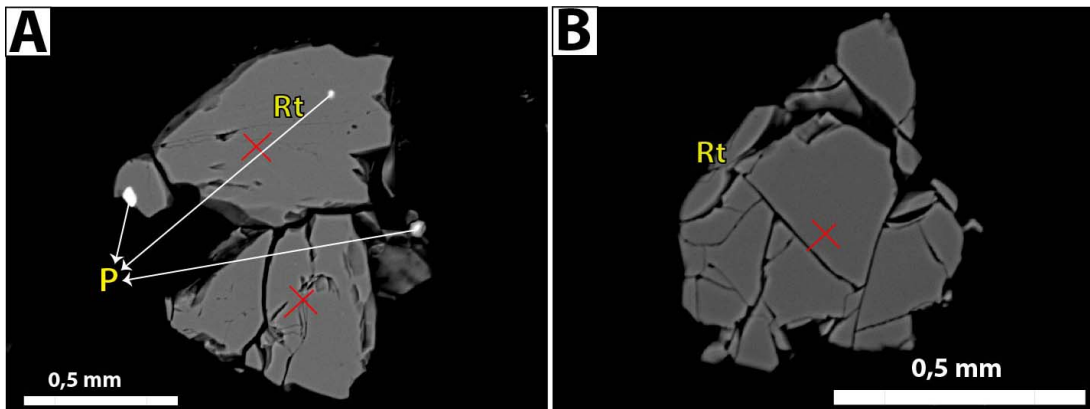


Figura 46: Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção central do domínio Luminárias. A) Rutilo-7 da amostra LR-39. Tal cristal possui inclusões de cristais de fosfato. B) Rutilo-10 da amostra LR-39, mostrando inclusão com textura límpida.

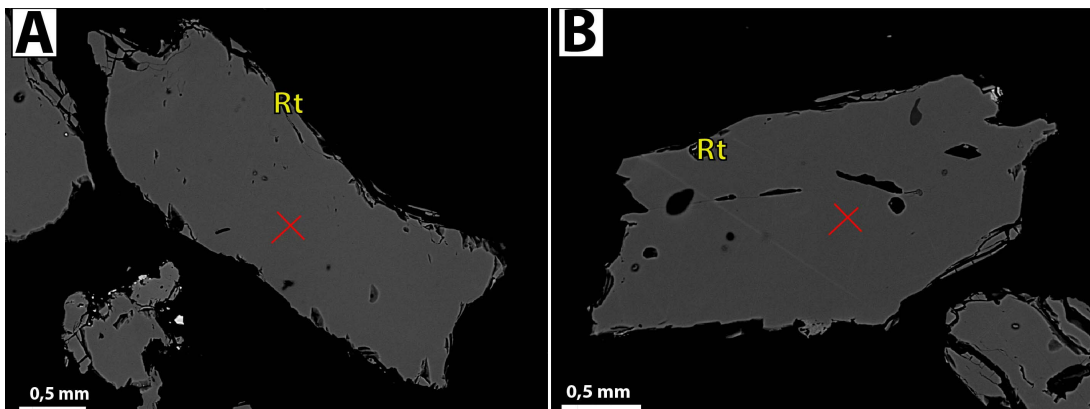


Figura 47: Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito da porção sul do domínio Luminárias. A) Rutilo-6 da amostra LR-45. Tal cristal apresenta inclusão de cristais de fosfato. B) Rutilo-9 da amostra LR-45, mostrando lamelas de ilmenita.

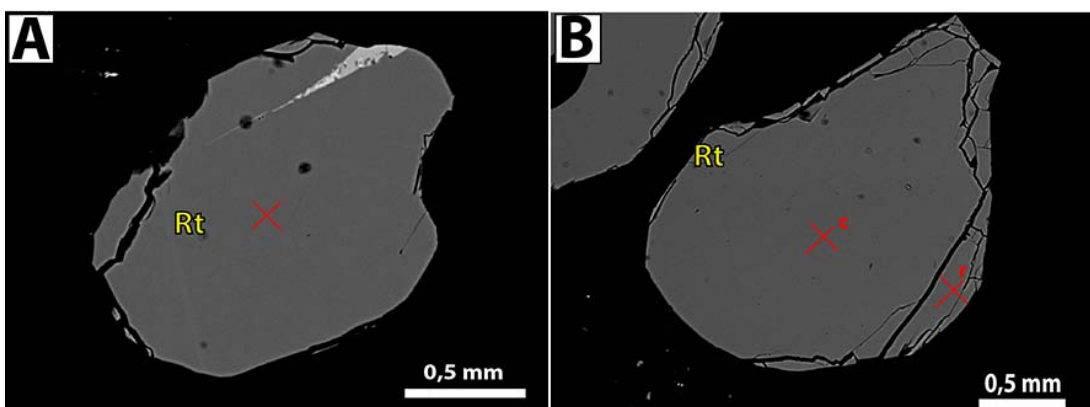


Figura 48: Imagens de BSE dos cristais de rutilo analisados no quartzito do domínio São Tomé das Letras. A) Rutilo-7 da amostra LR-62. Tal cristal possui lamelas de ilmenita. B) Rutilo-5 da amostra LR-67, mostrando uma borda e uma textura límpida.

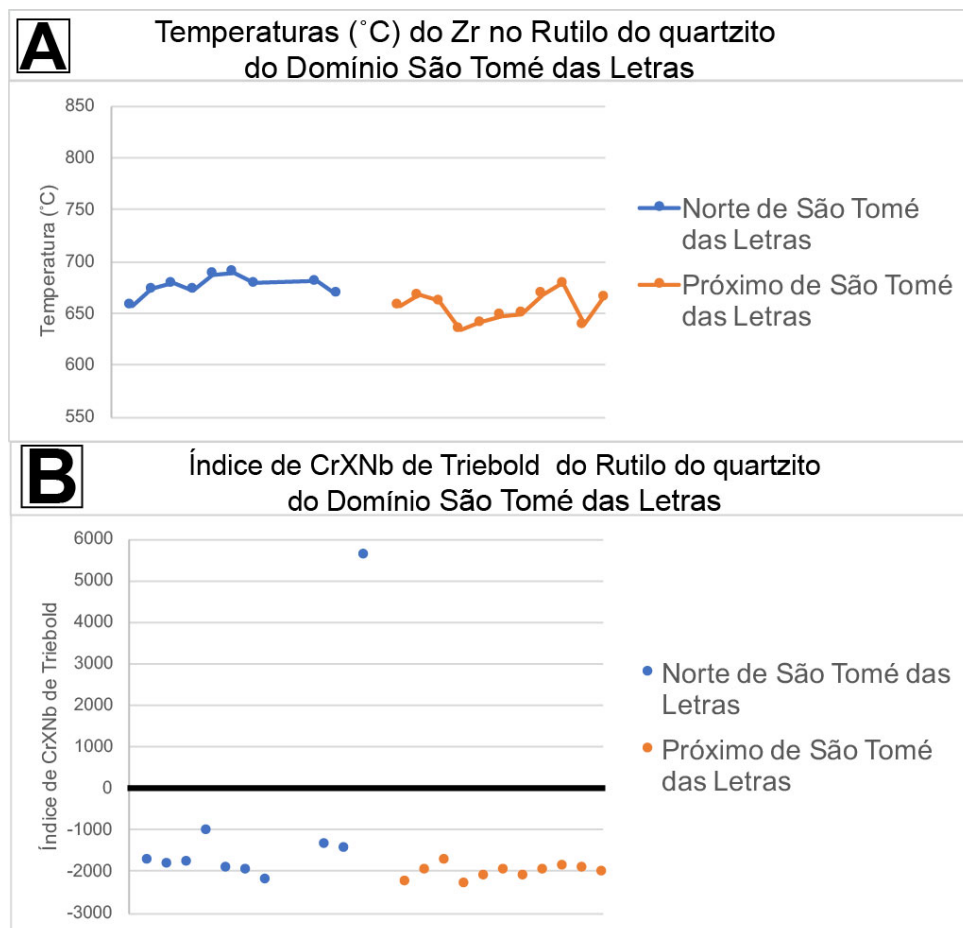


Figura 49: A) Gráfico das temperaturas calculadas pelo geotermômetro de Zr em rutilo (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) nas amostras de quartzito do domínio São Tomé das Letras. B) Diagrama do índice de  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) para o rutilo do quartzito das proximidades de São Tomé das Letras. Tal índice relaciona o Nb e Cr no rutilo, sendo que os valores positivos indicam proveniência de rochas metapelíticas e valores negativos indicam proveniência de rochas máficas. Norte de São Tomé das Letras: amostra LR-62. Proximidades de São Tomé das Letras: amostra LR-67.

### 3.2.9 Geotermômetro Ti no quartzo

Por meio de LA-ICP-MS, foram obtidos dados de concentração de Ti em cristais de quartzo apenas para a amostra LR-44C, localizada na porção sul da *Nappe* de Luminárias. As amostras de metapelito da porção norte (LR-04 e LR-05) e da porção centro-norte (LR-10C e LR-10E) apresentaram teores de Ti no quartzo abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica (12 ppm de Ti). Para o cálculo da temperatura, foi utilizada a calibração de Thomas et al. (2010) e as concentrações de Ti variaram de 6,6 a 21,4 ppm (Tabela 2).

A intersecção dos geotermômetros de Zr no rutilo e de Ti no quartzo, da amostra LR-44C, fornece as seguintes condições para a porção sul da *Nappe* de Luminárias:  $633^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  e  $15,2\text{kbar} \pm 1\text{kbar}$  (Figura 50), sendo que as incertezas foram calculadas utilizando um desvio padrão (1 sigma).

Tabela 2: Análises do LA-ICP-MS de Ti no quartzo para a amostra LR-44C (sul da *Nappe* de Luminárias)

File	Time	${}^7\text{Li}$	${}^{27}\text{Al}$	${}^{29}\text{Si}$	${}^{48}\text{Ti}$	${}^{49}\text{Ti}$	${}^{57}\text{Fe}$	${}^{72}\text{Ge}$	XQtz/TiO <sub>2</sub>	Pressure	T (°C)
	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )		(kbar)	Thomas et al 2010	
128_LR44C	18:52	<12.6487	75.19799889	467440	4.9	11.3	<14.2253	<1.5991	1.41899E-05	14.8	646
129_LR44C	18:54	<15.277	<255.7771	467440	20.8	21.4	799.0179062	<1.9548	2.68397E-05	14.8	701
130_LR44C	18:56	<12.0661	27.11074186	467440	4.2	6.6	<12.7924	<1.5694	8.29618E-06	14.8	605
131_LR44C	18:57	<12.7218	46.38583614	467440	9.1	10.8	51.03808685	<1.6177	1.35073E-05	14.8	642
132_LR44C	18:58	<12.1726	69.59658533	467440	7.4	9.3	94.01134149	<1.4004	1.17231E-05	14.8	631
133_LR44C	19:03	<15.6193	24.60608232	467440	4.3	6.8	<15.9139	<2.0047	8.59606E-06	14.8	607

### 3.2.10 Termobarometria (THERMOCALC – Average PT)

No programa THERMOCALC, o módulo *Average PT*, assim como a pseudosseção, utiliza o banco de dados internamente consistente. Os dados são ajustados utilizando o método de mínimos quadrados, no qual a soma ao quadrado dos ajustes de dados, normatizados com as suas incertezas, é minimizado (POWELL; HOLLAND, 1994). Neste método, são inseridos no THERMOCALC a composição química dos minerais em equilíbrio. As condições médias de temperatura e pressão, com as suas respectivas incertezas, foram calculadas pelo software. Neste trabalho, foi utilizado o banco de dados tc-ds62 (HOLLAND; POWELL, 2011).

Foram calculadas *averages PT* para três amostras, sendo duas do centro-norte (LR-10C e LR-10E) da *Nappe* de Luminárias e uma do sul (LR-44C), como mostra a Figura 51.

Para a amostra LR-10C, o cálculo da *average PT* foi realizado utilizando-se a paragênese Bt+St+Grt+Ms+H<sub>2</sub>O+Qtz e foram obtidas as seguintes condições:  $598^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 98^{\circ}\text{C}$ ) e  $9,6\text{kbar}$  ( $\pm 2,6\text{kbar}$ ). Para a amostra LR-10E, foram obtidas condições similares e mais precisas com a mesma paragênese:  $591^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 59^{\circ}\text{C}$ ) e  $8,3\text{kbar}$  ( $\pm 1,8\text{kbar}$ ) (Figura 51). Ainda para a mesma amostra, foram obtidas as seguintes condições uti-

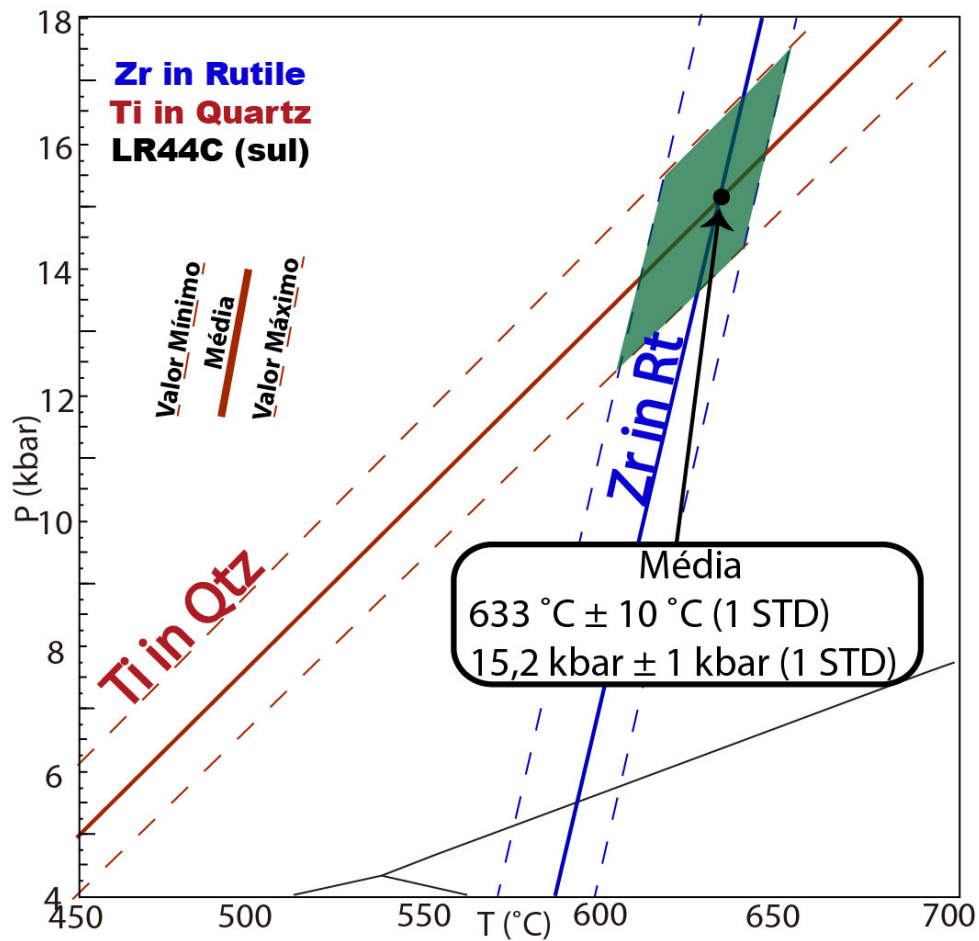
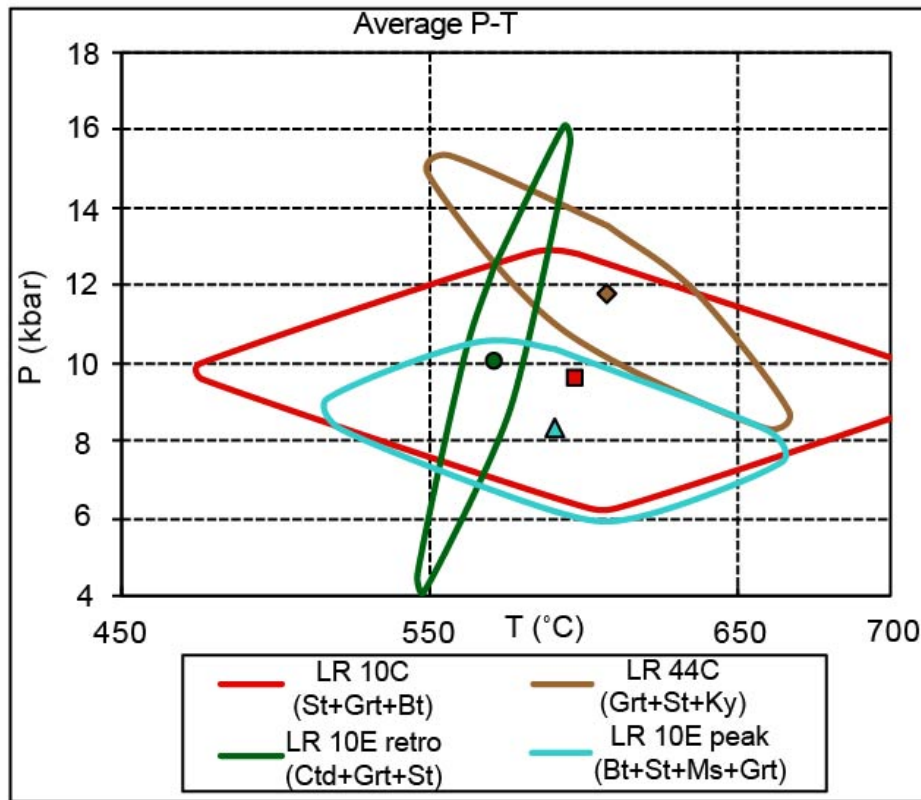


Figura 50: Diagrama  $P$ - $T$  projetado os geotermômetros de Zr no Rutile e Zr no Quartzo para o metapelito do sul da *Nappe* de Luminárias (Amostra-44C). O geotermômetro de Zr no Rutile foi calculado segundo (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007) e o de Ti no Quartzo segundo (THOMAS et al., 2010).

lizando a associação retrometamórfica  $Ctd+Grt+St+Ms+H_2O+Qtz$ : 571°C ( $\pm 20^\circ\text{C}$ ) e 10,1kbar ( $\pm 4,8\text{kbar}$ ). As condições de  $P$  e  $T$  geradas para a amostra LR-44C (paragênese  $Grt+St+Ky+Ms+H_2O+Qtz$ ) foram: 608°C ( $\pm 47^\circ\text{C}$ ) e 11,8kbar ( $\pm 2,8\text{kbar}$ ).



Sample	avT	sd (T)	avP	sd(P)	corr
LR 10C	598	98	9,6	2,6	-0,124
LR 44C	608	47	11,8	2,8	-0,875
LR 10E peak	591	59	8,3	1,8	-0,362
LR 10E retro	571	20	10,1	4,8	-0,919

Figura 51: Gráfico e tabela mostrando as *averages PT* das amostras LR-10C (Bt+St+Grt+Ms+H<sub>2</sub>O+Qtz), LR-10E (peak=Bt+St+Grt+Ms+H<sub>2</sub>O+Qtz e retro=Ctd+Grt+St+Ms+H<sub>2</sub>O+Qtz) e LR-44C (Grt+St+Ky+Ms+H<sub>2</sub>O+Qtz). av=average, sd=desvio padrão e corr=correlação, temperatura em °C e pressão em kbar.

### 3.3 Pseudosseção

Foram construídas pseudosseções para a porção centro-norte (amostra LR-10C) e para porção do sul (amostra LR-44C) da *Nappe* de Luminárias. Tais amostras foram selecionadas por serem representativas dos litotipos que ocorrem na unidade Na<sub>4</sub> e por apresentarem paragêneses que indicam diferentes condições de *PT*, ilustrando o gradiente metamórfico descrito para a área.

Como descrito no item 1.4, pseudosseções são importantes ferramentas para a modelagem metamórfica. Para a confecção destas pseudosseções, foram utilizados dados de rocha total obtidos através de Fluorescência de Raio-X (Tabelas 3 e 4). A composição química de rocha total (Tabelas 3 e 4) mostra que alguns elementos variam dependendo da amostra, sendo que as principais variações ocorrem na SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os teores de álcalis são bem baixos em todas as amostras. A amostra LR-04 é a que mais difere das demais, possuindo valores altos de TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quando comparado com as demais amostras.

Tabela 3: Elementos maiores das amostras analisadas pela Fluorescência de Raio-X. Valores em porcentagem.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Soma
LR 04 (Ctd xisto com cianita)	39.43	6.04	29.04	10.09	0.12	0.71	1.19	0.41	7.48	1.84	3.65	99.99
LR 05 (Chl xisto com Ctd e Ky)	45.47	2.83	23.35	20.92	0.32	3.23	0.03	0.09	0.16	0.1	3.52	100.01
LR 09 (Grt-Bt xisto)	63.55	0.88	17.24	6.44	0.09	2.84	0.81	1.91	3.81	0.08	2.35	100.01
LR 10B (Grt-St xisto)	65.26	0.98	19.9	4.13	0.02	1.27	0.05	0.43	4.46	0.04	3.45	100
LR 10C (Grt xisto com St)	48.98	1.41	26.72	10.5	0.08	1.98	0.51	0.35	5.94	0.29	3.25	100.01
LR 10E (St-Grt xisto com Ctd)	51.33	1.27	24.58	11.74	0.1	2.26	0.52	0.29	4.86	0.25	2.8	100.02
LR 11 (Grt xisto com St)	66.23	0.88	18.04	7.93	0.09	0.56	0.07	0.41	3.35	0.02	2.44	100.01
LR 31A (Bt xisto com Grt)	61.13	0.84	19.59	7.75	0.28	1.95	0.71	0.44	5.43	0.17	1.76	100.06
LR 37D (Ms xisto)	80.79	0.55	10.02	3.17	0.04	1.04	0.12	0.24	2.32	0.04	1.73	100.06
LR 44A (Ms xisto)	68.99	0.83	15.59	6.2	0.08	1.39	0.22	0.31	4.46	0.09	1.83	99.99
LR 44C (St-Grt xisto com Ky)	59.04	1.24	23.73	8.04	0.43	1.01	0.15	0.28	3.81	0.14	2.19	100.06

Tabela 4: Elementos menores das amostras analisadas pela Fluorescência de Raio-X. Valores em ppm.

Amostra	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Zr	Y	Nb	Cu	Zn	Co	V	Ga
LR 04 (Ctd xisto com cianita)	821	79	4221	200	502	128	330	263	37	230	13	54	16	400	31
LR 05 (Chl xisto com Ctd e Ky)	1217	261	903	14	432	181	275	199	29	159	15	122	54	471	21
LR 09 (Grt-Bt xisto)	206	68	489	115	125	30	72	163	28	15	38	111	18	164	22
LR 10B (Grt-St xisto)	150	31	824	154	100	69	139	331	39	18	16	65	11	136	25
LR 10C (Grt xisto com St)	198	20	1013	183	148	62	105	309	39	21	27	134	20	190	31
LR 10E (St-Grt xisto com Ctd)	217	28	888	176	132	53	108	277	50	17	32	148	23	189	31
LR 11 (Grt xisto com St)	191	40	1207	101	172	52	122	446	30	19	20	77	14	145	26
LR 31A (Bt xisto com Grt)	179	25	1280	155	348	88	139	202	28	16	14	66	14	123	27
LR 37D (Ms xisto)	218	29	522	91	60	41	91	279	29	9	9	51	11	82	18
LR 44A (Ms xisto)	310	22	815	138	95	-1	29	327	28	14	12	75	18	115	23
LR 44C (St-Grt xisto com Ky)	283	21	751	137	132	59	116	313	65	16	24	86	24	210	30

Ao representar as análises no diagrama AFM de Thompson (1957) (Figura 52), foi possível observar que não há grande variação composicional entre elas. Em geral, as amostras possuem altos teores de Fe quando comparados aos teores de Mg. As maiores variações são observadas em relação ao Al, indicando que os teores de  $Al_2O_3$  nas amostras são proporcionalmente divergentes. Tal diagrama também mostra que as amostras analisadas possuem composições próximas da almandina, clorita e cloritoide. Logo, a ocorrência destes minerais e a reação entre eles é favorecida. As amostras selecionadas para confecção das pseudosseções aparecem destacadas por círculos preenchidos na Figura 52.

As pseudosseções  $P$ - $T$  foram construídas no sistema KFMASHTO ( $K_2O$ - $FeO$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ - $TiO_2$ - $O_2$ ). Este sistema foi escolhido por contemplar a composição básica de um pelito, além da adição do  $TiO_2$  e  $O_2$  que demonstra a estabilidade do rutilo e da ilmenita. Os cálculos foram realizados com excesso de quartzo e água, devido ao fato do quartzo ser um mineral abundante e a presença de minerais hidratados em todos os campos. Considerou-se para os cálculos, uma janela de temperatura que varia entre 450 a 700°C e pressão entre 4 a 18kbar.

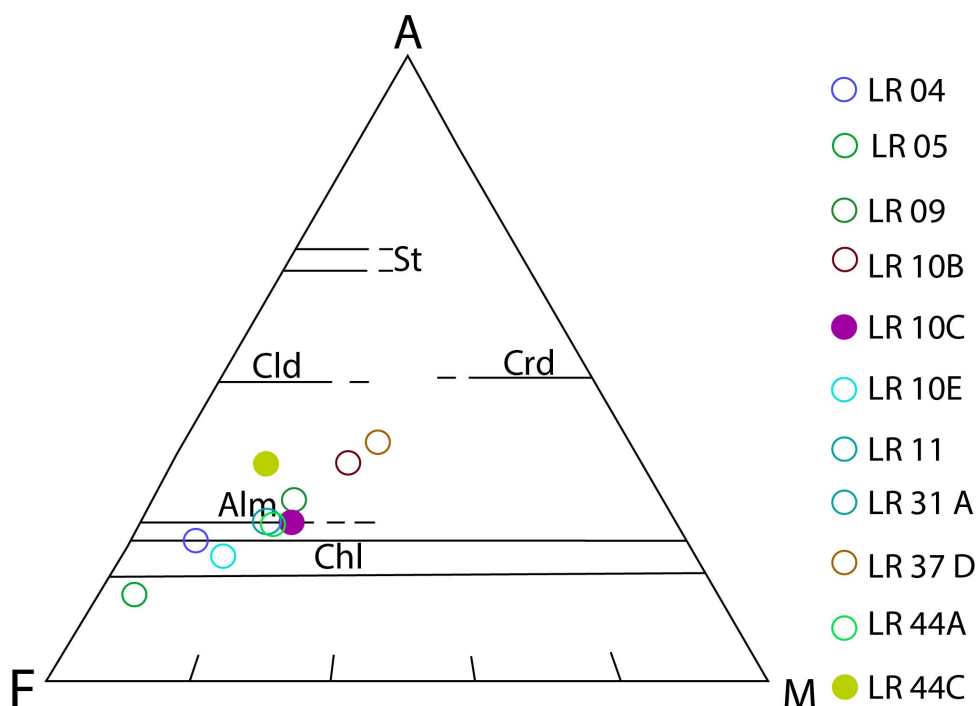


Figura 52: Diagrama AFM de Thompson (1957) com a plotagem das amostras analisadas pela fluorescência de Raio-X. As duas amostras em que foram calculadas as pseudosseções estão representadas pelos círculos cheios.

### 3.3.1 Pseudosseção da amostra LR-10C (porção centro-norte)

A pseudosseção da amostra LR-10C no sistema KFMASHTO é composta por campos divariantes, trivariantes e tetravariantes (Figura 53). A seguir, são descritas as condições de  $P$ - $T$  de ocorrência de cada um dos minerais.

- Clorita: não ocorre em temperaturas superiores a 615°C.
- Cloritoide: é apenas controlado pela temperatura, podendo ocorrer em temperaturas inferiores a 590°C.
- Estauroлита: pode estar presente em temperaturas entre 500 e 690°C e pressões inferiores a 16,7kbar.
- Granada: é estável em pressões superiores a 7,75kbar e temperaturas superiores a 488°C.
- Biotita: ocorre em pressões inferiores a 12,25kbar e temperaturas superiores a 482°C.
- Cianita: pode ocorrer em temperaturas superiores a 585°C e pressões superiores a 7,75kbar.
- Sillimanita: pode estar presente em pressões inferiores a 7,75kbar e temperaturas superiores a 580°C.



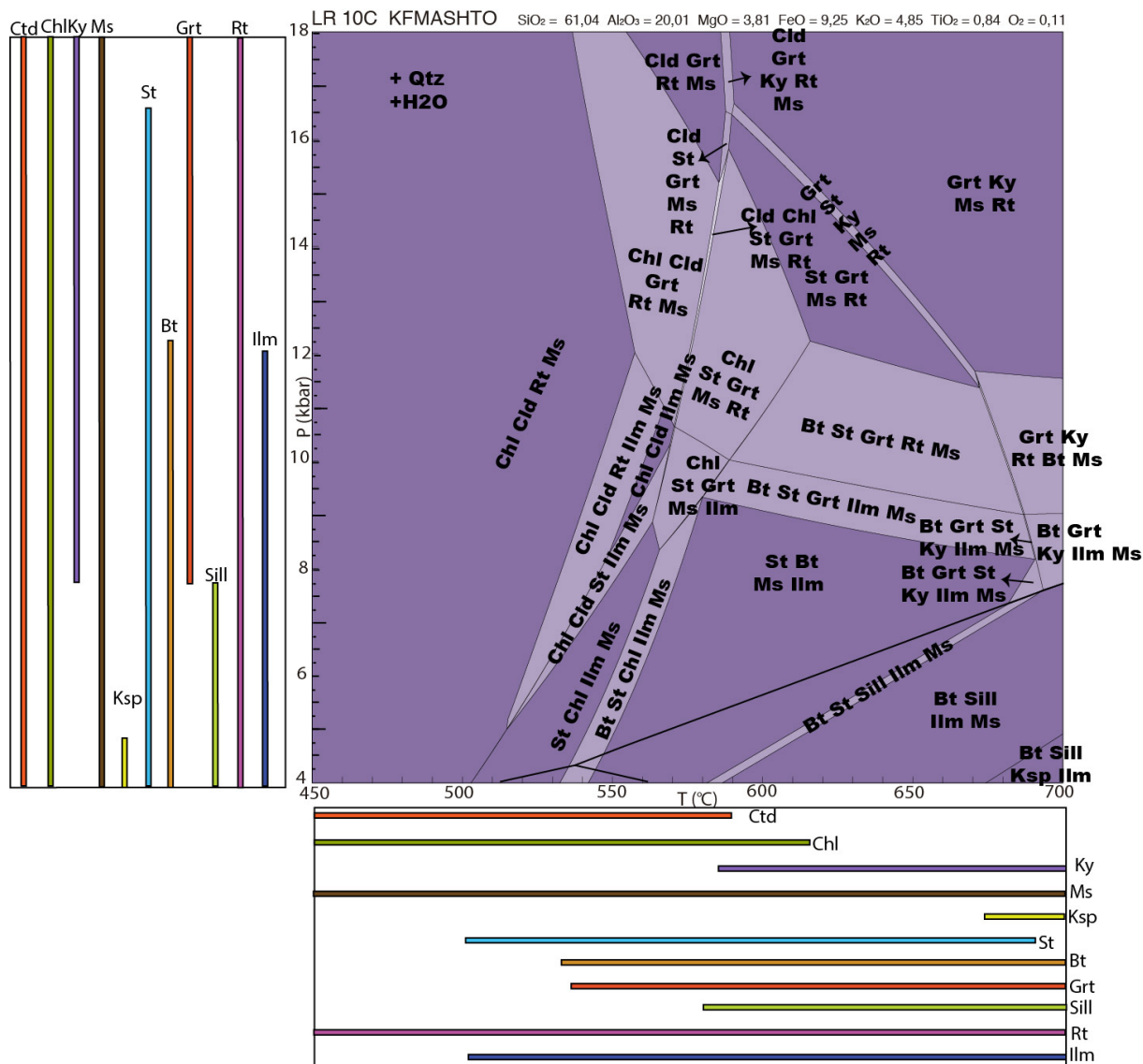


Figura 53: Pseudosseção  $P$ - $T$  da amostra LR-10C no sistema KFMASHTO, mostrando a ocorrência de cada mineral dependendo da temperatura e da pressão nas barras laterais.

- Muscovita: ocorre em grande parte das condições de pressão e temperatura, com exceção de pressões inferiores a 4,8kbar e temperaturas superiores a 575°C.
- Feldspato potássico: ocorre apenas em pressões inferiores a 4,8kbar e temperaturas superiores a 575°C.
- Ilmenita: esse mineral pode estar presente em pressões inferiores a 10kbar e temperaturas superiores a 500°C.
- Rutilo: pode ocorrer em grande parte das condições de pressão e temperatura em que foi calculada a pseudosseção. No entanto, o rutilo não está presente em alguns campos com temperaturas superiores a 502°C a e pressões inferiores a 10,1kbar, ocorrendo apenas a ilmenita.

### 3.3.2 Pseudosseção da amostra LR-44C (porção sul)

A pseudosseção da amostra LR-44C no sistema KFMASHTO é composta por campos divariantes, trivariantes, tetravariantes e um campo pentavariante (Figura 54). A seguir, serão descritas as condições de *P-T* de ocorrência de cada um dos minerais.

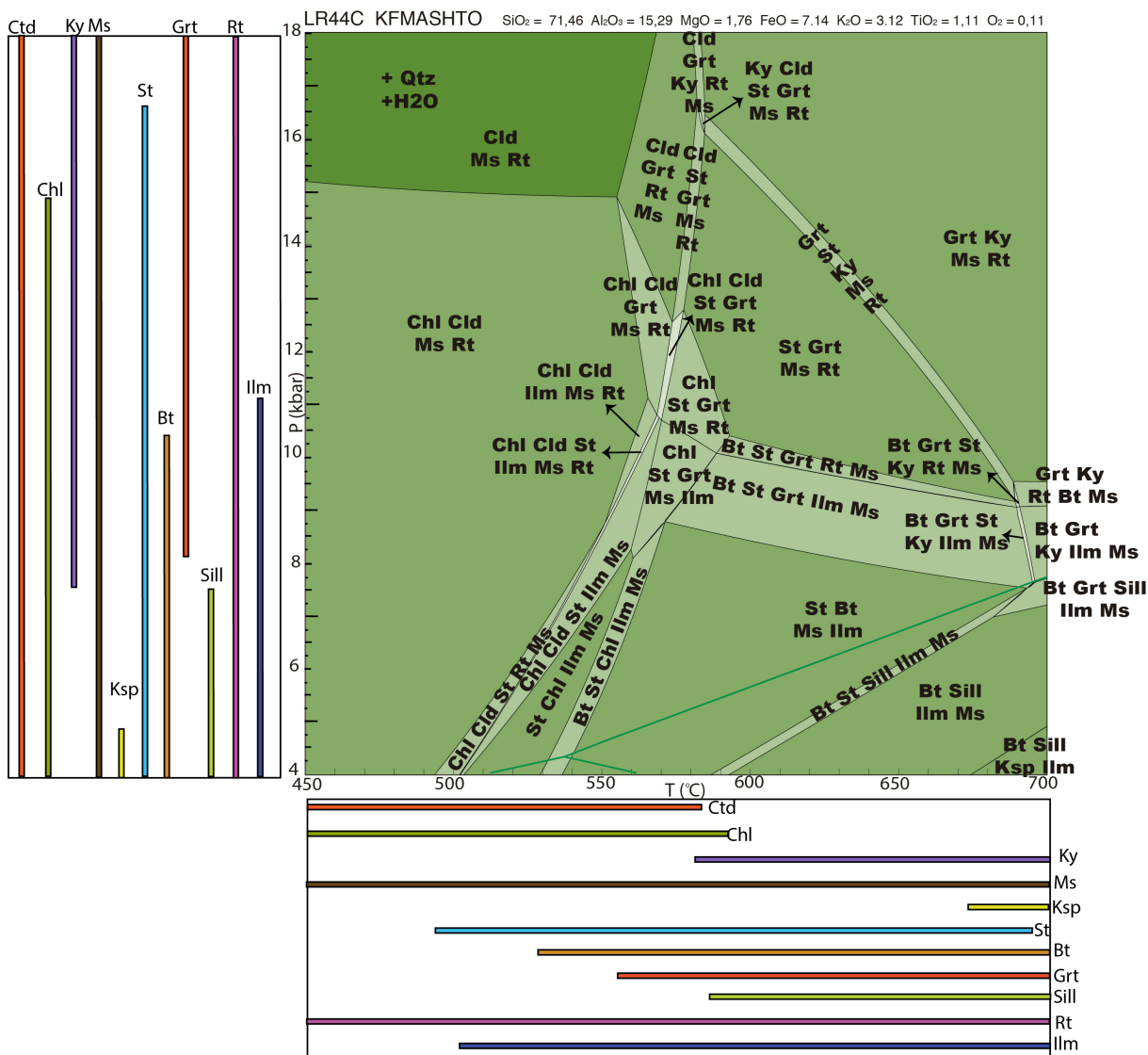


Figura 54: Pseudosseção *P-T* da amostra LR-44C no sistema KFMASHTO mostrando a ocorrência de cada mineral dependendo da temperatura e da pressão nas barras laterais.

- Clorita: pode ocorrer em pressões inferiores a 14,8kbar e temperaturas inferiores a 582°C.
- Cloritoide: é controlado apenas pela temperatura, podendo ocorrer em temperaturas inferiores a 582°C.
- Granada: é estável em pressões superiores a 8,2kbar e temperaturas superiores a 555°C.

- Biotita: ocorre em pressões inferiores a 10,4kbar e temperaturas superiores a 529°C.
- Cianita: pode ocorrer em temperaturas superiores a 580°C e pressões superiores a 7,75kbar.
- Sillimanita: pode estar presente em pressões inferiores a 9kbar e temperaturas superiores a 586°C.
- Estauroлита: pode estar presente em temperaturas entre 492 e 695°C e pressões inferiores a 16,7kbar.
- Muscovita: ocorre em grande parte das condições de pressão e temperatura em que foi calculada esta pseudosseção, com exceção de pressões inferiores a 4,8kbar e temperaturas superiores a 575°C.
- Feldspato potássico: ocorre apenas em pressões inferiores a 4,8kbar e temperaturas superiores a 575°C.
- Ilmenita: pode estar presente em pressões inferiores a 10,1kbar e temperaturas superiores a 503°C.
- Rutilo: pode ocorrer em grande parte das condições de P e T em que foi calculada a pseudosseção. No entanto, o rutilo não está presente em alguns campos com temperaturas superiores a 503°C e pressões inferiores a 10,1kbar, ocorrendo apenas a ilmenita.

### 3.3.3 Isopletas minerais

Em campos bivariantes ou com graus de liberdade superior, a composição química mineral dos minerais pode variar, modificando-se as condições de pressão e de temperatura. Através das pseudosseções, utilizando os softwares THERMOCALC ou TCCinvestigator (PEARCE; WHITE; GAZLEY, 2015), é possível calcular linhas ao longo das quais os parâmetros químicos de um mineral específico se mantêm constante, como por exemplo a razão de xFe ( $xFe = \frac{Fe}{Fe+Mg}$ ) de alguns minerais. Tais linhas são denominadas isopletas. Neste trabalho, foram calculadas as isopletas dos principais minerais nas pseudosseções LR-10C e LR-44C do sistema KFMASHTO.

#### 3.3.3.1 Isopletas da granada

Para a granada, utilizando o sistema KFMASHTO, é possível calcular os valores da isopleta de xFe, que corresponde a  $xFe = \frac{Fe}{Fe+Mg}$ . Na grande maioria dos campos das pseudosseções LR-10C e LR-44C, o xFe da granada aumenta com a diminuição da pressão e da temperatura (Figura 55). A exceção ocorre nos campos St-Grt-Ms-H<sub>2</sub>O-Qtz

e Grt-Ky-Ms-H<sub>2</sub>O-Qtz, campos nos quais as isopletras de xFe aumentam com o aumento da pressão e diminuição da temperatura (Figura 55).

Em ambas as amostras, o valor de xFe da granada no núcleo é de 0,88 e na borda é de 0,92 (análises por EPMA, ver item 3.2). Valores esses incompatíveis com os calculados nas duas pseudosseções.

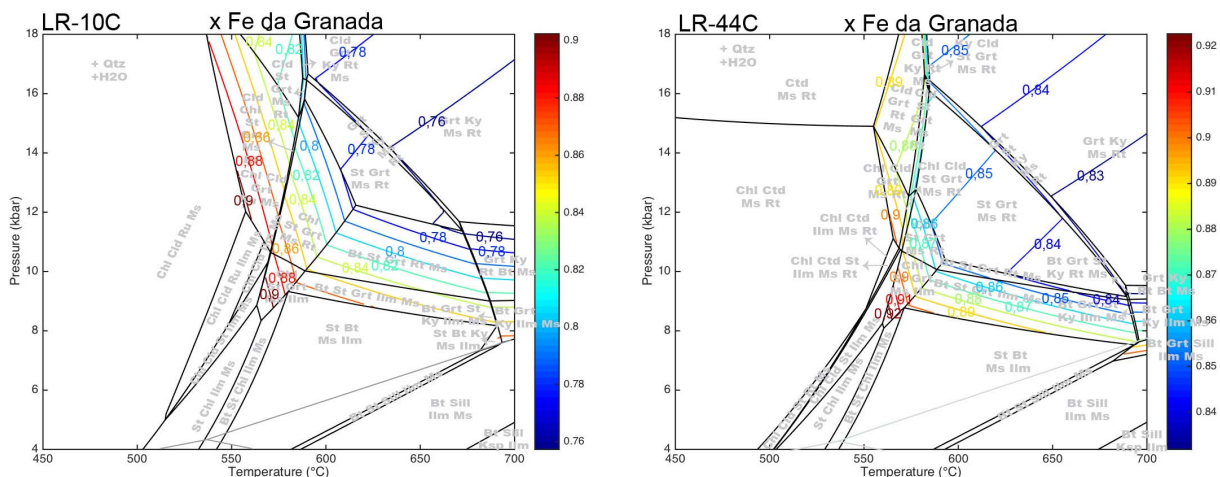


Figura 55: Isopletras de xFe ( $xFe = \frac{Fe}{Fe+Mg}$ ) da granada, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO.

### 3.3.3.2 Isopletras da clorita

Nas pseudosseções LR-10C e LR-44C, o comportamento das isopletras de xFe ( $xFe = \frac{xFeM1+4xFeM23+xFeM4}{xFeM1+4xFeM23+xFeM4+xMgM1+4xMgM23+xMgM4}$ ) para a clorita depende do campo onde elas se encontram (Figura 56). Na maioria dos campos, o xFe aumenta com a diminuição da temperatura e da pressão, com exceção do campo Chl-Cld-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms. Neste campo, o xFe na clorita é fortemente dependente da pressão, aumentando com a diminuição da mesma. As cloritas da amostra LR-10C do centro-norte da *Nappe* de Luminárias possuem xFe médio de 0,55 e da amostra LR-44C de 0,46 (valores obtidos por EPMA, item 3.2).

### 3.3.3.3 Isopletras da biotita

Isopletras de xFe ( $xFe = \frac{2xFeM12+xFeM3}{2xFeM12+xFeM3+2xMgM12+xMgM3}$ ) e de Ti(xTiM3) foram calculadas para biotita nas pseudosseções LR-10C e LR-44C (Figura 57).

Na maioria dos campos, o xFe aumenta com a diminuição da temperatura e da pressão (Figura 57). A exceção são os campos Bt-St-Chl-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms e St-Bt-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, em que as isopletras de xFe aumentam com a diminuição da temperatura e com o aumento da pressão. Na grande maioria dos campos, o Ti na biotita aumenta com o aumento da temperatura e com a diminuição da pressão (Figura 57).

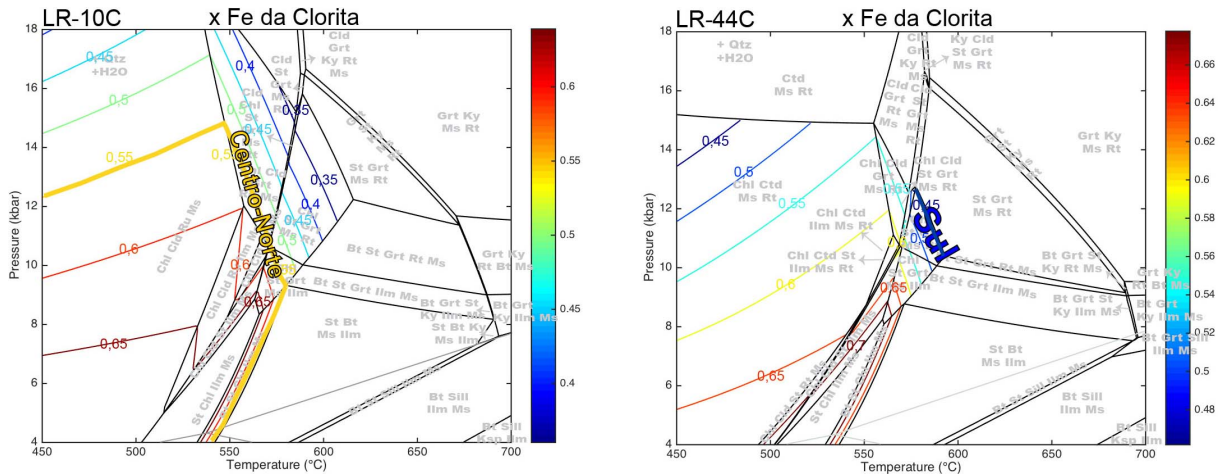


Figura 56: Isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFeM1+4xFeM23+xFeM4}{xFeM1+4xFeM23+xFeM4+xMgM1+4xMgM23+xMgM4}$ ) da clorita, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASH. Na figura está destacada a composição da clorita da porção centro-norte e sul da *Nappe* de Luminárias.

No norte da *Nappe* de Luminárias, a amostra LR-10C possui  $xFe$  médio de 0,50 e Ti de 0,08, já no sul da *Nappe*, a amostra LR-44C possui  $xFe$  igual a 0,57 e Ti de 0,08 (valores obtidos por EPMA, item 3.2).

### 3.3.3.4 Isopletas da estaurolita

Isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) em estaurolita foram calculadas em ambas as pseudosseções. Os valores variam dependendo do campo em que ele foi calculado. Nos campos Bt-St-Grt-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Grt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Grt-St-Ky-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-St-Grt-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, as isopletas de  $xFe$  da estaurolita aumentam com a diminuição da pressão e da temperatura. Já nos campos St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, St-Chl-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Chl-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Rt-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Cld-St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms e St-Bt-Ill-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, as isopletas aumentam com o aumento da temperatura e da pressão.

O valor do  $xFe$  na estaurolita (valores obtidos por EPMA, item 3.2) no centro-norte da *Nappe* de Luminárias é 0,85 (amostra LR-10C) e no sul é 0,84 (amostra-44C). Em ambas as rochas, o valor de  $xFe$  é superior aos valores das isopletas calculadas para os campos que representam a paragênese das rochas.

### 3.3.3.5 Isopletas da muscovita

Isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) em muscovita foram calculadas para as duas pseudosseções. Estas isopletas apresentam duas principais tendências.

Nos campos Ctd-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Ctd-St-Ill-

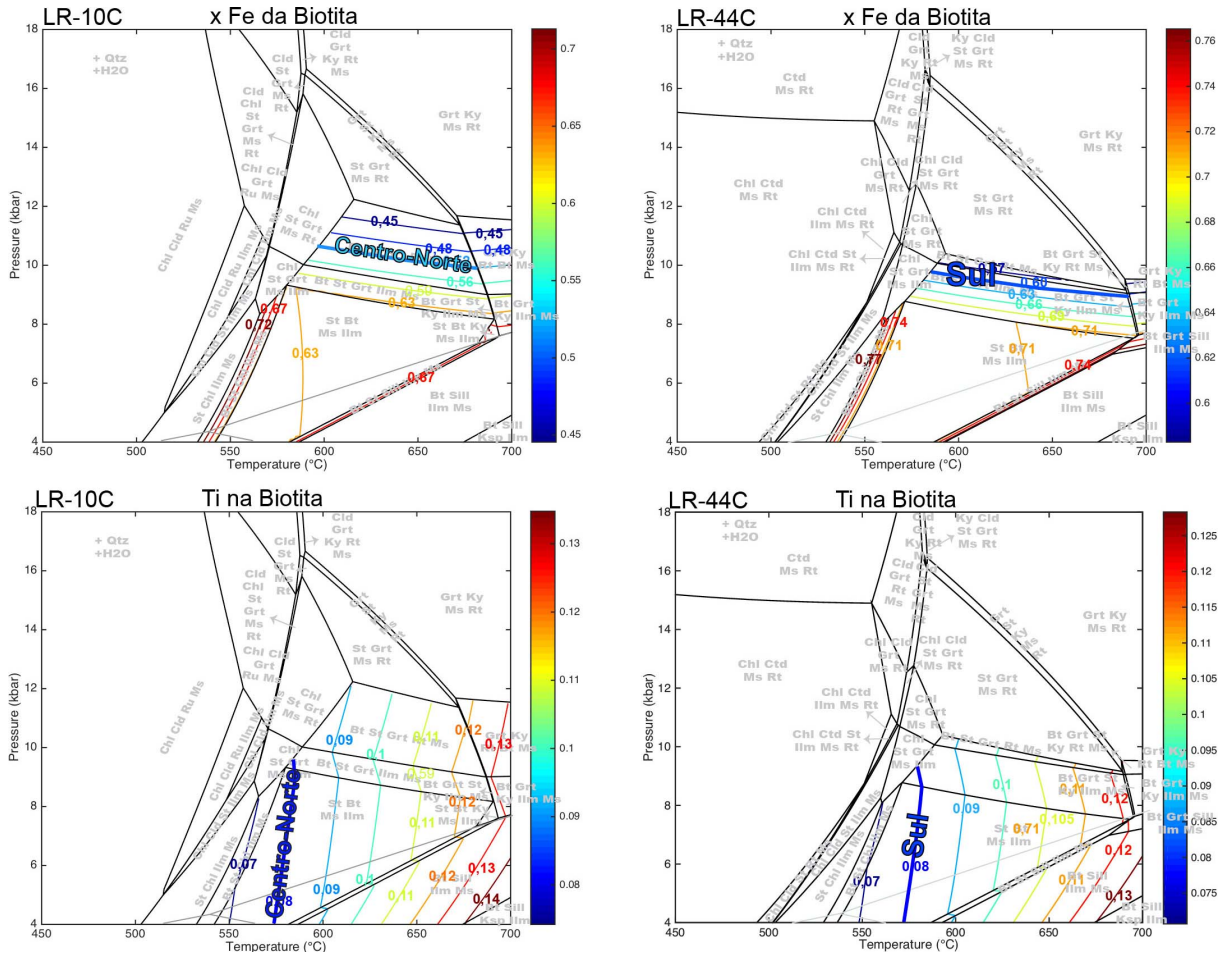


Figura 57: Isopletas de  $x_{Fe}$  ( $x_{Fe} = \frac{2x_{FeM12} + x_{FeM3}}{2x_{FeM12} + x_{FeM3} + 2x_{MgM12} + x_{MgM3}}$ ) e de Ti ( $x_{TiM3}$ ) da biotita, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO. Na figura, está destacada a composição da clorita da porção centro-norte e sul da *Nappe* de Luminárias.

H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Chl-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-St-Ilm-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-Cld-Ilm-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-St-Grt-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Chl-St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Cld-St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Cld-Grt-Ky-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Grt-Ky-Ru-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, St-Grt-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, St-Bt-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-Sill-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, St-Chl-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, os valores de  $x_{Fe}$  na muscovita aumentam com o aumento da temperatura e da pressão (Figura 59).

Já nos campos Chl-Ctd-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Grt-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-St-Sill-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Grt-St-Ky-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Grt-Ky-Rt-Bt-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-Grt-Ky-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, Bt-Grt-St-Ky-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms e Bt-Grt-Sill-Ilm-H<sub>2</sub>O-Qtz-Ms, os valores de  $x_{Fe}$  na muscovita aumentam com a diminuição da temperatura e da pressão.

O valor de  $x_{Fe}$  médio da muscovita tanto no centro-norte quanto no sul da *Nappe* de Luminárias (amostras LR-10C e LR-44C) é 0,45 (valores obtidos por EPMA, item 3.2).

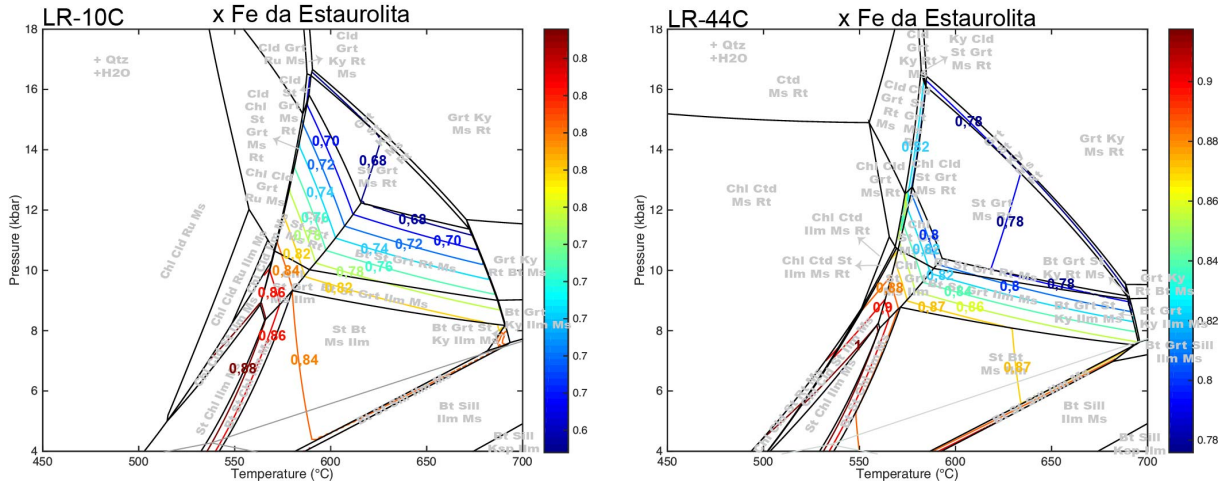


Figura 58: Isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) da estaurolita, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO. Nestas isopletas, estão destacados os valores encontrados nas estaurolitas do norte e centro-norte.

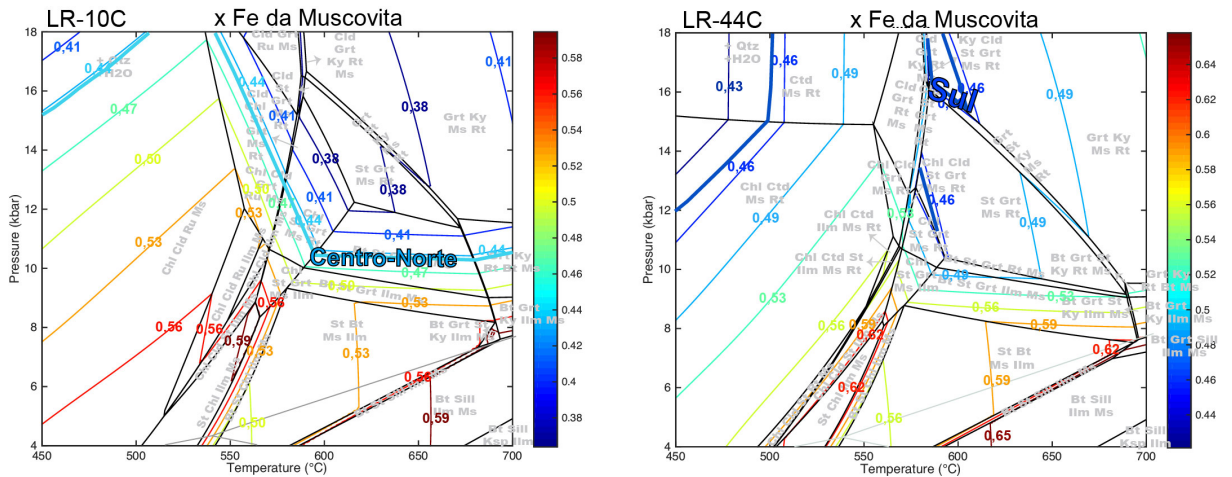


Figura 59: Isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) da muscovita, calculadas nas pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO. Nestas isopletas, estão destacados os valores encontrados nas muscovitas do centro-norte e sul da *Nappe* de Luminárias.

### 3.3.3.6 Isopletas da cloritoide

Foram calculadas as isopletas de  $xFe$  ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) em cloritoide para apenas pseudosseção da amostra LR-10C (Figura 60), devido ao fato do mineral só ocorrer na porção norte e centro-norte da área de estudos. O comportamento destas isopletas também varia de acordo com o campo em que elas foram calculadas. Nos campos Cld-Chl-Ky-Ms-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz, Cld-St-Chl-Rt-Ms-H<sub>2</sub>O-Qtz e St-Cld-Ky-Ms-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz, os valores das isopletas de  $xFe$  decrescem com o aumento de pressão e crescem com o aumento de temperatura. Já nos campos Cld-Ky-Rt-Ms-H<sub>2</sub>O-Qtz, St-Cld-Rt-Ms-H<sub>2</sub>O-Qtz e Chl-St-Cld-Ky-Ms-Rt-H<sub>2</sub>O-Qtz, os valores das isopletas de  $xFe$  no cloritoide decrescem com o aumento de temperatura e da pressão.

O valor do xFe (valores obtidos por EPMA, item 3.2) na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias é de 0,81 (amostra LR-10E) e no norte é 0,82 (amostra LR-04).

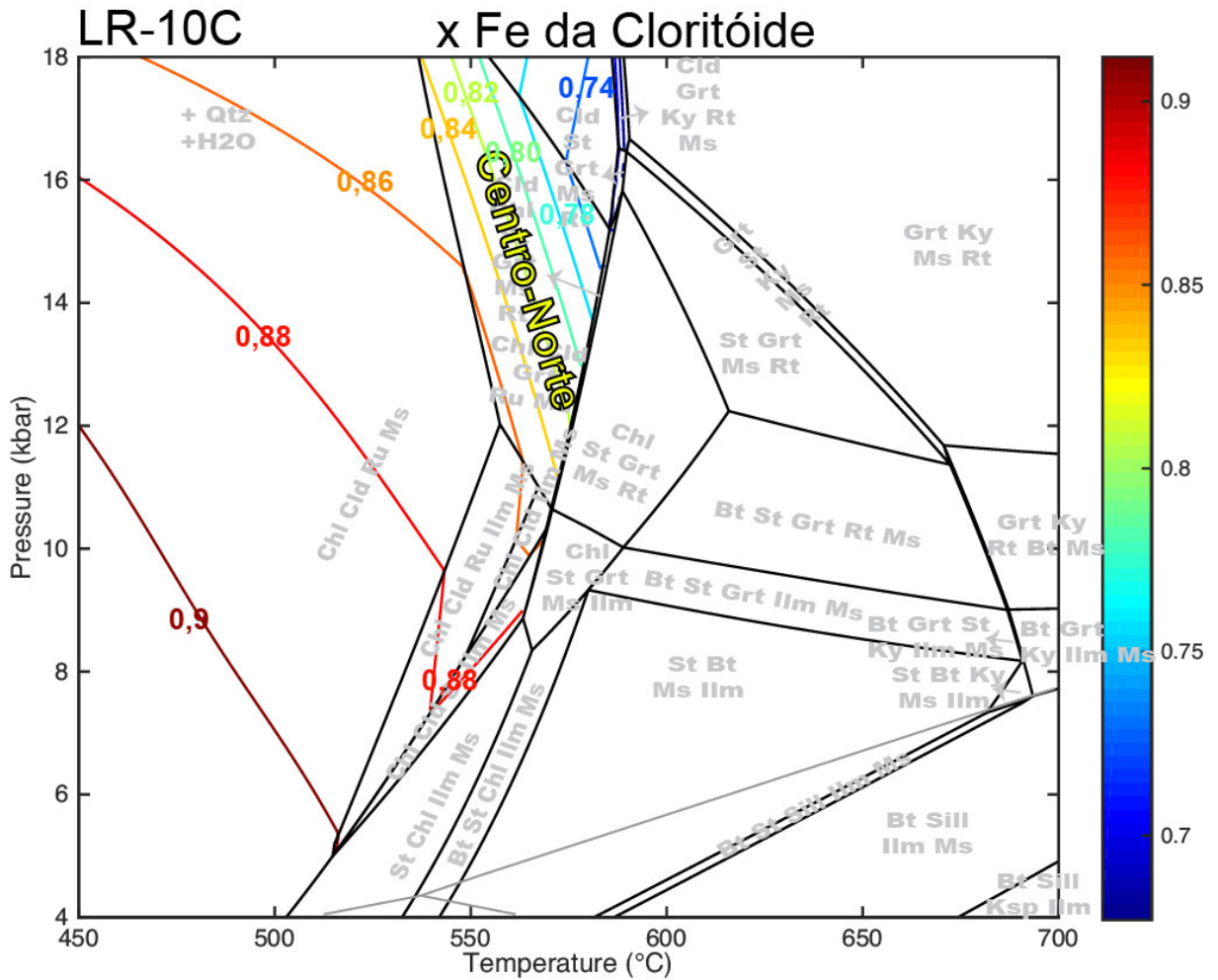


Figura 60: Isopletas de xFe ( $xFe = \frac{xFe}{xFe+xMg}$ ) do cloritoide, calculadas na pseudosseção LR-10C no sistema KFMASHTO. Nestas isopletas, estão destacados os valores encontrados nos cloritoides do norte e centro-norte.



## 4 Discussões

Com base nos dados obtidos no presente trabalho, é possível caracterizar as condições do pico metamórfico das rochas da *Nappe* de Luminárias e tecer discussões sobre a trajetória *P-T* e sua relação com o quadro tectônico regional. A interpretação conjunta das paragêneses observadas nas rochas com auxílio das pseudosseções, a composição química mineral dos principais minerais formadores de rochas, a concentração de elementos traço no rutilo e o teor de Ti no quartzo, permite estimar as condições de pressão e temperatura em que as rochas foram metamorfizadas. Além disso, os dados de elementos traço no rutilo permitem tecer interpretações quanto à proveniência do quartzito da unidade Na<sub>3</sub>.

### 4.1 Condições do metamorfismo nos metapelitos

Para o estudo do metamorfismo em rochas metapelíticas, utilizou-se a unidade Na<sub>4</sub>, que ocorre ao longo de toda extensão da da *Nappe* de Luminárias (Apêndice B).

Na porção norte da *Nappe* de Luminárias, são observadas as paragêneses: clorita+cloritoide+cianita +muscovita+ quartzo e cloritoide+estaurolita+clorita+muscovita +quartzo, ambas de fácies xisto-verde. A paragênese observada na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias é biotita+estaurolita+granada+quartzo+muscovita, sendo o pico metamórfico de fácies anfíbolito. Já no sul da *Nappe*, a paragênese é cianita+estaurolita+granada+quartzo+muscovita, que representa, no local fácies anfíbolito de alta pressão / eclogito, já que a pressão calculada é elevada (Figura 61).

No norte da *Nappe* de Luminárias, a ocorrência da paragênese cloritoide+clorita+cianita+muscovita+quartzo ilustra a seguinte reação metamórfica:



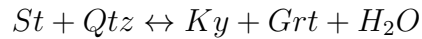
Na porção norte e centro-norte da *Nappe* de Luminárias (Apêndice B), ocorre a quebra do cloritoide e a cristalização de granada, que pode ser expressa pela seguinte reação:



E a cristalização da biotita pode ser expressa pela equação:



No sul da *Nappe* de Luminárias, a entrada da cianita na paragênese mineral pode ser ilustrada pela reação:



Além das paragêneses metamórficas descritas acima, foram observadas também associações minerais do metamorfismo progressivo e do retrometamorfismo. Na porção norte da *Nappe* de Luminárias, a clorita ocorre nas bordas da estauroлита, devido a sua substituição durante o retrometamorfismo (Figura 18 D). Na porção centro-norte da *Nappe*, ocorre cloritoide com forma subeudral, que substituiu a estauroлита. A clorita ocorre na matriz e a presença destes minerais é interpretada como retrometamorfismo (Figura 18 A e D). Na porção sul, ocorrem cristais, anedrais de clorita e biotita, esses cristais possuem orientações dispersas na matriz (Figura 23 B) e cristais de ilmenita ocorrem substituindo cristais de rutilo. Devido ao fato da paragênese metamórfica do sul da *Nappe* ser granada+cianita+estauroлита+muscovita+quartzo e os aspectos texturais levantados anteriormente, a bitoita, clorita e ilmenita são interpretados como retrometamórficas, ilustrando uma descompressão (Figura 61).

As diferentes associações minerais observadas, segundo as pseudosseções, correspondem as seguintes condições de *P* e *T* (Figura 61):

- Bt-St-Grt-Ilm-Qtz-Ms-H<sub>2</sub>O (Centro-Norte) - 580°C a 689°C e 8,25kbar a 10kbar. (Pseudosseção LR-10C);
- St-Grt-Rt-Qtz-Ms-H<sub>2</sub>O (Centro-Norte) - 588°C a 672°C e 11,4kbar a 16,25kbar. (Pseudosseção LR-10C);
- Chl-Cld-Grt-Rt-Qtz-Ms-H<sub>2</sub>O (Centro-Norte) - 538°C a 588°C e a partir de 10,6kbar. (Pseudosseção LR-10C);
- Grt-Ky-St-Rt-Qtz-Ms-H<sub>2</sub>O (Sul) - 586°C a 688°C e 9,25kbar a 16,2kbar. (Pseudosseção LR-44C) e
- Bt-St-Grt-Ilm-Qtz-Ms-H<sub>2</sub>O (Centro-Norte) - 571°C a 689°C e 7,25kbar a 10,1kbar. (Pseudosseção LR-44C).

Com as paragêneses observadas nas rochas estudadas, foi possível traçar as três trajetórias metamórficas referentes às porções norte, centro-norte e sul da *Nappe* de Luminárias (Figura 62). Ambas as trajetórias são horárias e ilustram um aumento de temperatura e pressão na direção sul da *Nappe* de Luminárias. Por serem horárias, ambas as trajetórias registram um aquecimento seguido de descompressão e resfriamento.

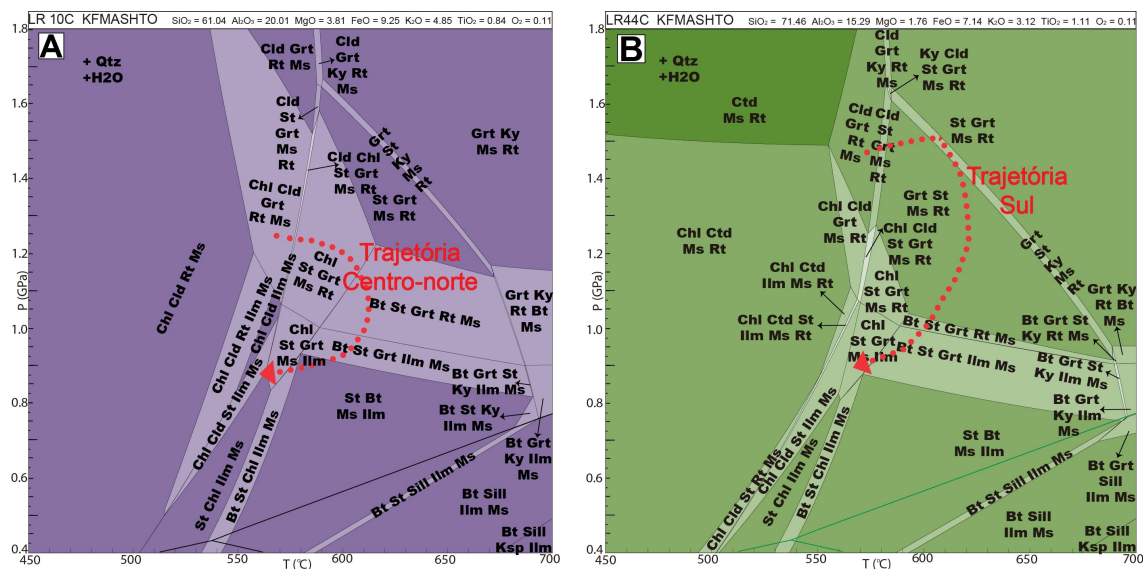


Figura 61: Pseudosseções LR-10C e LR-44C no sistema KFMASHTO contendo as trajetórias metamórficas, indicadas pelas setas vermelhas pontilhadas.

O fracionamento na química mineral nos cristais de granada mostram que a variação de  $x_{Fe}$  (com valores médios de 0,88 no núcleo e de 0,92 na borda) indica que a cristalização do mineral registrou uma diminuição na temperatura ou na pressão. Porém que os valores de  $x_{Fe}$  da granada, obtidos por EPMA, não são compatíveis com as isopletras calculadas para o campo da pseudosseção que representa a associação mineral em equilíbrio da rocha (Figura 55). Tais discrepâncias podem estar associadas aos fracionamentos químicos decorrentes da cristalização de porfiroblastos, no qual, por exemplo, o núcleo dos minerais deixa de participar das reações metamórficas.

Ao comparar o método de modelagem metamórfica com pseudosseção e geotermômetros de elementos traço com o método de *Average PT* do THERMOCALC observa-se que os resultados de *Average PT* apresentam grandes variações de temperatura e pressão, sendo imprecisos, entretanto os valores médios condizem com o campo de estabilidade das paragêneses na pseudosseção (Figura 63).

Os dados de Zr em rutilo de metapelitos acrescentam robustas informações na modelagem metamórfica das rochas da *Nappe* de Luminárias. Os teores de Zr em rutilo (Tabela 17 e Figura 42) confirmam que as temperaturas dos metapelitos da porção norte da *Nappe* de Luminárias são mais baixas, aproximadamente 560°C, do que na porção sul, 630°C, corroborando a presença de gradiente metamórfico. Apesar do geotermômetro Ti no quartzo ter sido aplicado apenas para uma amostra da porção sul, a integração de todos os dados obtidos para esta amostra forneceu excelente estimativa das condições de pressão e temperatura (Figura 64), com valores médios de 630°C e 15 kbar. Esses valores são muito próximos do campo da paragênese metamórfica modelado na pseudosseção (Figura 64).

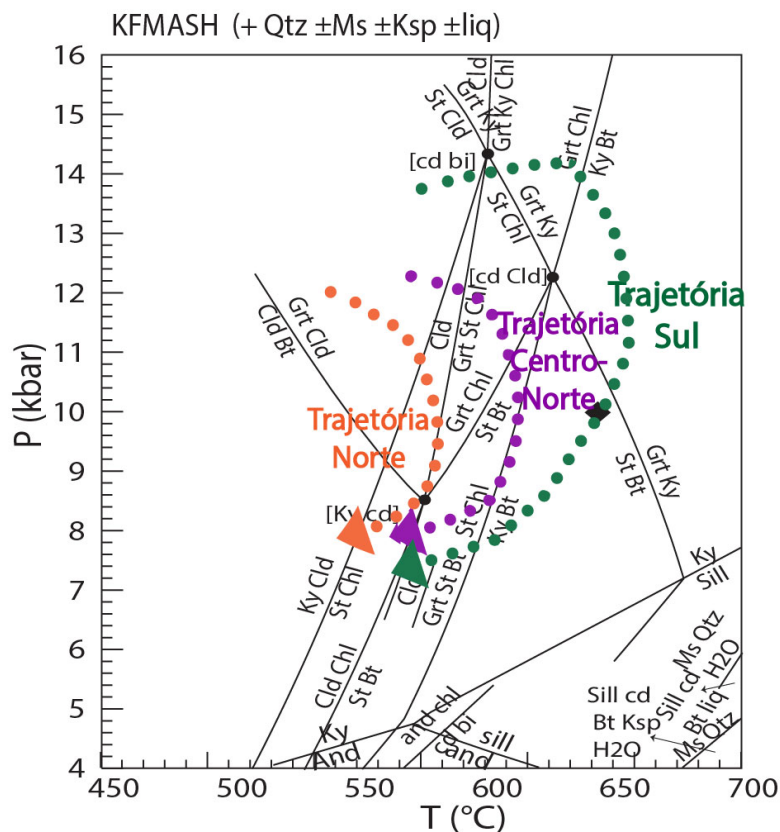


Figura 62: Grade petrogenética no sistema KFMASH, extraída de White et al. (2014), contendo as trajetórias metamórficas traçadas para as porções norte, centro-norte e sul da *Nappe* de Luminárias. As trajetórias foram traçadas com das diferentes associações minerais.

## 4.2 Condições de metamorfismo nos quartzitos

Quartzitos não são usualmente utilizados para estudos metamórficos, pelo fato de serem compostos majoritariamente por quartzo ou por quartzo e muscovita. Sua composição restrita impede a cristalização de minerais índices do metamorfismo devido à falta de componentes. Apesar disso, os quartzitos geralmente contêm minerais acessórios, como o rutilo, que podem ser utilizados para estudos metamórficos através da quantificação de seus elementos traço (*i. e.* elementos traço no rutilo (TRIEBOLD et al., 2007; ZACK et al., 2002; MEINHOLD et al., 2008; MEINHOLD, 2010)).

Como exposto anteriormente, a Unidade Na<sub>3</sub> ocorre continuamente de norte a sul na *Nappe* de Luminárias e pode ser individualizada em duas porções, uma à leste que ocorre em longitudes próximas à cidade de Luminárias (Domínio Luminárias) e uma porção mais à oeste, em longitudes próximas à cidade de São Tomé das Letras (Domínio São Tomé das Letras). Os elementos traço no rutilo dessas duas porções as indicam que é possível as identificar em termos de temperatura de metamorfismo e composição do protólito. Os dados obtidos para sete amostras de quartzito do Domínio Luminárias mostram nítida diferença nas concentrações de Zr em rutilo da porção norte e centro-norte em relação

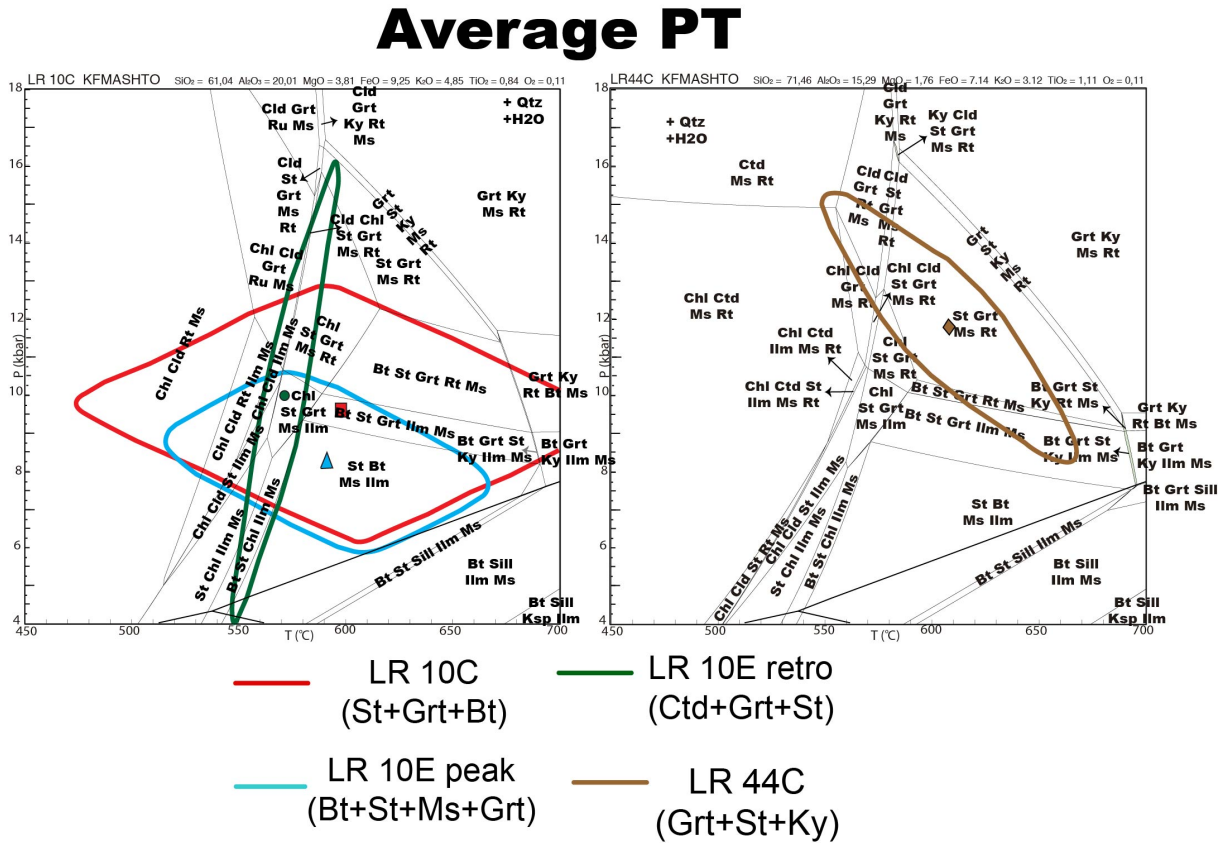


Figura 63: Comparação entre resultados de *Average PT* e pseudosseção.

às amostras do centro e do sul (Figura 45). Os teores de Zr em rutilo das amostras da porção norte são bastante variáveis (Figura 45). Tal variação indica que os cristais de rutilo dessas amostras são detríticos e não se reequilibraram durante o metamorfismo, isto é, a temperatura na qual o metamorfismo ocorreu não foi suficientemente alta para equilibrar a composição química de elementos traço nesse mineral. Logo, a composição química destes cristais associa-se com a composição da rocha fonte dos metassedimentos.

Já os teores de Zr em rutilo dos quartzitos das amostras da porção central e sul do Domínio Luminárias apresentam menor variação (Figura 45), o que indica que eles provavelmente foram reequilibrados no pico metamórfico. Nota-se também, que assim como nas temperaturas calculadas utilizando os cristais de rutilo das amostras de metapelitos, os cristais de rutilo do quartzito registram um aumento de temperatura em direção sul da *Nappe* de Luminárias.

Para o Domínio São Tomé das Letras, os teores de Zr em rutilo dos quartzitos são superiores aos encontrados nos cristais de rutilo da *Nappe* de Luminárias. Além disso, estas amostras apresentam um sutil aumento de temperatura em direção norte, de maneira inversa ao observado na *Nappe* de Luminárias e em toda a região.

Estudos realizados em rutilo de sedimentos recentes derivados de metapelitos e quartzitos por Luvizotto et al. (2009b), Triebold et al. (2007) mostram que os cristais de

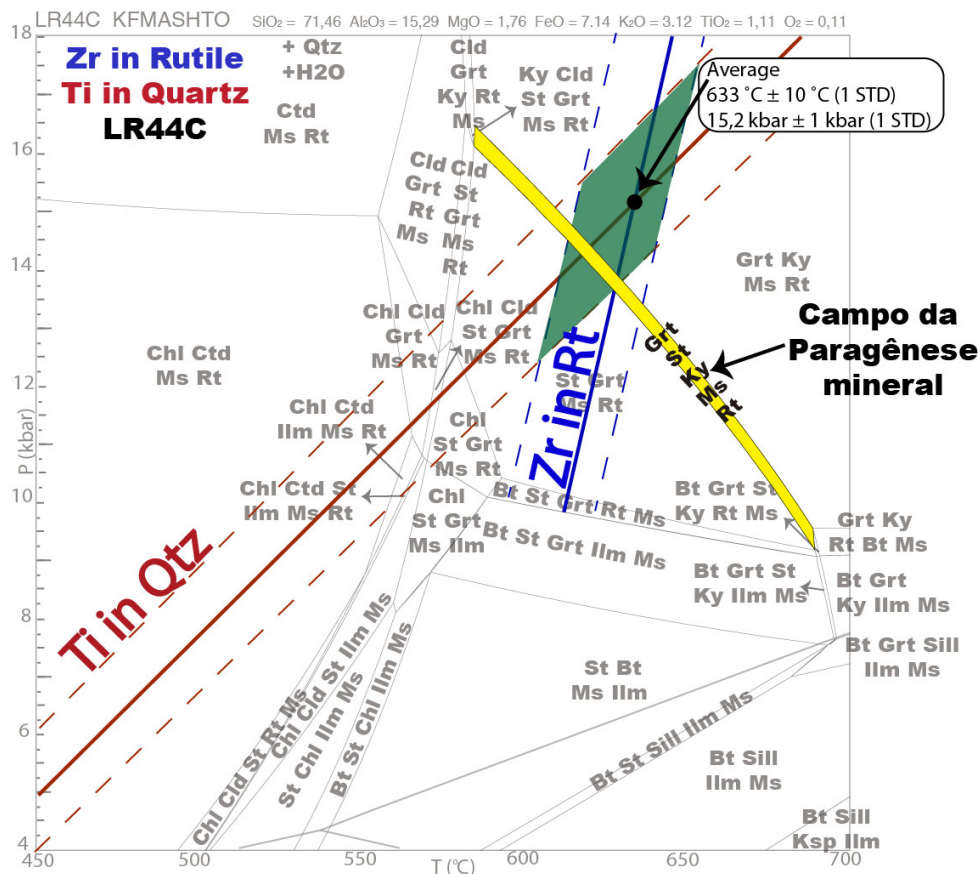


Figura 64: Geotermômetro de Ti no quartzo e de Zr no Rutile *versus* Pseudosseção da amostra LR-44C

rutilo no quartzito apresentam maior granulação e teores anormalmente elevados de Zr, indicando que o mineral manteve a assinatura detrítica. Tais autores interpretaram os altos valores de Zr como reliquias, interpretação esta também adotada neste trabalho para os grãos de rutilo da porção norte e centro norte do Domínio Luminárias. Além disso, Luvizotto et al. (2009b) e Triebold et al. (2007) associaram o desequilíbrio nos teores de elementos traço nos cristais de rutilo dos quartzitos ao fato de o quartzito ser menos reativo por possuir uma composição mais restrita. Isto indicaria que, em quartzitos, o reequilíbrio das concentrações de Zr no rutilo ocorreria em temperaturas mais elevadas do que nos metapelitos. Os resultados do presente trabalho mostram que o reequilíbrio da composição química dos cristais de rutilo nos quartzitos da *Nappe* de Luminárias ocorreu a aproximadamente em 580°C e 12-15 kbar. Neste sentido, temperaturas da ordem de 650°C obtidas para quartzitos da porção sul da *Nappe* de Luminárias confirmam as condições de temperatura obtidas para metapelitos (Figura 64).

Como discutido acima, a composição química dos cristais de rutilo derivados de quartzito indica que, pelo menos, parte da assinatura detrítica foi preservada. Apesar das concentrações de Zr se homogeneizarem nas amostras de mais alta temperatura, as concentrações de Cr e Nb continuam apresentando variações (figuras 45 e 49), provavelmente

refletindo a composição química do protólito. Assim, é possível avaliar a contribuição de fontes de rochas máficas e pelíticas no quartzito.

Os dados mostram que a contribuição de rochas máficas nos quartzitos do Domínio Luminárias é mínima, evidenciada pelo índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) predominantemente positivo. Já nos quartzitos do Domínio São Tomé das Letras, a fonte é majoritariamente máfica (índice  $x$  de Triebold, Eynatten e Zack (2012) predominantemente negativo).

Segundo a literatura (TROUW et al., 2003; QUÉMÉNEUR et al., 2003; PETERNEL; TROUW; CASTRO, 2008; PACIULLO; RIBEIRO, 2008), ocorre a repetição da estratigrafia encontrada na *Nappe* de Luminárias na região de São Tomé das Letras (ver Apêndice A). Entretanto, com os dados do geotermômetro de Zr no rutilo e do Cr/Nb obtidos neste trabalho, esta hipótese de repetição estratigráfica não pode ser sustentada, uma vez que os elementos traço no rutilo ilustram nitidamente diferenças entre o quartzito da *Nappe* de Luminárias em comparação com o quartzito da região de São Tomé das Letras.

### 4.3 Integração com os dados encontrados na literatura

Os mapas de distribuição de isógradas metamórficas apresentados por Ribeiro e Heilbron (1982), Trouw, Paciullo e Heilbron (1984) indicam que a *Nappe* de Luminárias apresenta quatro associações minerais, de norte para sul: Grt, Grt+St, Grt+St+Ky e Grt+St+Ky+Sill (Figura 9). Trabalhos realizados por Trouw et al. (2000), Trouw et al. (2013), Peternel et al. (2005), Reno et al. (2012) confirmam os dados anteriores (Figuras 10, 11). Além disso, o fato das isógradas metamórficas estarem oblíquas à direção das camadas é interpretado pelos autores como indicativo de que o estabelecimento das isógradas se deu posteriormente aos empurrões responsáveis pelo empilhamento tectônico das *nappes* (RIBEIRO; HEILBRON, 1982).

Comparando as paragêneses descritas na *Nappe* de Luminárias por Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Ribeiro e Heilbron (1982), Trouw et al. (2013), Peternel et al. (2005), Reno et al. (2012), representados pelas figuras 9, 10 e 11, com as paragêneses descritas no presente trabalho, nota-se que o início da ocorrência da granada e a paragênese Grt+St+Ky foi observada mais ao sul do que nos mapas descritos na literatura (Figura 65). Além disso, não foi observada a presença de sillimanita na porção sul da *Nappe* de Luminárias. Os dados do presente trabalho confirmam a presença do gradiente metamórfico, obliquo à direção das camadas, mostrando que as condições de  $PT$  aumentam para sul, variando de aproximadamente 530°C e 12 kbar para 630°C e 15 kbar.

Trouw et al. (1982), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), Ribeiro et al. (1995) descrevem que as condições de metamorfismo da região é do tipo barroviano, de pressão intermediária

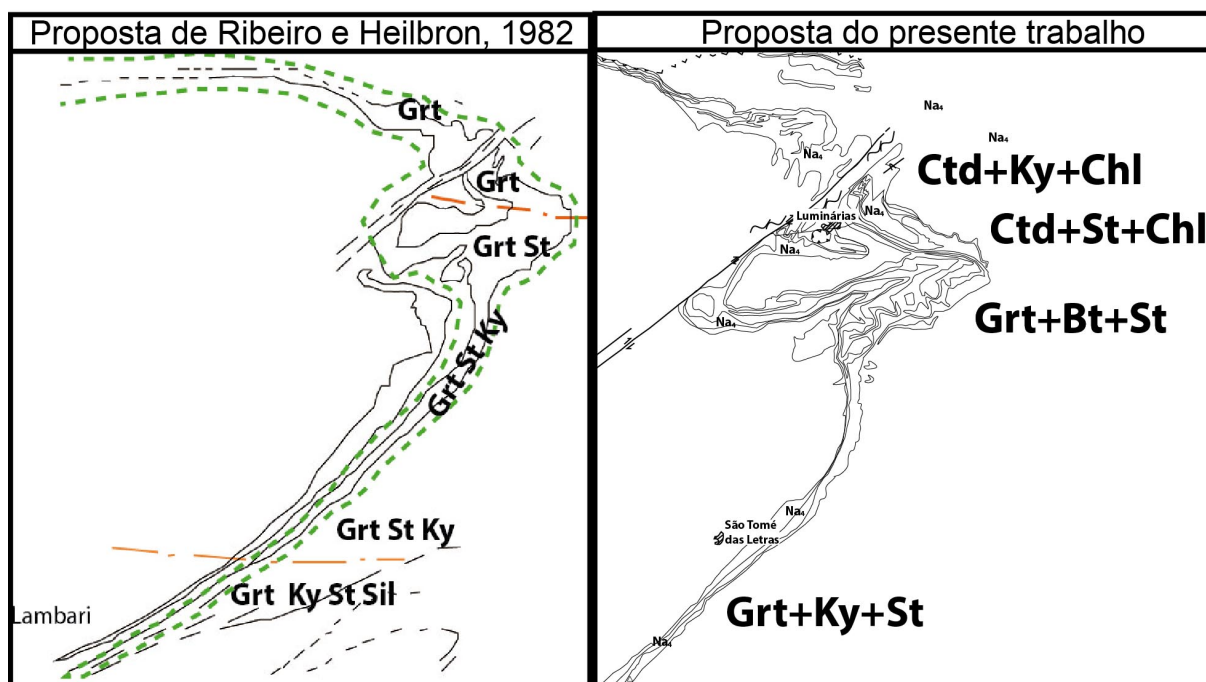


Figura 65: Comparação do mapa com os principais minerais metamórficos de Ribeiro e Heilbron (1982) com as paragêneses metamórficas observadas no presente trabalho

a alta. Dados apresentados por Silva (2010) para rochas da *Klippe* de Carrancas indicam condições de pico metamórfico de  $10 \pm 1,7$  kbar e  $577 \pm 8^\circ\text{C}$  para a Serra da Estância e  $12,9 \pm 1$  kbar e  $608 \pm 20^\circ\text{C}$  para a Serra das Bicas, evidenciando um caráter de pressão mais elevado que o metamorfismo barroviao típico. Os resultados obtidos no presente trabalho também indicam condições de pressão mais elevadas, podendo alcançar 15 kbar na porção sul da *Nappe* de Luminárias, o que implica que as rochas metassedimentares estudadas alcançaram condições mais profundas na crosta.

As três fases deformacionais descritas na literatura por Trouw, Ribeiro e Paciullo (1980), Trouw et al. (1982), Trouw, Ribeiro e Paciullo (1983), Trouw, Paciullo e Heilbron (1984), Trouw et al. (2000), Ribeiro (1980), Paciullo (1980), Heilbron (1984), Valeriano (1985) também foram observadas na *Nappe* de Luminárias. A deformação  $D_1$  é dificilmente reconhecida, sendo que suas estruturas são observadas em micrólitos de clivagens de crenulação  $D_2$ . A foliação  $S_1$  é observada também em regiões de charneira de dobras  $D_2$  (Figura 15B). As estruturas  $D_2$  dominam a área estudada e são caracterizadas por uma foliação  $S_2$  de baixo ângulo, plano axial de dobras isoclinais, enquanto que as fases pós  $D_2$  se manifestam como dobras suaves com padrão de interferência do tipo caixas de ovos. Durante o evento deformacional regional principal ( $D_2$ ), foram formadas as fases minerais do pico metamórfico, ilustradas pelos porfiroblastos inter a sintectônicos de estauroлита, cloritoide e granada presentes nos xistos. Porfiroblastos de granada exibem uma foliação interna com formas espiraladas, evidenciando a sua rotação, enquanto que as inclusões



internas são paralelas à maior dimensão nos cristais de estauroлита.

A chamada *Zona de interferência* entre as Faixas Brasília e Ribeira tem sido alvo de debates na literatura. As primeiras citações remetem ao trabalho de Trouw, Paciullo e Ribeiro (1994) que reinterpreteram a Faixa Alto do Rio Grande (HASUI; OLIVEIRA, 1984) como a zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira (Figura 5).

Peternel et al. (2005) descrevem para as rochas da região de Três Corações, a oeste da *Nappe* de Luminárias, estruturas e associações metamórficas relacionadas aos eventos deformacionais neoproterozoicos que geraram as faixas móveis Brasília e Ribeira. Os autores correlacionam os dois eventos deformacionais e metamórficos de pressão relativamente alta relacionados à Faixa Brasília e dois eventos metamórficos de pressão mais baixa relacionados à Faixa Ribeira.

Trouw et al. (2013) interpretam que o domínio Andrelândia pertence a *zona de interferência*, argumentando que neste domínio, as estruturas tectônicas que indicam transporte para NE (Faixa Brasília) são sobrepostas por estruturas que indicam transporte para NW (Faixa Ribeira). Além disso, Trouw et al. (2013) discutem que a substituição de cianita (associada a Faixa Brasília) por sillimanita (associada a Faixa Ribeira) corrobora a existência da *zona de interferência*.

Heilbron et al. (2008) interpreta que a zona de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira representa o episódio de colisão mais antigo da Faixa Ribeira, e registra o retrabalhamento da borda sul do paleo-continente São Francisco.

Outros autores, como por exemplo, Campos Neto (2000), Campos Neto e Caby (2000), Campos Neto et al. (2004), Campos Neto et al. (2011) interpretaram que o contato entre as faixas Brasília e Ribeira é abrupto, marcado por zonas de cisalhamento com direção WSW-ENE (zona de milonitos Rio Jaguarí) que truncam a porção sul da Faixa Brasília na zona de transição com a Faixa Ribeira. Segundo esta proposta, o chamado *Orógeno Brasília Meridional* é composto por uma pilha colisional de *nappes* (Figura 7).

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho e as informações publicadas na literatura, alguns pontos podem ser levantados:

1. Indicadores cinemáticos observados em campo e em lâminas apontam transporte tectônico de topo para leste para rochas da *Nappe* de Luminárias. O sentido de transporte é indicado, principalmente, por *mica-fish* e sombra de deformação assimétrica em porfiroblastos de granada e estauroлита, de caráter sin-D<sub>2</sub>. Um dos argumentos utilizados por Trouw et al. (2013) para defender a hipótese da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira é a presença de indicadores cinemáticos mostrando transporte para W / NW nas rochas do Sistema de Nappes Andrelândia, que inclui as rochas da área de estudos. Tal sentido de transporte é interpretado pelos autores como associado às deformações da Faixa Ribeira. Todavia, o transporte tectônico

apresentado no mapa (Figura 5) de Trouw et al. (2013) para as rochas da *Nappe* de Luminárias é predominantemente para leste, assim como constatado no presente trabalho. Seguindo a interpretação de Trouw et al. (2013), esta observação indicaria que a cinemática observada está associada às estruturas da Faixa Brasília.

2. Os dados do presente trabalho indicam que as associações metamórficas de pico, que possuem cianita, foram cristalizadas durante a fase de deformação  $D_2$ , responsável pela geração da foliação principal da área. Estruturas pretéritas (fase  $D_1$ ) estão preservadas em micrólitos de clivagem de crenulação  $S_2$  e como trilhas de inclusão de porfiroblastos de granada e estauroлита. De acordo com a interpretação de Trouw et al. (2013), as estruturas  $D_1$  associam-se às deformações relacionadas à Faixa Brasília, enquanto as estruturas  $D_2$  associam-se às deformações relacionadas à Faixa Ribeira.
3. Na porção sul da *Nappe* de Luminárias, a ocorrência de sillimanita em desequilíbrio com cianita já foi descrita em trabalhos anteriores (RIBEIRO; HEILBRON, 1982, por exemplo). Trouw et al. (2013) utilizou como argumento favorável à interpretação da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira, entretanto tal associação mineral não foi observada no presente trabalho (dados de campo e petrografia).
4. Trouw et al. (2013) ressaltam que as isógradas minerais são paralelas aos contatos em unidades associadas à Faixa Brasília. A posição oblíqua das isógradas é utilizada pelos autores como critério para justificar a presença da Zona de Interferência entre as faixas Brasília e Ribeira. Os dados do presente trabalho corroboram os dados da literatura e indicam que as isógradas minerais são oblíquas aos contatos geológicos.

Considerando os tópicos apresentados, diferentes interpretações são possíveis. A seguir, serão destacadas algumas divergências em relação aos modelos apresentados na literatura.

A interpretação de que as estruturas (fases  $D_1$  e  $D_2$ ) e o metamorfismo principal estão associados apenas à Faixa Brasília não explicaria a formação de isógradas oblíquas em relação aos contatos geológicos.

Alternativamente, as estruturas da fase  $D_2$ , o transporte tectônico para leste e o metamorfismo principal poderiam ser interpretados como associados à Faixa Ribeira. Nesta proposta, apenas as estruturas da fase  $D_1$  estariam associadas à Faixa Brasília. Todavia, o sentido de transporte (predominantemente para leste) e o metamorfismo de alta pressão, observados nas rochas da *Nappe* de Luminárias, são incoerentes com o descrito na literatura para as rochas da Faixa Ribeira. Por outro lado, esta interpretação explicaria o metamorfismo de alta pressão e a posição oblíqua das isógradas, decorrentes do soterramento causado pela superposição da Faixa Ribeira.

Os dados do presente trabalho não suportam a interpretação da Zona de Interferência da maneira apresentada por Trouw et al. (2013), na qual a superposição da Faixa Ribeira é marcada pela presença de sillimanita e transporte para oeste. Quanto à ausência de sillimanita, ressalta-se que, segundo a modelagem metamórfica realizada no presente trabalho (figuras 61 e 62, por exemplo), seria necessária uma descompressão isotérmica da ordem de 6 a 8 kbar para cristalizar este mineral nas rochas estudadas. Esta observação se contrapõe ao modelo que postula a presença da Zona de Interferência, já que a superposição das estruturas da Faixa Ribeira sobre as da Faixa Brasília não proporcionaria mecanismos para gerar tal descompressão.

## 5 Conclusões

Os dados obtidos no presente trabalho permitem concluir que:

- A área é marcada pela ocorrência de um gradiente metamórfico com condições variando de fácies xisto-verde a norte e fácies anfibolito / eclogito no sul. A paragéneses observada na porção centro-norte da *Nappe* de Luminárias é  $\text{Chl}+\text{Ctd}+\text{Ky}+\text{Ms}+\text{Qtz}$  ( $560^{\circ}\text{C}$  e  $10\text{kbar}$ ), na porção centro-norte é  $\text{Bt}+\text{St}+\text{Grt}+\text{Ms}+\text{Qtz}$  ( $610^{\circ}\text{C}$  e  $12,5\text{kbar}$ ) e no sul é  $\text{Grt}+\text{St}+\text{Ky}+\text{Ms}+\text{Qtz}$  ( $633^{\circ}\text{C}$  e  $15,2\text{kbar}$ ) (Figura 66).

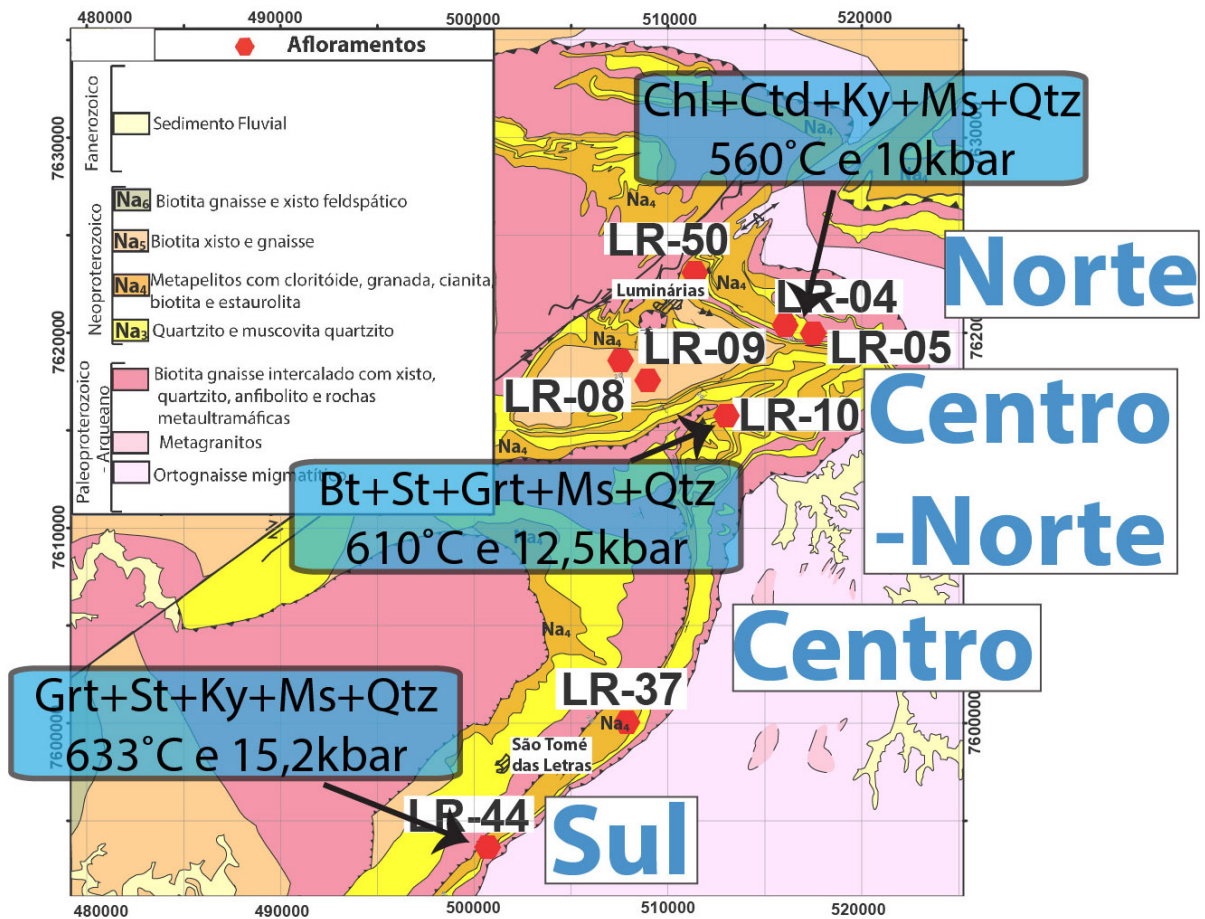


Figura 66: Mapa síntese mostrando a divisão da *Nappe* de Luminárias adotada nesse trabalho, a localização das principais amostras e a paragéneses mineral de cada porção com as respectivas condições de temperatura e pressão.

- O gradiente metamórfico é oblíquo aos contatos das unidades.
- As rochas metapelíticas da *Nappe* de Luminárias evoluíram através de trajetórias  $P$ - $T$ - $t$  horárias, que indicam aquecimento seguido de uma forte descompressão (Figura 62).

- As condições de pressão registradas nas rochas estudadas (máximo de 15 kbar) são superiores àquelas apresentadas na literatura para a área de estudos. Estas condições indicam que as rochas formaram-se em condições mais profundas da crosta.
- Os métodos de modelagem metamórfica através de pseudosseções, atrelados a geotermobarometria de elementos traço e a petrografia, se mostraram eficientes para a caracterização metamórfica dos metapelitos da área de estudos.
- Quartzitos podem ser utilizados para cálculo de temperatura pelo geotermômetro Zr no rutilo. Todavia, os dados indicam que a homogeneização, ou reequilíbrio, da concentração de Zr em rutilos detríticos em quartzitos ocorre em temperaturas mais elevadas que nos metapelitos, em torno de 580°C.
- A superposição de estruturas e metamorfismo associados à Faixa Ribeira não implicaria na cristalização de sillimanita. Segundo os dados de modelagem do presente trabalho, seria necessária descompressão isotérmica de aproximadamente 8 kbar para a cristalização de sillimanita, o que é incompatível com a superposição da Faixa Ribeira sobre a Faixa Brasília, que levaria a um soterramento ainda maior das unidades.

Sugere-se como estudos futuros para as rochas da *Nappe* de Luminárias:

- A datação do metamorfismo pelos métodos U-Pb em monazita e rutilo.
- A modelagem metamórfica por meio de pseudosseção, levando-se em consideração o fracionamento causado pela cristalização de profiroblastos.
- Datar dos cristais rutilo com assinatura detrítica presentes no quartzito da porção norte e centro norte a fim de caracterizar a idade da rocha fonte dos metassedimentos.
- Testar se o geotermômetro Ti no quartzo pode ser aplicado na caracterização metamórfica utilizando-se quartzito.

## Referências

- ALMEIDA, F. F. M. O Cratón do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, p. 349–364, 1977. Citado na página 29.
- ALMEIDA, F. F. M. et al. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, v. 17, p. 1–29, 1981. Citado na página 29.
- ANDREIS, R. R.; PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A. Caracterização preliminar dos ciclos deposicionais Proterozóicos no sudeste de Minas Gerais (folhas Barbacena e Divinópolis). In: *Anais do I Simpósio de Geologia do Sudeste*. [S.l.: s.n.], 1989. p. 97–98. Citado na página 37.
- ANDREIS, R. R.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. Ciclos deposicionais no Proterozóico das folhas Barbacena e Divinópolis (setor sul) 1: 250.000, Minas Gerais: Bases para a Interpretação da Evolução da Bacias Sedimentares. In: *Anais do I Simpósio de Geologia do Sudeste*. [S.l.: s.n.], 1989. p. 98–99. Citado na página 37.
- BITTENCOURT, B. R. *Caracterização da Zona de Cisalhamento Três Corações entre as cidades de Luminárias e São Gonçalo de Sapucaí, sul de Minas Gerais*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. Citado na página 40.
- BOWEN, N. L. Progressive metamorphism of siliceous limestone and dolomite. *The Journal of Geology*, p. 225–274, 1940. Citado na página 24.
- BRITO NEVES, B. B. de; CAMPOS NETO, M. D. C.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: as Approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes-News magazine of International Union of Geological Science*, v. 22, n. 155-166, 1999. Citado na página 29.
- CAMPOS NETO, M. D. C. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: An Approach to Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage in Southeastern Brazil. In: CORDANI, U. G. et al. (Ed.). *Tectonic Evolution of South America*. 1. ed. Rio de Janeiro: COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2000. p. 335–365. Citado 7 vezes nas páginas 16, 29, 32, 33, 34, 35 e 105.
- CAMPOS NETO, M. D. C. et al. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem Brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE-Brasil. *Geol. USP Sér. Cient.*, v. 4, n. 1, p. 13–40, 2004. Citado 5 vezes nas páginas 29, 33, 34, 35 e 105.
- CAMPOS NETO, M. D. C. et al. Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier Ltd, v. 32, n. 4, p. 393–406, 2011. ISSN 08959811. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.006>>. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 105.
- CAMPOS NETO, M. D. C.; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the Sao Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 97, n. 1-2, p. 3–26, 1999. ISSN 03019268. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 35.
- CAMPOS NETO, M. D. C.; CABY, R. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, v. 19, n. 4, p. 669–687, 2000. ISSN 02787407. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 105.

CAMPOS NETO, M. D. C.; CABY, R. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, v. 19, p. 669–687, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 32, 35 e 36.

CAMPOS NETO, M. D. C. et al. Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. *Precambrian Research*, v. 180, n. 3-4, p. 125–142, 2010. ISSN 03019268. Citado na página 34.

CAMPOS NETO, M. D. C. et al. Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental : litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4-suplemento, p. 47–60, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 35.

CAMPOS NETO, M. D. C. et al. A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande (SP-MG). In: *Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1990. p. 2615–2630. Citado na página 37.

CANDIA, M. A. F.; ZABÓ, G. A. J.; DEL LAMA, E. A. *Petrologia Metamórfica-Fundamentos para a interpretação de diagramas de fase Vol. 46*. [S.l.]: EdUSP, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.

CAPITANI, C. de; BROWN, T. H. The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 51, n. 10, p. 2639–2652, 1987. Citado na página 24.

COELHO, M. B. et al. Química Mineral e Geotermobarometria de Rochas da Nappe Liberdade, Sul da Faixa Brasília Meridional. In: *Anais do 14º Simpósio de Geologia do Sudeste*. Campos do Jordão - SP: [s.n.], 2015. p. 344. Citado na página 35.

CONNOLLY, J. Multivariable phase diagrams: an algorithm based on generalized thermodynamics. *American Journal of Science*, v. 290, p. 666–718, 1990. Citado na página 24.

COUTINHO, L. *Estrutura, litoestratigrafia e metamorfismo do Grupo Carrancas na frente orogênica da Faixa Brasília Meridional*. 143 p. Tese (Dissertação de Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2012. Citado na página 36.

DEL LAMA, E. A. et al. Exhumation of high-pressure granulites of the Guaxupé Complex, Southeastern Brazil. *Geological Journal*, v. 35, p. 231–249, 2000. Citado na página 35.

EBERT, H. *Pesquisas na parte Sudeste de Minas Gerais e no Nordeste*. In: *Relatório Anual do Diretor*. Rio de Janeiro, 1955. 79–89 p. Citado na página 29.

EBERT, H. *Relatório de atividades*. In: *Relatório Anual do Diretor da Div. Geol. Min.* Rio de Janeiro, 1956. 62–107 p. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 36.

EBERT, H. Beitrag zur Gliederung des Praakambriums in Minas Gerais. *Geol. Rundschau*, v. 45, p. 471–521, 1957. Citado na página 29.

EBERT, H. *Discordâncias pré-cambrianas em Carandaí, Minas Gerais*. In: *DGM/DNPM*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1958. bol.183, 48 p. Citado na página 29.

EBERT, H. Ocorrências de fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica; hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 40, p. 215–229, 1968. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 37.

EBERT, H. Os Paraibides entre São João del Rei, Minas Gerais e Itapira, São Paulo, e a Bifurcação entre Paraibides e Araxaides. In: *XXV Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1971. p. 1777–1778. Citado 4 vezes nas páginas 29, 37, 39 e 41.

- EBERT, H. *Aspectos da Geologia da Região de São João del Rei e a bifurcação entre Paraíbaes e Araxáides*. São Paulo, SP: SBG-SP, 1984. 114 p. Citado na página 29.
- FREITAS, F. C. *Geotermobarometria e evolução das rochas granulíticas da região de Socorro-SP*. 175 p. Tese (Dissestação de mestrado) — Universidade de São Paulo, 2000. Citado na página 35.
- FUCK, R. et al. Compartimentação tectônica da porção oriental da província tocantins. In: *SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1994. v. 38, n. 1, p. 215–216. Citado na página 16.
- GARCIA, M. G. M.; CAMPOS NETO, M. D. C. Constrating metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision realtes nappes, South of São Francisco Craton, SE, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, n. 8, p. 853–870, 2003. Citado na página 35.
- GONÇALVES, M. L.; FIGUEIREDO, M. C. H. de. Geoquímica dos Anfibolitos de Santana do Garambéu (MG): Implicações sobre a Evolução do Grupo Andrelândia. *Geochimica Brasiliensis*, v. 6, n. 2, p. 127–140, 1992. Citado na página 32.
- HASUI, Y. et al. *Geologia do Brasil*. [S.l.]: Beca, 2012. 900 p. Citado na página 30.
- HASUI, Y.; OLIVEIRA, M. A. F. Província Mantiqueira-Setor Central. In: *O Pré-cambriano no brasil*. [S.l.: s.n.], 1984. p. 308–344. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 105.
- HEILBRON, M. *Evolução metamórfo-estrutural na área entre Itutinga e Madre de Deus de Minas, MG*. 151 p. Tese (Dissertação de Mestrado) — UFRJ, 1984. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 104.
- HEILBRON, M. et al. Geocronologia da Região entre Lavras, São João del Rei, Lima Duarte e Caxambu (MG). *Anais da Academia brasileira de Ciências*, v. 2, p. 177–199, 1989. Citado na página 30.
- HEILBRON, M. et al. From Collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: TALWANI, M.; MOHRIAK, W. (Ed.). *Atlantic Rifts and Continental Margins of Brazil*. 115. ed. [S.l.]: American Geophysical Union, Geophysical Monographs, 2000. p. 1–34. Citado na página 32.
- HEILBRON, M. et al. Província Mantiqueira. In: *Geologia do Continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 203–235. Citado na página 31.
- HEILBRON, M. et al. Correlation of Neoproterozoic terrane between te Ribeira Belt, SE Brazil and its African countepart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 294, p. 211–237, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 105.
- HOLLAND, T. J. B.; POWELL, R. An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 29, n. 3, p. 333–383, 2011. ISSN 02634929. Citado 3 vezes nas páginas 20, 25 e 83.
- KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 68, p. 277–279, 1983. Citado na página 41.
- LAMA, E. D. et al. Exhumation of high-pressure granulites of the Guaxupé Complex, southeastern Brazil. *Geological Journal, Wiley Online Library*, v. 35, n. 3-4, p. 231–249, 2000. Citado na página 16.



- LUVIZOTTO, G. *Caracterização metamórfica das rochas do Grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, sudoeste de Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2003. Citado na página 16.
- LUVIZOTTO, G. et al. Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis. *Chemical Geology*, v. 261, p. 346–369, 2009. Citado na página 21.
- LUVIZOTTO, G. L. et al. Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: Example from the Erzgebirge, Germany. *Mineralogy and Petrology*, v. 97, n. 3-4, p. 233–249, 2009. ISSN 09300708. Citado 2 vezes nas páginas 101 e 102.
- MACHADO, N. et al. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implication for greenstone belt setting and evolution of Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 141, p. 259–276, 1996. Citado na página 32.
- MARTINEZ, R. B. *Avaliação de métodos para cálculo e inferência de condições P-T em rochas da fácies granulito: investigação das rochas das Nappes de Trêns Ponta - Varginha e Socorro - Guaxupé*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, 2015. Citado na página 16.
- MEINHOLD, G. Rutile and its applications in earth sciences. *Earth-Science Reviews*, Elsevier B.V., v. 102, n. 1-2, p. 1–28, 2010. ISSN 00128252. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.06.001>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 100.
- MEINHOLD, G. et al. Rutile chemistry and thermometry as provenance indicator: An example from Chios Island, Greece. *Sedimentary Geology*, v. 203, n. 1-2, p. 98–111, 2008. ISSN 00370738. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 100.
- MOTTA, R. G. et al. Reconstrução e comparação de trajetórias P-T no sistema de nappes andrelândia, sul da faixa Brasília, MG. *Geologia USP - Serie Científica*, v. 10, n. 3, p. 79–96, 2010. ISSN 1519874X. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 35.
- PACIULLO, F. V. P. Mapeamento geológico-estrutural da área de Minduri, MG. In: *Anais do II Simpósio de Geologia de Minas Gerais-Geologia do Pré-Cambriano*. [S.l.: s.n.], 1980. p. 440–448. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 104.
- PACIULLO, F. V. P. *Estratigrafia e paleoambientes nas sucessões metassedimentares proterozóicas das serras do Lenheiro e São José, São João del Rei, Sul de Minas Gerais*. 167 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A. Mapa Geológico-Folha Nepumoceno. In: *CONTRATO - CPRM - UFRJ 067/P2/2005*. [S.l.: s.n.], 2008. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 103.
- PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R. Reconstrução de uma Bacia Fragmentada: o Caso do Ciclo Depositional Andrelândia. In: *Anais do II Simpósio do Cráton do São Francisco*. Salvador, Bahia: [s.n.], 1993. p. 224–226. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- PACIULLO, F. V. P. et al. Sedimentary, igneous and thermo-tectonic events in the folded belts at the southern border of the São Francisco craton. In: *Abstracts of the International Conference on Precambrian and Craton Tectonics/ 14<sup>th</sup> International Conference on Basement tectonics*. [S.l.: s.n.], 1998. p. 68–69. Citado na página 31.
- PACIULLO, F. V. P. et al. The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic Intraplate Continental Margin, Southern Brasília Belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 200–202, 2000. Citado na página 38.

PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.; TROUW, R. a. J. Geologia da Folha Andrelândia 1:100.000. *Geologia e recursos minerais do sudeste mineiro Projeto Sul de Minas - Etapa I*, p. 84–119, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 44.

PEARCE, M. A.; WHITE, A. J. R.; GAZLEY, M. F. TCInvestigator: Automated calculation of mineral mode and composition contours for thermocalc pseudosections. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 33, n. 4, p. 413–425, 2015. ISSN 15251314. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 91.

PETERNEL, R. et al. Interferência Entre Duas Faixas Móveis Neoproterozóicas : O Caso Das Faixas Brasília E Ribeira No Sudeste Do Brasil. v. 35, n. 3, p. 297–310, 2005. ISSN 2317-4692. Citado 8 vezes nas páginas 16, 29, 32, 40, 41, 42, 103 e 105.

PETERNEL, R.; TROUW, R. A. J.; CASTRO, E. O. *Mapa Geológico - Folha Varginha*. [S.l.]: Serviço Geológico do Brasil, 2008. 1:100.000 p. Citado 3 vezes nas páginas 39, 44 e 103.

POWELL, R. *Metamorphic Mineral Equilibria Short Course: Course Notes*. University of Melbourne: [s.n.], 1991. Citado na página 23.

POWELL, R.; GUIRAUD, M.; WHITE, R. W. Truth and beauty in metamorphic mineral equilibria: conjugate variables and phase diagrams. *Canadian Mineralogist*, v. 43, p. 21–33, 2005. Citado na página 17.

POWELL, R.; HOLLAND, T.; WORLEY, B. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 16, p. 577–588, 1998. ISSN 02634929 (ISSN). Citado 3 vezes nas páginas 17, 23 e 24.

POWELL, R.; HOLLAND, T. J. B. An internally consistent thermodynamic data set with uncertainties and correlations: 1. Methods and a worked example. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 3, p. 327–342, 1985. Citado na página 25.

POWELL, R.; HOLLAND, T. J. B. An internally consistent dataset with uncertainties and correlations: 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of metamorphic Geology*, v. 6, n. 2, p. 173–204, 1988. Citado 4 vezes nas páginas 16, 20, 24 e 25.

POWELL, R.; HOLLAND, T. J. B. Optimal geothermometry an geobarometry. *American Mineralogist*, v. 79, p. 120–133, 1994. Citado 3 vezes nas páginas 16, 26 e 83.

POWELL, R.; HOLLAND, T. J. B. On thermobarometry. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 26, n. 2, p. 155–179, 2008. ISSN 02634929. Citado na página 23.

POWELL, R. et al. On parameterizing thermodynamic descriptions of minerals for petrological calculations. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 32, n. 3, p. 245–260, 2014. ISSN 15251314. Citado na página 25.

QUÉMÉNEUR, J. J. G. et al. Mapa Geológico-Folha Lavras. In: *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 1:100.000. Citado 3 vezes nas páginas 39, 44 e 103.

RENO, B. L. et al. In situ monazite (U-Th)-Pb ages from the Southern Bras??lia Belt, Brazil: Constraints on the high-temperature retrograde evolution of HP granulites. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 30, n. 1, p. 81–112, 2012. ISSN 02634929. Citado 3 vezes nas páginas 41, 43 e 103.

RIBEIRO, A. *Mapeamento Geológico Estrutural da área de Itumirim, MG*. Tese (Master Thesis) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1980. Citado na página 104.

- RIBEIRO, A.; HEILBRON, M. Estratigrafia e Metamorfismo dos Grupos Carrancas e Adrelândia, Sul de Minas Gerais. In: *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1982. p. 177–186. Citado 7 vezes nas páginas 10, 36, 41, 42, 103, 104 e 106.
- RIBEIRO, A. et al. Evolução Policíclica Proterozóica no Sul do Cráton de São Francisco: Análise da Região de São João del Rei e Andrelândia, MG. In: *Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1990. p. 2605–2614. Citado na página 40.
- RIBEIRO, A.; SILVA, R. R. Possíveis correlações entre bacias proterozóicas a sul de sudeste do cráton do São Francisco, Minas Gerais. In: SBG (Ed.). *Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1996. v. 6, p. 11–13. Citado na página 31.
- RIBEIRO, A. et al. Evolução das Bacias Proterozóicas e o Termo-Tectonismo Brasileiro na Margem Sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 235–248, 1995. Citado 5 vezes nas páginas 32, 37, 40, 42 e 103.
- ROCHA, B. C. D. *Evolução Metamórfica dos Metassedimentos da Nappe Lima Duarte e Rochas Associadas do Complexo Mantiqueira, Sul da Faixa Brasília (MG)*. 297 p. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2011. Citado na página 36.
- SILVA, M. P. *Modelamento Metamórfico de Rocas das Fácies Xisto-Verde e Anfibolito com o Uso de Pseudosseções: Exemplo das Rochas da Klippe Carrancas, Sul de Minas Gerais*. Tese (Dissertação de mestrado) — Universidade de São Paulo, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 16, 41, 42 e 104.
- SIMÕES, L. *Evolução tectono-metamórfica da nappe de Passos, sudoeste de Minas Gerais*. Tese (Doutorado) — IG-Universidade de São Paulo, 1995. Citado na página 16.
- SPEAR, F. S. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. [S.l.]: Mineralogical Society of America Washington, 1995. Citado na página 57.
- THOMAS, J. B. et al. TitaniQ under pressure: The effect of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 160, n. 5, p. 743–759, 2010. ISSN 00107999. Citado 6 vezes nas páginas 16, 17, 26, 28, 83 e 84.
- THOMAS, J. B. et al. TitaniQ recrystallized: experimental confirmation of the original Ti-in-quartz calibrations. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 169, n. 3, 2015. ISSN 0010-7999. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00410-015-1120-0>>. Citado na página 26.
- THOMPSON, J. B. The Graphical Analysis of Mineral Assemblages in Pelitic Scists. *The American Mineralogist*, v. 42, p. 842–858, 1957. Citado 3 vezes nas páginas 24, 87 e 88.
- TOMKINS, H. S.; POWELL, R.; ELLIS, D. J. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 25, n. 6, p. 703–713, 2007. ISSN 02634929. Citado 15 vezes nas páginas 8, 16, 17, 26, 27, 76, 79, 80, 82, 84, 133, 134, 135, 136 e 137.
- TRIEBOLD, S. et al. Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: An example from the Erzgebirge, Germany. *Chemical Geology*, v. 244, n. 3–4, p. 421–436, 2007. ISSN 00092541. Citado 4 vezes nas páginas 27, 100, 101 e 102.
- TRIEBOLD, S.; EYNATTEN, H. von; ZACK, T. A recipe for the use of rutile in sedimentary provenance analysis. *Sedimentary Geology*, Elsevier B.V., v. 282, p. 268–275, 2012. ISSN 00370738. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.09.008>>. Citado 9 vezes nas páginas 9, 27, 77, 78, 79, 80, 82, 103 e 133.

TROUW, R.; CASTRO, E. Significado tectônico de granulitos brasileiros de alta pressão no sul de minas gerais. *SBG, Cong. Bras. Geol.*, v. 39, n. 6, p. 145–148, 1996. Citado na página 16.

TROUW, R. A. et al. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: CORDANI, U. G. et al. (Ed.). *Tectonic Evolution of South America*. 1. ed. [S.l.]: COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2000. p. 287–310. Citado 12 vezes nas páginas 16, 29, 30, 31, 32, 35, 40, 41, 42, 43, 103 e 104.

TROUW, R. A.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. Evolução Estrutural e Metamórfica de uma área a SE de Lavras - Minas Gerais. In: *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, Santa Catarina*. Balneário de Camboriú: [s.n.], 1980. Citado 8 vezes nas páginas 16, 36, 37, 40, 41, 42, 103 e 104.

TROUW, R. A. J. Evolução Tectônica ao Sul do Cráton de São Francisco, Baseada na Análise Metamórfica. In: *Boletim de Resumos Expandidos do XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.: s.n.], 1992. p. 327. Citado na página 35.

TROUW, R. A. J. et al. Análise de Deformação numa Área a SE de Lavras Minas Gerais. In: *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador, Bahia: [s.n.], 1982. p. 187–198. Citado 3 vezes nas páginas 40, 103 e 104.

TROUW, R. a. J.; PACIULLO, F. V. P.; HEILBRON, M. Os Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia Interpretados como a Continuação dos Grupos Araxá e Canastra. In: *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 1984. p. 177–178. Citado 4 vezes nas páginas 40, 41, 103 e 104.

TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A. A Faixa Alto Rio Grande Reinterpretada como Zona de Interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. In: *XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*. [S.l.]: SBG, 1994. p. 234–235. Citado 4 vezes nas páginas 30, 40, 42 e 105.

TROUW, R. A. J. et al. Mapa Geológico-Folha Caxambu. In: CODEMIG (Ed.). *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 1:100.000. Citado 3 vezes nas páginas 39, 44 e 103.

TROUW, R. a. J. et al. A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 48, p. 43–57, 2013. ISSN 08959811. Citado 9 vezes nas páginas 29, 32, 33, 40, 41, 103, 105, 106 e 107.

TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. Geologia Estrutural do Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, v. 55, n. 1, p. 71–87, 1983. Citado 5 vezes nas páginas 36, 40, 42, 103 e 104.

TROUW, R. A. J. et al. A passagem do mesoproterozóico para neoproterozóico na região sul de minas gerais. In: SBG/MG (Ed.). *IX Simpósio de Geologia de Minas Gerais*. [S.l.: s.n.], 1997. v. 14, p. 10–11. Citado na página 31.

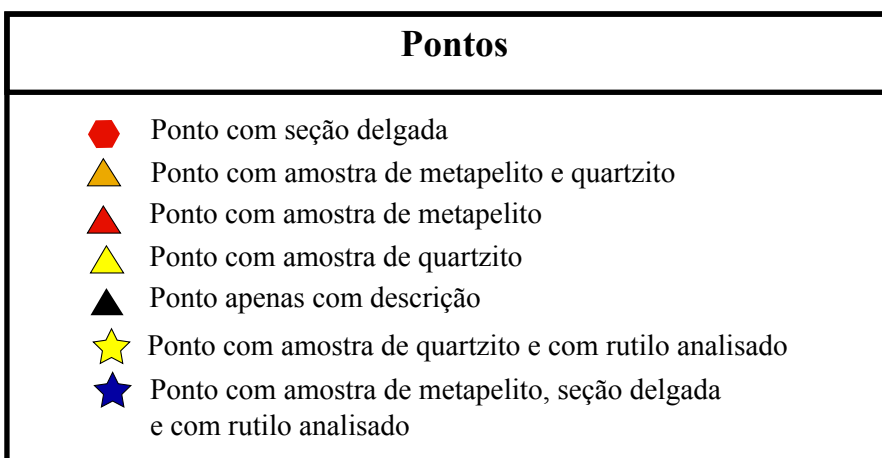
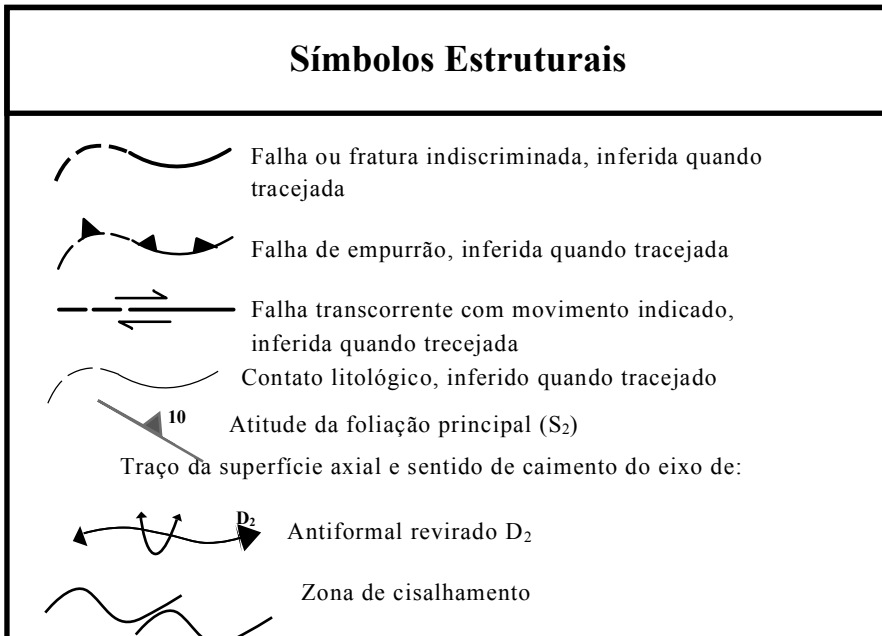
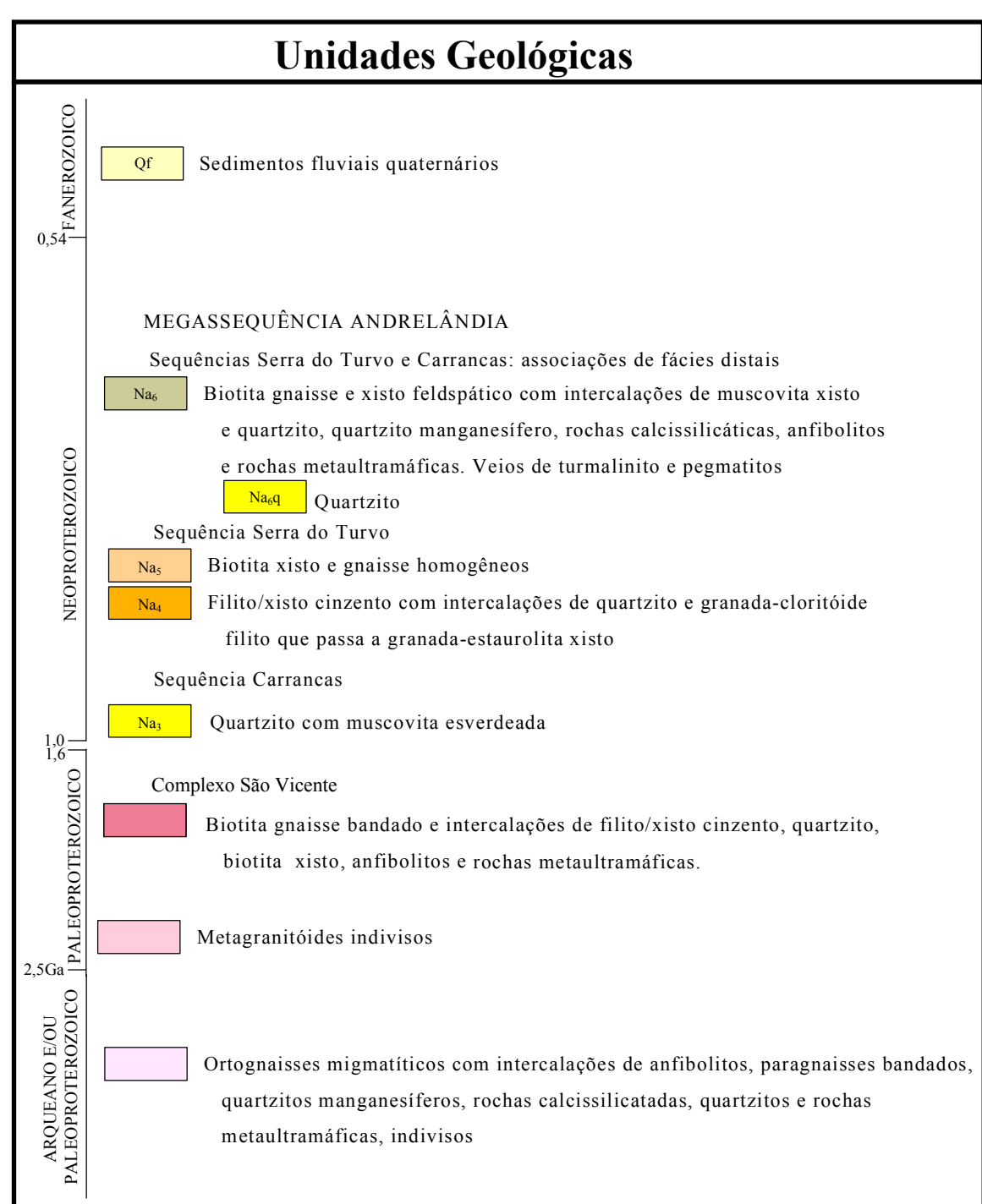
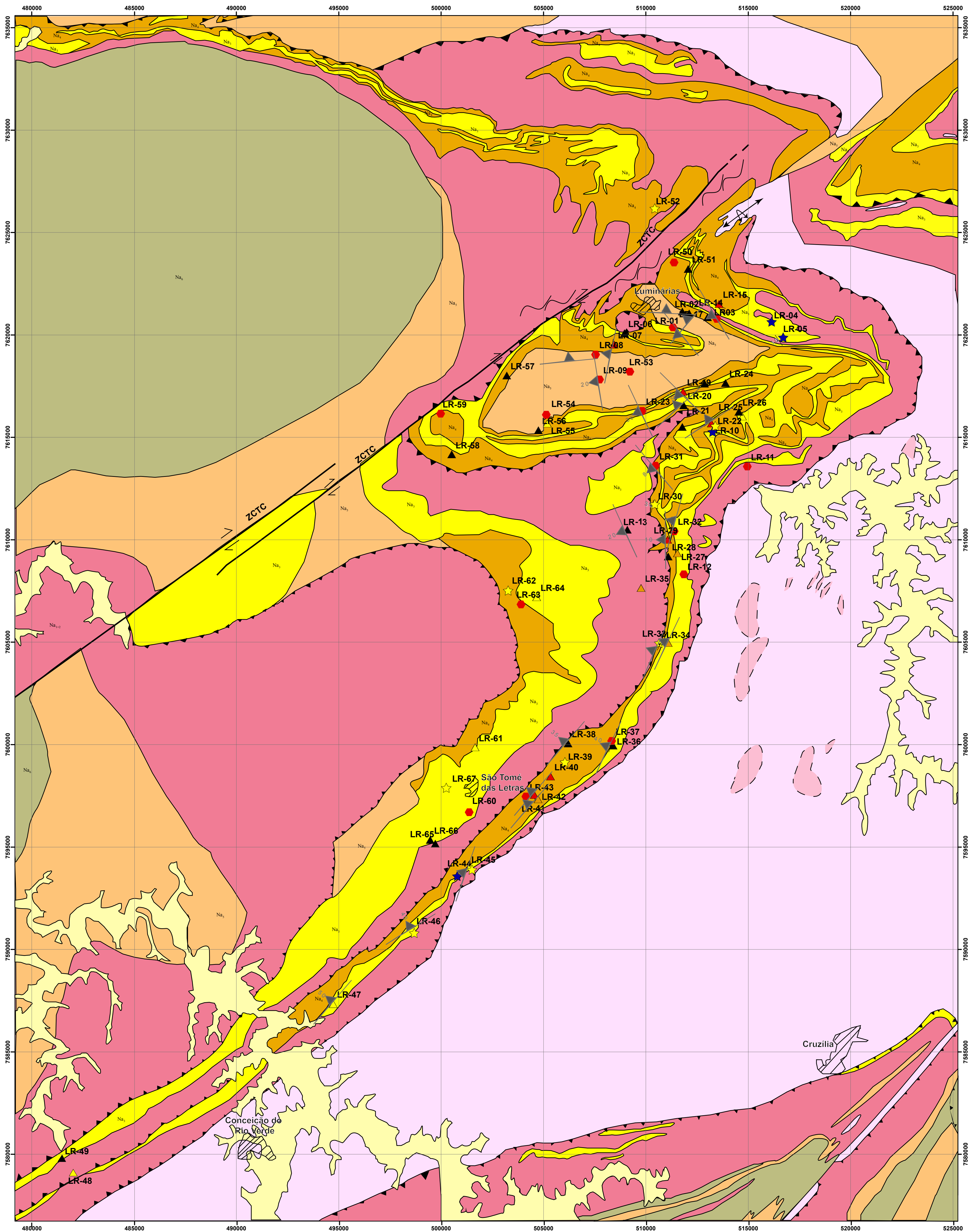
VALERIANO, C. et al. U-Pb Geochronology of Southern Brasília Belt (SE Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of Western Gondwana. *Precambrian Research*, v. 130, p. 7–11, 2004. Citado na página 32.

VALERIANO, C. M. *Geologia Estrutural e Estratigrafia do Grupo São João del Rei, MG*. Tese (Master Thesis) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1985. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 104.

- VALERIANO, C. M. et al. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. In: PANKHURST, R. J. et al. (Ed.). *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological. London: [s.n.], 2008. p. 197–210. Citado na página 32.
- WARK, D. A.; WATSON, E. B. Titaniq: a titanium-in- quartz geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 152, p. 743–754, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 16, 26, 27 e 28.
- WATSON, E. B.; WARK, D. a.; THOMAS, J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 151, n. 4, p. 413–433, 2006. ISSN 00107999. Citado na página 17.
- WESTIN, A.; CAMPOS NETO, M. D. C. Provenance and tectonic setting of the external nappe of the Southern Brasíliia Orogen. *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier Ltd, v. 48, p. 220–239, 2013. ISSN 08959811. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.08.006>>. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 44.
- WESTIN, A. et al. A paleoproterozoic intra-arc basin associated with a juvenile source in the southern brasilia orogen: Application of u–pb and hf–nd isotopic analyses to provenance studies of complex areas. *Precambrian Research*, v. 276, p. 178–193, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 44.
- WHITE, R. W. et al. New mineral activity-composition relations for thermodynamic calculations in metapelitic systems. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 32, n. 3, p. 261–286, 2014. ISSN 15251314. Citado 3 vezes nas páginas 20, 25 e 100.
- WILL, T. M. *Phase equilibria in metamorphic rocks: Thermodynamic background and petrological applications*. [S.l.]: Springer, 1998. 315 p. Citado 3 vezes nas páginas 22, 24 e 26.
- WOOD, J.; FRASER, G. *Elementary Thermodynamics for Geologists*. Oxford uni. [S.l.: s.n.], 1977. 303 p. Citado na página 22.
- ZACK, T.; EYNATTEN, H. von; KRONZ, A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies. *Sedimentary Geology*, v. 171, n. 1-4, p. 37–58, 2004. Citado na página 27.
- ZACK, T. et al. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists. *Chemical Geology*, v. 184, n. 1-2, p. 97–122, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 100.
- ZACK, T.; MORAES, R.; KRONZ, a. Temperature dependence of Zr in rutile: Empirical calibration of a rutile thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 148, n. 4, p. 471–488, 2004. ISSN 00107999. Citado 4 vezes nas páginas 16, 17, 26 e 27.
- ZACK, T. et al. In-situ U/Pb rutile dating by LA-ICP-MS: 208Pb correction and prospects for thermochronological applications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 162, p. 515–530, 2011. Citado na página 27.
- ZANARDO, A. *Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brazil, 1992. Citado na página 16.

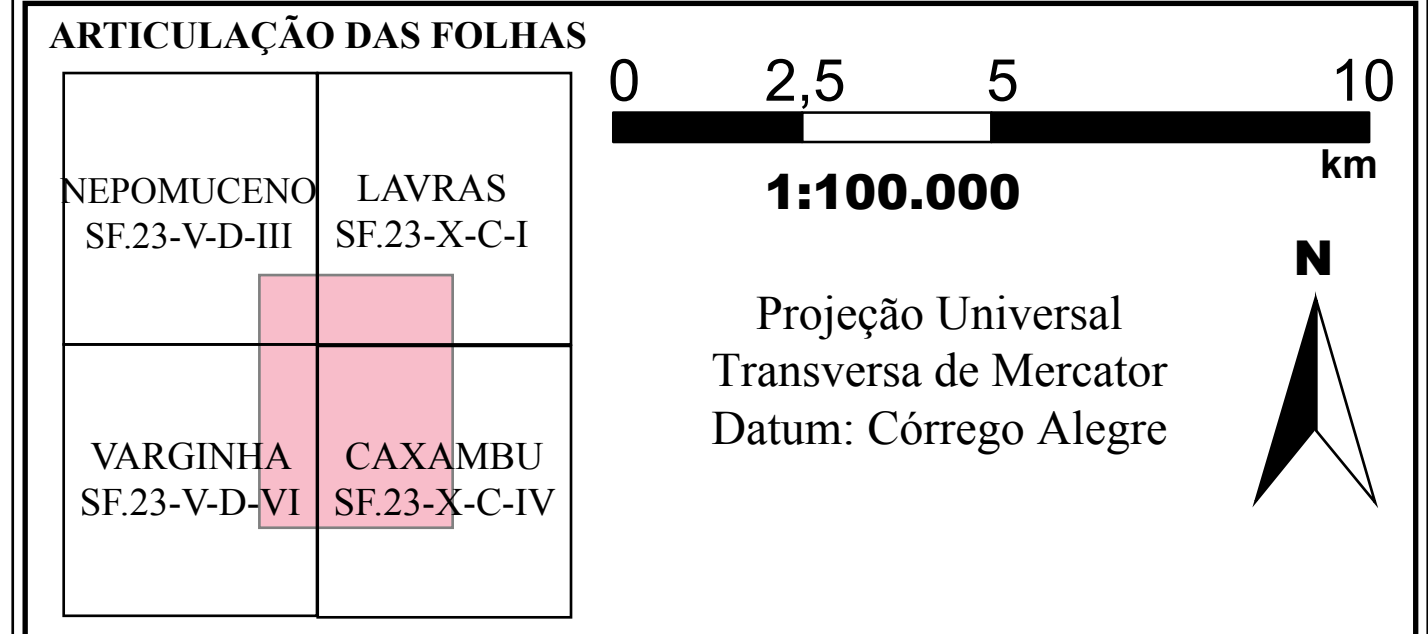
# Apêndices

## APÊNDICE A – Mapa Geológico



## Mapa Geológico e de Pontos Apêndice A

unesp Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente



**Base Geológica:**

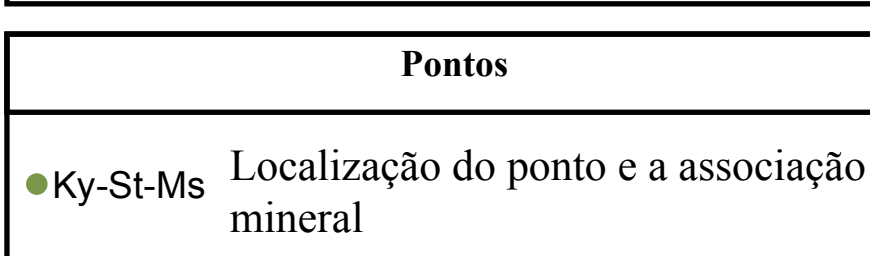
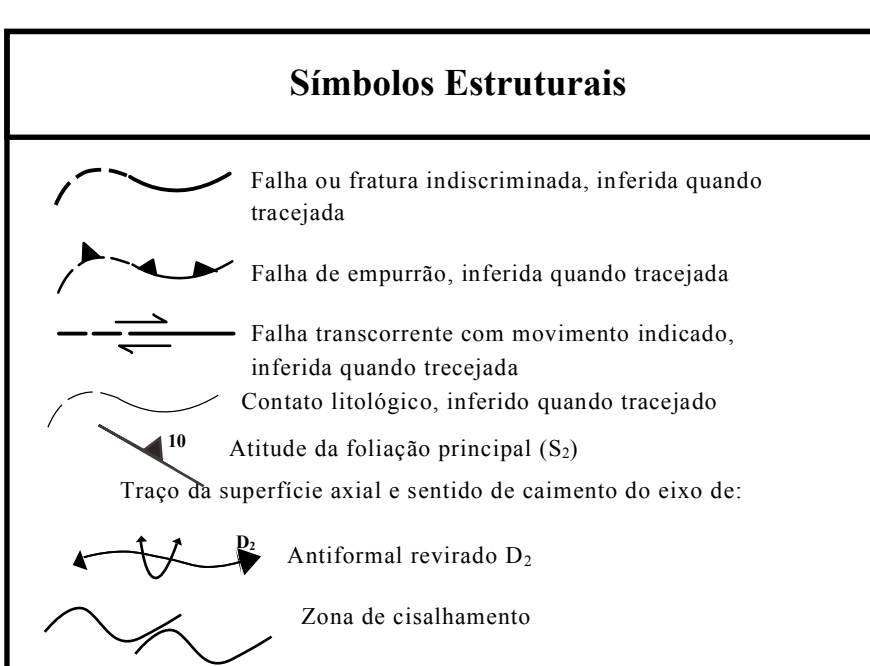
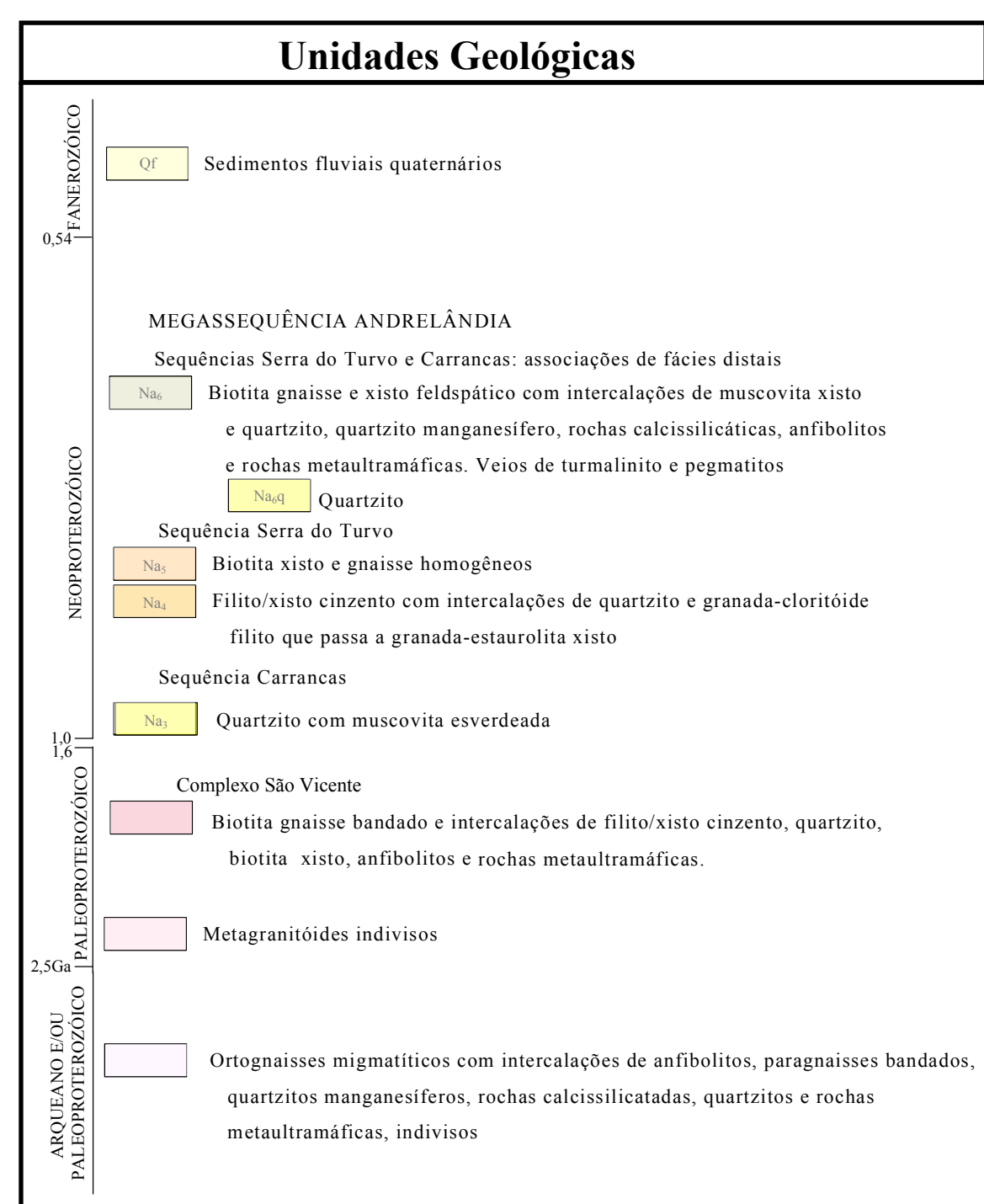
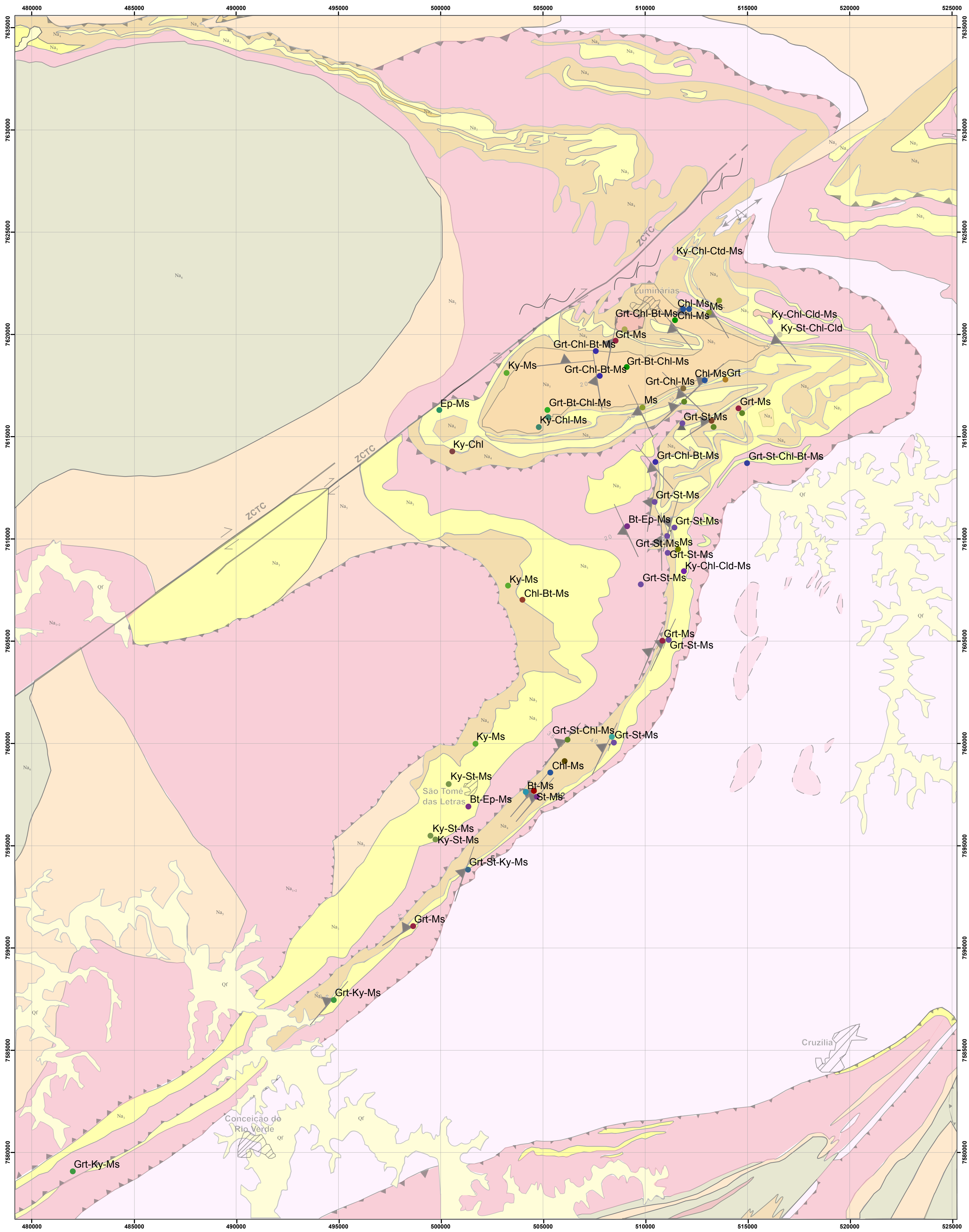
- Folha Caxambu: Trouw et al., 2003
- Folha Lavras: Queménêur et al., 2003
- Folha Nepomuceno: Peternel e Castro, 2008
- Folha Varginha: Paciullo e Ribeiro, 2008

**Dissertação de Mestrado:** Modelagem Metamórfica e Geotermobarometria de Elementos Traço em Metapelitos e Quartzitos: Exemplo da *Nappe* de Luminárias- MG  
**Aluna:** Regiane Andrade Fumes  
**Orientador:** Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro, SP, Janeiro de 2017

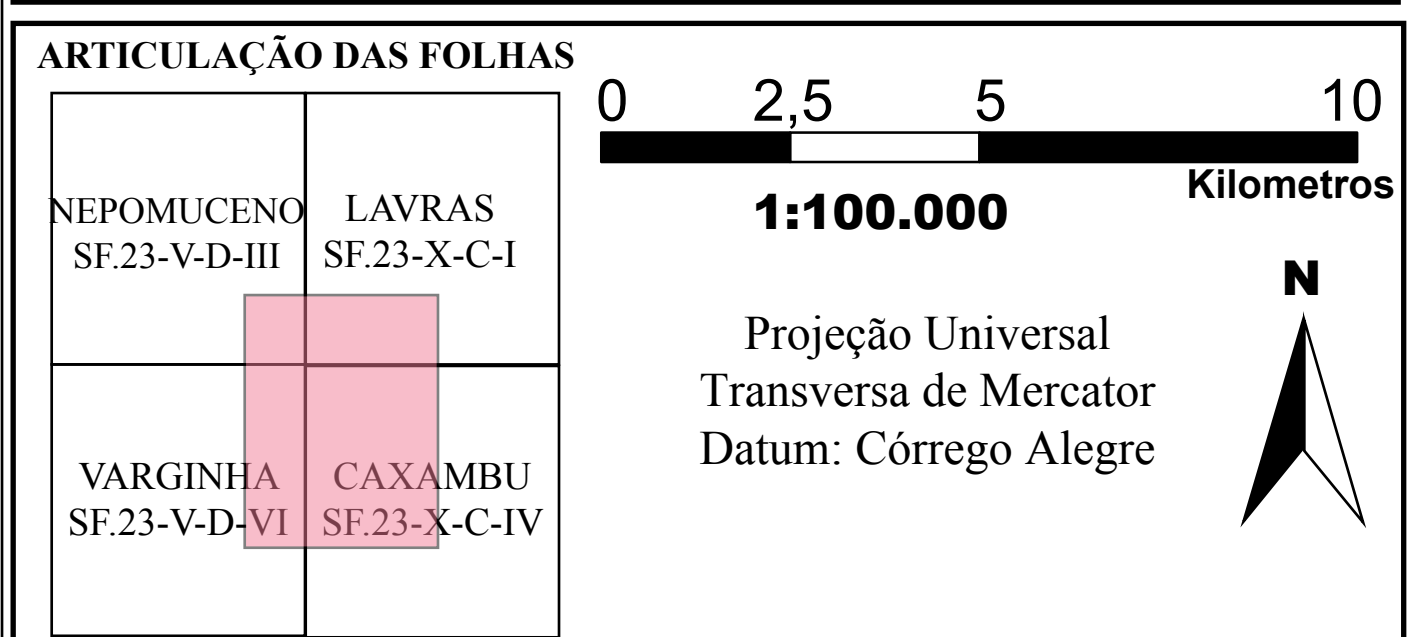


# APÊNDICE B – Mapa de Associação Mineral



## Mapa de Associação Mineral Apêndice B

unesp Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro



**Base Geológica:**

- Folha Caxambu: Trouw et al., 2003
- Folha Lavras: Queménêur et al., 2003
- Folha Nepomuceno: Peternel e Castro, 2008
- Folha Varginha: Paciullo e Ribeiro, 2008

**Dissertação de Mestrado:** Modelagem Metamórfica e Geotermobarometria de Elementos Traço em Metapelitos e Quartzitos: Exemplo da *Nappe* de Luminárias- MG

**Aluna:** Regiane Andrade Fumes

**Orientador:** Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro, SP, Janeiro de 2017

# APÊNDICE C – Análises de Química Mineral

Tabela 5: Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10C

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR_10C-Grt2_Rim1_1	36,62	20,686	2,843	1,802	-0,001	-0,011	37,029	0,489	99,457
LR_10C-Grt2_Rim1_2	36,56	20,313	2,8	1,701	0,018	0,003	37,205	0,467	99,067
LR_10C-Grt2_Rim1_3	36,443	20,307	2,692	2,034	0,037	0,011	36,731	0,481	98,736
LR_10C-Grt2_Core_1	36,754	20,66	1,786	4,642	0,077	0,001	33,682	2,033	99,635
LR_10C-Grt2_Core_2	36,697	20,523	1,674	4,831	0,172	-0,006	33,425	2,236	99,552
LR_10C-Grt2_Core_3	36,426	20,371	1,674	4,786	0,098	0,02	33,082	2,189	98,646
LR_10C-Grt2_Core_4	36,592	20,514	1,825	5,25	0,078	0,017	33,172	1,696	99,144
LR_10C-Grt2_Core_5	36,614	20,354	1,994	4,573	0,056	-0,001	33,498	1,836	98,924
LR_10C-Grt2_Core_6	36,24	20,464	2,215	4,173	0,035	-0,001	34,139	1,32	98,585
LR_10C-Grt_small_1	36,757	20,308	2,558	1,661	0,052	0,017	37,15	0,453	98,956
LR_10C-Grt_small_2	36,572	20,49	2,442	1,855	0,02	0,025	37,407	0,463	99,274
LR_10C-Grt_small_3	36,818	20,469	2,631	1,726	0,031	-0,006	37,134	0,402	99,205
LR_10C-Grt_small_4	36,503	20,469	2,599	1,678	0,011	0,019	36,654	0,406	98,339
LR_10C-Grt_small_5	36,492	20,406	2,612	2,026	0,014	0,018	36,79	0,431	98,789
LR_10C-Grt_small_6	36,871	20,384	2,657	1,863	0,002	-0,013	36,735	0,427	98,926
LR_10C-Grt3_line1 Line 001	36,341	20,541	2,755	1,879	0,017	0,025	36,895	0,354	98,807
LR_10C-Grt1_Rim1_1	36,479	21,113	2,843	1,666	0,032	0,006	37,067	0,405	99,611
LR_10C-Grt1_Rim1_2	36,556	21,062	2,767	2,082	0,035	0,011	36,443	0,365	99,321
LR_10C-Grt1_Rim1_3	36,476	21,291	2,777	1,931	0,031	0,002	36,983	0,332	99,823
LR_10C-Grt1_Core_1	36,31	21,209	1,718	4,114	0,068	0,02	34,647	1,716	99,802
LR_10C-Grt1_Core_2	36,598	21,284	1,754	4,226	0,035	0,021	34,332	1,607	99,857
LR_10C-Grt1_Core_3	36,463	21,313	1,636	4,514	0,09	0,011	33,57	2,008	99,605
LR_10C-Grt1_Rim2_1	36,523	21,319	2,753	1,94	0,025	0,007	36,929	0,419	99,915
LR_10C-Grt1_Rim2_2	36,699	21,477	2,812	1,923	0,034	-0,014	36,876	0,384	100,191
LR_10C-Grt1_Rim2_3	36,847	21,467	2,812	1,781	0,026	0,02	36,827	0,32	100,1
LR10c_Grt1 Line 001	36,865	20,847	2,955	2,118	0,005	0	36,827	0,32	99,937
LR10c_Grt1 Line 002	37,14	20,793	2,999	2,77	0,015	0	36,474	0,342	100,533
LR10c_Grt1 Line 003	36,963	20,974	3,067	2,453	0,012	0,003	36,683	0,378	100,533
LR10c_Grt1 Line 004	36,918	20,794	2,878	2,206	0,023	0	36,92	0,379	100,118
LR10c_Grt1 Line 005	36,837	20,894	2,859	2,526	0,014	0,003	36,945	0,395	100,473
LR10c_Grt1 Line 006	34,14	19,273	2,64	1,933	3,806	0	37,554	0,616	99,962
LR10c_Grt1 Line 007	36,714	20,808	2,258	4,16	0,043	0,021	35,434	1,04	100,478
LR10c_Grt1 Line 008	36,929	20,568	1,881	5,015	0,119	0	34,628	1,634	100,774
LR10c_Grt1 Line 009	36,797	20,435	1,744	5,593	0,056	0	33,691	1,835	100,151
LR10c_Grt1 Line 010	36,796	20,578	1,596	5,545	0,072	0,008	33,749	2,316	100,66
LR10c_Grt1 Line 011	36,493	20,446	1,553	5,312	0,065	0,017	33,61	2,545	100,041
LR10c_Grt1 Line 012	36,785	20,532	1,531	5,317	0,04	0,042	33,421	2,788	100,456
LR10c_Grt1 Line 013	36,66	20,648	1,455	4,837	0,035	0,034	33,362	3,084	100,115
LR10c_Grt1 Line 014	36,558	20,478	1,441	4,7	0,05	0,016	33,34	3,155	99,738
LR10c_Grt1 Line 015	36,671	20,571	1,385	4,249	0,038	0,008	33,746	3,163	99,831
LR10c_Grt1 Line 016	36,508	20,486	1,506	4,09	0,014	0	33,784	3,187	99,575
LR10c_Grt1 Line 017	36,652	20,59	1,506	4,671	0,076	0,017	33,672	3,036	100,22
LR10c_Grt1 Line 018	15,051	8,53	0,687	2,096	29,908	0,007	39,786	1,394	97,459
LR10c_Grt1 Line 019	36,768	20,561	1,51	5,424	0,124	0,021	33,758	2,466	100,632
LR10c_Grt1 Line 020	36,681	20,511	1,619	5,649	0,133	0,03	33,752	2,17	100,545
LR10c_Grt1 Line 021	36,682	20,385	1,756	5,633	0,124	0,024	33,647	1,869	100,12
LR10c_Grt1 Line 022	36,844	20,744	1,868	5,266	0,056	0,016	34,334	1,528	100,656
LR10c_Grt1 Line 023	1,223	1,18	1,347	0,357	48,504	0,011	45,609	0,194	98,425
LR10c_Grt1 Line 024	36,695	20,527	2,494	2,796	0,052	0,031	36,197	0,938	99,73
LR10c_Grt1 Line 025	36,905	20,684	2,703	2,717	0,037	0,015	36,25	0,667	99,978
LR10c_Grt1 Line 026	36,911	20,553	2,783	2,215	0,038	0,013	37,361	0,534	100,408
LR10c_Grt1 Line 027	37,419	20,619	2,93	2,045	0,045	0,012	36,659	0,446	100,175
LR10c_Grt1 Line 028	36,995	20,686	2,967	2,268	0,026	0,026	36,844	0,287	100,099
LR10c_Grt1 Line 029	36,949	20,6	2,986	2,326	0,023	0,01	36,682	0,321	99,897
LR10c_Grt1 Line 030	36,512	20,765	2,881	2,036	0,037	0,016	37,107	0,289	99,643
LR10c_Grt2 Line 001	37,18	20,745	2,903	2,301	0,012	0,004	37,152	0,318	100,615
LR10c_Grt2 Line 002	37,112	20,706	2,971	2,311	0,066	0,013	37,001	0,397	100,577
LR10c_Grt2 Line 003	37,046	20,526	2,382	4,019	0,042	0,001	35,287	1,016	100,319
LR10c_Grt2 Line 004	36,969	20,346	1,888	3,819	0,029	0	35,336	1,563	99,95
LR10c_Grt2 Line 005	36,852	20,558	1,504	5,283	0,061	0	33,524	2,436	100,218
LR10c_Grt2 Line 006	32,514	17,893	1,254	12,643	0,032	0	29,334	2,439	96,109
LR10c_Grt2 Line 007	36,639	20,279	1,468	4,895	0,051	0,008	33,16	2,994	99,494
LR10c_Grt2 Line 008	36,797	20,477	1,49	4,767	0,04	0,003	33,629	3,04	100,243
LR10c_Grt2 Line 009	36,796	20,456	1,581	5,153	0,042	0,001	33,465	2,604	100,098
LR10c_Grt2 Line 010	36,87	20,894	2,452	3,012	0,002	0	36,05	1,176	100,456
LR10c_Grt2 Line 011	21,044	15,39	1,424	8,63	0,014	0,004	26,759	1,326	74,591
LR10c_Grt2 Line 012	36,952	20,456	1,713	5,495	0,055	0,001	33,573	2,208	100,453
LR10c_Grt2 Line 013	36,726	20,253	1,742	5,474	0,064	0,013	33,508	2,306	100,086
LR10c_Grt2 Line 014	1,265	0,76	0,085	62,201	0,012	0	1,696	0,127	66,146
LR10c_Grt2 Line 015	0,722	0,475	0,062	62,658	0	0	1,469	0,082	65,468
LR10c_Grt2 Line 016	36,576	20,227	2,566	2,486	0,008	0	36,801	0,853	99,517
LR10c_Grt2 Line 017	99,876	0,025	0	0,019	0	0	0,185	0,013	100,118
LR10c_Grt2 Line 018	36,721	20,545	2,558	2,852	0,044	0	36,054	0,892	99,666
LR10c_Grt2 Line 019	36,794	20,383	1,801	5,131	0,048	0,001	34,377	1,898	100,433
LR10c_Grt2 Line 020	36,482	20,292	1,571	5,115	0,051	0,012	33,545	2,517	99,585

Tabela 6: Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10C

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR10c_Grt2 Line 021	36,562	20,434	1,619	5,129	0,06	0,013	32,969	2,79	99,576
LR10c_Grt2 Line 022	36,688	20,461	1,763	4,947	0,05	0,01	33,245	2,522	99,686
LR10c_Grt2 Line 023	36,617	20,583	2,009	4,591	0,022	0,01	34,143	1,97	99,945
LR10c_Grt2 Line 024	35,962	19,986	2,005	4,016	0	0,015	34,668	2,165	98,817
LR10c_Grt2 Line 025	35,183	20,122	1,801	3,476	0,011	0,014	34,093	2,406	97,106
LR10c_Grt2 Line 026	36,824	20,503	1,804	5,18	0,047	0	33,225	2,547	100,13
LR10c_Grt2 Line 027	36,643	20,423	1,966	5,578	0,069	0,002	33,757	1,618	100,056
LR10c_Grt2 Line 028	36,61	20,376	2,415	2,074	0,034	0,001	37,383	0,71	99,603
LR10c_Grt2 Line 029	14,79	9,934	0,927	30,118	0,189	0	20,544	0,439	76,941
LR10c_Grt2 Line 030	36,798	20,443	1,914	5,074	0,062	0,006	34,232	1,594	100,123
LR10c_Grt2 Line 031	36,611	20,49	1,864	5,102	0,083	0,007	34,024	1,618	99,799
LR10c_Grt2 Line 032	36,8	20,874	2,245	4,389	0,026	0,003	35,03	1,122	100,489
LR10c_Grt2 Line 033	84,691	2,734	0,249	0,332	0,011	0	6,283	0,123	94,423
LR10c_Grt2 Line 034	28,747	16,786	2,077	2,632	12,125	0,054	38,069	0,553	101,043
LR10c_Grt2 Line 035	36,788	20,52	2,072	4,869	0,059	0,018	34,447	1,549	100,322
LR10c_Grt2 Line 036	36,68	20,456	1,726	5,457	0,094	0,007	33,998	1,78	100,198
LR10c_Grt2 Line 037	36,771	20,361	1,792	4,74	0,031	0,003	34,674	1,917	100,289
LR10c_Grt2 Line 038	36,474	20,579	1,928	4,893	0,086	0,005	34,475	1,39	99,83
LR10c_Grt2 Line 039	36,687	20,574	2,388	2,411	0,054	0,023	37,175	0,703	100,015
LR10c_Grt2 Line 040	36,805	20,789	2,947	2,054	0,015	0	37,3	0,406	100,316
LR10c_Grt3 Line 001	36,571	20,601	2,958	1,907	0	0,012	37,369	0,379	99,797
LR10c_Grt3 Line 002	36,933	20,743	2,985	2,405	0,012	0	36,727	0,323	100,128
LR10c_Grt3 Line 003	36,827	20,652	3,032	2,077	0,029	0,005	37,136	0,395	100,153
LR10c_Grt3 Line 004	36,831	20,832	2,822	2,149	0	0,002	37,243	0,446	100,325
LR10c_Grt3 Line 005	36,827	20,672	2,635	2,425	0,034	0	37,071	0,65	100,314
LR10c_Grt3 Line 006	36,962	20,533	2,57	2,356	0,024	0,005	36,844	1,02	100,314
LR10c_Grt3 Line 007	36,961	20,579	2,133	4,229	0,03	0,008	35,284	1,274	100,498
LR10c_Grt3 Line 008	36,725	20,361	1,834	5,268	0,082	0,015	34,513	1,724	100,522
LR10c_Grt3 Line 009	22,548	20,236	10,446	0,121	0,065	0,031	29,769	0,081	83,297
LR10c_Grt3 Line 010	37,191	20,748	1,506	5,946	0,086	0	33,801	2,052	101,33
LR10c_Grt3 Line 011	36,898	20,512	1,516	5,932	0,073	0,003	33,563	2,219	100,716
LR10c_Grt3 Line 012	37,115	20,61	1,561	5,906	0,058	0,005	33,887	2,257	101,399
LR10c_Grt3 Line 013	36,938	20,45	1,535	5,773	0,069	0,013	33,703	2,228	100,709
LR10c_Grt3 Line 014	36,814	20,34	1,537	6,297	0,088	0,021	33,42	2,277	100,794
LR10c_Grt3 Line 015	36,716	20,495	1,614	6,155	0,105	0,005	33,5	2,195	100,785
LR10c_Grt3 Line 016	36,661	20,376	1,629	5,644	0,052	0,011	33,858	2,129	100,36
LR10c_Grt3 Line 017	37,168	20,375	1,603	5,953	0,092	0,014	33,829	1,971	101,005
LR10c_Grt3 Line 018	36,454	20,524	1,748	5,152	0,004	0,022	34,339	1,913	100,156
LR10c_Grt3 Line 019	36,813	20,486	1,817	5,365	0,067	0,019	34,343	1,658	100,568
LR10c_Grt3 Line 020	36,706	20,284	2,012	4,756	0,055	0,006	34,774	1,371	99,964
LR10c_Grt3 Line 021	36,81	20,593	2,32	4,22	0,105	0,014	35,602	1,134	100,798
LR10c_Grt3 Line 022	37,008	20,582	2,745	2,146	0	0,011	37,112	0,741	100,345
LR10c_Grt3 Line 023	36,885	20,569	2,834	2,193	0	0	36,756	0,503	99,74
LR10c_Grt3 Line 024	37,109	20,68	2,948	2,079	0,017	0,004	36,988	0,381	100,206
LR10c_Grt3 Line 025	37,047	20,497	2,766	2,511	0,014	0,008	36,982	0,334	100,159
LR10c_Grt4 Line 001	36,817	20,56	2,763	2,068	0,015	0,009	37,116	0,362	99,71
LR10c_Grt4 Line 002	26,876	18,455	2,868	1,999	0,002	0,02	35,271	0,293	85,784
LR10c_Grt4 Line 003	36,863	20,725	3,078	2,183	0,003	0,005	37,04	0,315	100,212
LR10c_Grt4 Line 004	36,818	20,575	2,988	2,169	0,022	0,005	37,034	0,346	99,957
LR10c_Grt4 Line 005	36,899	20,652	2,843	2,31	0,031	0,023	37,208	0,395	100,361
LR10c_Grt4 Line 006	36,855	20,39	2,853	2,263	0,036	0,009	36,87	0,498	99,774
LR10c_Grt4 Line 007	36,873	20,444	2,821	2,234	0,107	0,024	36,808	0,496	99,807
LR10c_Grt4 Line 008	36,96	20,575	2,628	2,331	0,126	0,03	37,079	0,649	100,378
LR10c_Grt4 Line 009	35,96	20,07	1,805	3,157	0,857	0,016	37,311	0,707	99,883
LR10c_Grt4 Line 010	31,839	17,598	1,848	10,231	0,008	0,005	32,063	0,696	94,288
LR10c_Grt4 Line 011	15,953	11,056	7,835	29,552	0	0,012	11,76	0,121	76,289
LR10c_Grt4 Line 012	37,061	20,577	2,489	4,578	0,049	0,014	34,83	0,836	100,434
LR10c_Grt4 Line 013	36,974	20,622	2,455	3,881	0,123	0,007	35,362	0,865	100,289
LR10c_Grt4 Line 014	36,851	20,592	2,679	2,413	0,038	0,003	36,83	0,821	100,227
LR10c_Grt4 Line 015	37,044	20,797	2,684	2,416	0,012	0,028	36,339	0,685	100,005
LR10c_Grt4 Line 016	36,331	20,192	2,679	2,335	0,017	0,02	36,739	0,695	99,008
LR10c_Grt4 Line 017	36,97	20,543	2,772	2,483	0,015	0,042	36,587	0,581	99,993
LR10c_Grt4 Line 018	36,906	20,641	2,748	2,376	0,116	0,013	36,867	0,519	100,186
LR10c_Grt4 Line 019	36,412	20,666	2,881	2,431	0,035	0,02	36,704	0,442	99,591
LR10c_Grt4 Line 020	36,696	20,531	2,854	2,391	0,002	0,021	36,926	0,434	99,855
LR10c_Grt4 Line 021	36,943	20,396	2,31	2,171	0,006	0,023	37,755	0,479	100,083
LR10c_Grt4 Line 022	36,711	20,646	2,861	2,275	0,011	0,008	37,384	0,375	100,271
LR10c_Grt4 Line 023	36,839	20,705	3,032	2,274	0,014	0,026	36,939	0,308	100,137
LR10c_Grt4 Line 024	36,656	20,73	2,94	2,22	0,01	0,001	37,205	0,318	100,08
LR10c_Grt4 Line 025	36,719	20,683	2,881	2,073	0,025	0,023	37,259	0,331	99,994

Tabela 7: Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada da amostra LR-10E

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR-10E_Grt1_1	20,546	2,76	36,677	1,803	0,024	0,008	37,465	0,288	99,571
LR-10E_Grt1_2	20,886	2,898	36,853	1,747	0,017	0,018	37,236	0,328	99,983
LR-10E_Grt1_3	20,598	2,901	36,732	1,774	-0,007	0	37,028	0,378	99,404
LR-10E_Grt1_4	20,703	2,852	37,271	2,065	0,063	0,005	36,952	0,384	100,295
LR-10E_Grt1_5	20,784	2,784	37,194	2,035	0,024	0,012	36,816	0,425	100,074
LR-10E_Grt1_6	20,784	2,676	36,951	2,016	0,041	0,003	36,734	0,509	99,714
LR-10E_Grt1_7	19,335	2,408	33,991	1,86	4,396	-0,004	37,755	0,599	100,34
LR-10E_Grt1_8	20,48	2,374	36,948	2,132	0,053	0,02	37,22	0,846	100,073
LR-10E_Grt1_9	20,672	2,123	37,286	3,073	0,055	0,009	35,815	1,075	100,108
LR-10E_Grt1_10	20,911	1,901	37,358	3,95	0,054	0,011	34,978	1,351	100,514
LR-10E_Grt1_11	20,693	1,728	37,207	3,897	0,074	0,015	35,024	1,769	100,407
LR-10E_Grt1_12	20,116	1,481	35,609	4,16	0,044	0,024	33,931	2,105	97,47
LR-10E_Grt1_13	20,509	1,515	36,727	4,104	0,071	0,003	33,98	2,224	99,133
LR-10E_Grt1_14	20,718	1,467	36,832	4,182	0,046	0,009	33,747	2,489	99,49
LR-10E_Grt1_15	20,811	1,479	37,206	3,939	0,033	0,012	33,907	2,586	99,973
LR-10E_Grt1_21	20,557	1,835	37,048	3,488	0,05	0,011	35,686	1,475	100,15
LR-10E_Grt1_22	20,751	2,066	36,815	2,576	0,019	0,01	36,971	1,167	100,375
LR-10E_Grt1_23	20,744	2,295	36,871	2,151	0,07	0,016	37,32	0,874	100,341
LR-10E_Grt1_25	20,805	2,685	36,925	2,136	0,052	0,007	37,045	0,54	100,195
LR-10E_Grt1_26	20,749	2,758	37,112	2,129	0,043	0,007	36,816	0,505	100,119
LR-10E_Grt1_27	20,829	2,868	36,884	2,043	0,03	0,006	37,06	0,461	100,181
LR-10E_Grt1_28	20,769	2,854	37,01	1,943	0,016	0,003	36,831	0,407	99,833
LR-10E_Grt1_29	21,045	2,943	37,421	1,881	0,011	0,012	37,26	0,401	100,974
LR-10E_Grt1_30	20,889	2,958	37,506	1,777	0,018	0	37,679	0,306	101,133
LR-10E_Grt2_1	20,9	2,855	37,147	1,956	0,026	0,001	37,21	0,246	100,341
LR-10E_Grt2_2	20,793	2,902	36,816	1,917	0,001	0,011	36,873	0,288	99,601
LR-10E_Grt2_3	20,838	2,868	37,206	1,868	0,023	0,001	37,11	0,375	100,289
LR-10E_Grt2_4	20,932	2,932	37,062	1,757	0,002	0,015	37,255	0,359	100,314
LR-10E_Grt2_5	20,758	2,861	36,89	1,864	0,039	-0,005	37,127	0,411	99,945
LR-10E_Grt2_6	20,832	2,644	37,153	1,929	0,078	0,032	37,065	0,504	100,237
LR-10E_Grt2_7	19,955	2,483	36,084	1,962	0,019	0,015	36,168	0,693	97,379
LR-10E_Grt2_8	20,687	2,333	36,752	2,206	0,023	-0,001	36,956	0,988	99,944
LR-10E_Grt2_9	20,63	1,825	36,863	2,946	0,004	0,009	36,181	1,269	99,727
LR-10E_Grt2_10	20,627	1,875	37,094	3,846	0,021	-0,006	35,296	1,492	100,245
LR-10E_Grt2_11	20,076	1,565	35,912	4,091	0,076	0,013	34,841	1,791	98,365
LR-10E_Grt2_13	20,52	1,395	37,129	4,657	0,06	-0,004	33,739	2,441	99,937
LR-10E_Grt2_14	20,684	1,361	36,67	4,361	0,049	0,012	33,475	2,666	99,278
LR-10E_Grt2_15	20,554	1,404	36,993	4,419	0,059	0,009	33,746	2,697	99,881
LR-10E_Grt2_16	20,136	1,391	36,381	4,219	0,775	0,014	33,77	2,725	99,411
LR-10E_Grt2_18	20,702	1,493	36,672	4,354	0,068	-0,01	33,866	2,411	99,556
LR-10E_Grt2_19	20,74	1,606	36,776	4,599	0,088	0,013	33,996	2,204	100,022
LR-10E_Grt2_20	20,505	1,732	36,859	4,15	0,059	-0,006	34,646	1,772	99,717
LR-10E_Grt2_21	20,727	1,942	36,771	3,775	0,051	0,002	35,154	1,427	99,849
LR-10E_Grt2_22	20,95	2,233	37,219	2,562	0,043	0,001	36,479	1,146	100,633
LR-10E_Grt2_23	20,685	2,487	37,008	1,963	0,055	-0,002	37	0,821	100,017
LR-10E_Grt2_24	20,741	2,495	37,048	2,078	0,02	-0,012	36,979	0,659	100,008
LR-10E_Grt2_25	20,823	2,679	36,863	2,034	0,039	0,005	36,743	0,563	99,749
LR-10E_Grt2_26	20,833	2,848	37,039	2,04	0,037	-0,007	36,976	0,502	100,268
LR-10E_Grt2_27	20,488	2,726	36,159	2,058	0	0,017	36,429	0,448	98,325
LR-10E_Grt2_28	20,622	2,894	36,857	1,621	0,033	0,018	37,211	0,357	99,613
LR-10E_Grt2_29	20,877	2,83	36,769	1,877	0,033	0,032	37,41	0,317	100,145
LR-10E_Grt2_30	20,557	2,668	36,545	1,315	0,004	0,01	38,1	0,298	99,497

Tabela 8: Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada das amostras LR-37D e LR-44A

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR-37D_Grt_prf01	36,369	21,001	2,426	1,414	0,005	0	37,666	0,394	0,005	99,28
LR-37D_Grt_prf02	37,033	21,301	2,87	1,681	0,021	0	36,905	0,361	0,009	100,181
LR-37D_Grt_prf03	36,975	21,156	2,65	2,003	0,02	0,001	36,47	0,465	0,04	99,78
LR-37D_Grt_prf04	36,593	21,361	2,58	1,871	0,021	0	36,396	0,669	0,005	99,496
LR-37D_Grt_prf05	36,725	21,265	2,419	2,19	0,042	0,027	36,419	0,956	0	100,043
LR-37D_Grt_prf06	36,525	21,091	1,937	3,979	0,035	0,012	34,491	1,392	0	99,462
LR-37D_Grt_prf07	36,459	20,933	1,699	4,675	0,052	0	33,199	1,93	0	98,947
LR-37D_Grt_prf08	36,928	21,253	1,584	4,411	0,05	0,021	33,561	2,327	0	100,135
LR-37D_Grt_prf09	36,272	20,781	1,508	4,558	0,094	0,002	33,161	2,377	0	98,753
LR-37D_Grt_prf10	36,848	21,056	1,478	4,392	0,085	0,019	33,199	2,582	0,088	99,747
LR-37D_Grt_prf11	36,431	20,831	1,539	4,529	0,044	0,013	33,196	2,595	0,007	99,185
LR-37D_Grt_prf12	36,568	21,218	1,559	4,059	0,048	0	33,475	2,57	0	99,497
LR-37D_Grt_prf14	36,519	21,138	1,549	4,322	0,068	0,003	33,175	2,389	0	99,163
LR-37D_Grt_prf15	36,933	20,963	1,689	4,508	0,11	0,019	33,258	2,131	0	99,611
LR-37D_Grt_prf17	33,371	20,392	1,815	3,889	0,171	0,016	34,369	1,076	0,007	95,106
LR-37D_Grt_prf18	36,382	21,051	2,24	1,852	0,05	0,022	36,792	0,794	0,05	99,233
LR-37D_Grt_prf19	36,975	21,165	2,721	2,133	0,012	0	36,257	0,35	0,005	99,618
LR-37D_Grt_prf20	37,093	21,419	2,904	1,511	0,008	0,007	37,168	0,339	0	100,449
Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)	
LR44A_Grt1 Line 001	19,971	2,261	36,116	2,108	0,019	0,02	37,802	1,022	99,319	
LR44A_Grt1 Line 002	19,886	1,88	35,679	2,366	0	0,016	37,639	1,232	98,698	
LR44A_Grt1 Line 003	20,254	2,322	36,121	2,659	0,01	0	36,845	0,952	99,163	
LR44A_Grt1 Line 004	20,415	2,675	36,284	2,705	0	0	36,213	1,095	99,387	
LR44A_Grt1 Line 005	20,215	2,515	36,127	4,098	0,002	0,014	35,125	1,479	99,575	
LR44A_Grt1 Line 006	20,446	2,432	36,418	5,559	0,032	0	32,931	2,021	99,839	
LR44A_Grt1 Line 007	20,181	2,38	36,207	5,241	0,016	0,011	32,837	2,274	99,147	
LR44A_Grt1 Line 008	20,313	2,275	36,473	5,59	0,007	0	32,818	2,463	99,939	
LR44A_Grt1 Line 009	20,316	1,368	36,826	5,204	0,018	0,018	34,276	2,419	100,445	
LR44A_Grt1 Line 010	20,665	1,12	36,423	5,96	0,033	0,012	33,666	2,572	100,451	
LR44A_Grt1 Line 011	20,326	1,973	36,266	6,281	0,025	0,006	31,899	2,948	99,724	
LR44A_Grt1 Line 012	20,236	1,7	36,05	4,359	0,016	0,004	34,683	2,605	99,653	
LR44A_Grt1 Line 013	20,221	2,737	36,246	3,079	0,016	0,003	35,128	1,76	99,19	
LR44A_Grt1 Line 014	20,248	2,562	36,11	2,359	0,066	0,003	36,305	1,471	99,124	
LR44A_Grt1 Line 015	20,275	2,7	36,129	2,409	0,02	0,011	36,394	1,251	99,189	
LR44A_Grt1 Line 016	20,036	1,747	36,258	2,614	0,026	0,022	37,369	1,688	99,76	
LR44A_Grt1 Line 017	20,354	2,515	36,168	2,694	0,013	0,027	36,236	1,444	99,451	
LR44A_Grt1 Line 018	20,364	1,696	36,123	4,749	0,031	0	35,235	1,87	100,068	
LR44A_Grt1 Line 019	18,447	8,607	34,973	0	1,258	0,001	21,901	0,056	85,243	
LR44A_Grt1 Line 020	20,366	2,324	36,125	3,067	0,009	0	35,985	1,465	99,341	
LR44A_Grt1 Line 021	19,849	9,834	23,455	0,198	0,031	0,013	29,788	0,161	83,329	
LR44A_Grt1 Line 022	22,107	1,485	36,469	3,24	0,006	0,002	36,495	1,899	101,703	
LR44A_Grt1 Line 023	20,466	2,595	36,117	5,418	0,018	0,012	32,697	2,437	99,76	
LR44A_Grt1 Line 024	20,581	2,519	36,268	4,95	0,016	0,009	33,49	2,079	99,912	
LR44A_Grt1 Line 025	20,269	1,718	35,73	2,826	0,012	0,005	36,929	1,518	99,007	
LR44A_Grt2 Line 001	19,949	1,443	35,601	1,278	0,002	0,006	39,316	1,281	98,876	
LR44A_Grt2 Line 002	20,532	3,378	36,363	1,154	0	0,015	37,364	0,472	99,278	
LR44A_Grt2 Line 003	19,915	2,457	36,025	1,099	0	0,005	38,421	0,772	98,694	
LR44A_Grt2 Line 004	19,789	2,415	35,508	0,925	0,011	0,007	38,503	0,763	97,921	
LR44A_Grt2 Line 005	20,808	3,516	36,306	0,943	0	0,005	37,457	0,479	99,514	
LR44A_Grt2 Line 006	20,415	3,477	36,115	0,951	0,008	0	37,525	0,522	99,013	
LR44A_Grt2 Line 007	20,458	3,316	35,955	0,97	0,016	0,018	37,572	0,533	98,838	
LR44A_Grt2 Line 008	20,208	1,453	35,432	0,874	0,009	0,015	39,598	1,287	98,876	
LR44A_Grt2 Line 009	20,483	2,214	35,681	0,932	0,001	0,012	39,026	0,785	99,134	
LR44A_Grt2 Line 010	20,167	1,913	35,305	0,821	0	0,008	39,121	0,979	98,314	
LR44A_Grt2 Line 011	20,512	3,017	35,743	0,951	0,006	0,008	37,82	0,595	98,652	
LR44A_Grt2 Line 012	28,317	3,245	40,568	0	0,347	0,025	8,031	0,013	80,546	
LR44A_Grt2 Line 013	20,328	1,566	34,898	0,854	0,058	0,002	39,381	1,261	98,348	
LR44A_Grt2 Line 014	19,809	1,537	35,609	0,739	0,112	0,019	38,778	1,349	97,952	
LR44A_Grt2 Line 015	20,556	1,793	35,481	0,873	0,025	0,011	39,826	1,039	99,604	
LR44A_Grt2 Line 016	10,67	0,77	16,936	0,512	23,275	0,003	42,587	0,79	95,543	
LR44A_Grt2 Line 017	20,259	2,266	35,597	0,819	0,024	0,001	38,936	0,685	98,587	
LR44A_Grt2 Line 018	20,131	1,45	35,469	0,873	0,01	0,003	39,506	1,322	98,764	
LR44A_Grt2 Line 019	20,512	3,263	35,954	1,38	0	0,016	36,934	0,507	98,566	
LR44A_Grt2 Line 020	21,161	4,703	32,407	0,616	0,009	0,005	35,723	1,074	95,698	
LR44A_Grt2 Line 021	20,541	3,285	36,147	0,984	0,026	0	37,395	0,52	98,898	
LR44A_Grt2 Line 022	22,5	3,445	34,077	0,311	0	0	28,23	0,648	89,211	
LR44A_Grt2 Line 023	20,628	3,284	35,911	1,177	0,005	0,008	37,295	0,595	98,903	
LR44A_Grt2 Line 024	20,376	2,965	35,74	1,204	0	0,024	37,811	0,613	98,733	
LR44A_Grt2 Line 025	20,432	2,182	35,632	1,14	0	0,004	38,487	1,034	98,911	

Tabela 9: Análise química mineral da EPMA dos cristais de granada das amostras LR-44B e LR-44C

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR-44B_Grt_prf1	36,369	21,001	2,426	1,414	0,005	0	37,666	0,394	0,005	99,28
LR-44B_Grt_prf2	37,033	21,301	2,87	1,681	0,021	0	36,905	0,361	0,009	100,181
LR-44B_Grt_prf3	36,975	21,156	2,65	2,003	0,02	0,001	36,47	0,465	0,04	99,78
LR-44B_Grt_prf4	36,593	21,361	2,58	1,871	0,021	0	36,396	0,669	0,005	99,496
LR-44B_Grt_prf5	36,725	21,265	2,419	2,19	0,042	0,027	36,419	0,956	0	100,043
LR-44B_Grt_prf6	36,525	21,091	1,937	3,979	0,035	0,012	34,491	1,392	0	99,462
LR-44B_Grt_prf7	36,459	20,933	1,699	4,675	0,052	0	33,199	1,93	0	98,947
LR-44B_Grt_prf8	36,928	21,253	1,584	4,411	0,05	0,021	33,561	2,327	0	100,135
LR-44B_Grt_prf9	36,272	20,781	1,508	4,558	0,094	0,002	33,161	2,377	0	98,753
LR-44B_Grt_prf10	36,848	21,056	1,478	4,392	0,085	0,019	33,199	2,582	0,088	99,747
LR-44B_Grt_prf11	36,431	20,831	1,539	4,529	0,044	0,013	33,196	2,595	0,007	99,185
LR-44B_Grt_prf12	36,568	21,218	1,559	4,059	0,048	0	33,475	2,57	0	99,497
LR-44B_Grt_prf14	36,519	21,138	1,549	4,322	0,068	0,003	33,175	2,389	0	99,163
LR-44B_Grt_prf15	36,933	20,963	1,689	4,508	0,11	0,019	33,258	2,131	0	99,611
LR-44B_Grt_prf17	33,371	20,392	1,815	3,889	0,171	0,016	34,369	1,076	0,007	95,106
LR-44B_Grt_prf18	36,382	21,051	2,24	1,852	0,05	0,022	36,792	0,794	0,05	99,233
LR-44B_Grt_prf19	36,975	21,165	2,721	2,133	0,012	0	36,257	0,35	0,005	99,618
LR-44B_Grt_prf20	37,093	21,419	2,904	1,511	0,008	0,007	37,168	0,339	0	100,449
Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR-44C_Grt_prf01	36,369	21,001	2,426	1,414	0,005	0	37,666	0,394	0,005	99,28
LR-44C_Grt_prf02	37,033	21,301	2,87	1,681	0,021	0	36,905	0,361	0,009	100,181
LR-44C_Grt_prf03	36,975	21,156	2,65	2,003	0,02	0,001	36,47	0,465	0,04	99,78
LR-44C_Grt_prf04	36,593	21,361	2,58	1,871	0,021	0	36,396	0,669	0,005	99,496
LR-44C_Grt_prf05	36,725	21,265	2,419	2,19	0,042	0,027	36,419	0,956	0	100,043
LR-44C_Grt_prf06	36,525	21,091	1,937	3,979	0,035	0,012	34,491	1,392	0	99,462
LR-44C_Grt_prf07	36,459	20,933	1,699	4,675	0,052	0	33,199	1,93	0	98,947
LR-44C_Grt_prf08	36,928	21,253	1,584	4,411	0,05	0,021	33,561	2,327	0	100,135
LR-44C_Grt_prf09	36,272	20,781	1,508	4,558	0,094	0,002	33,161	2,377	0	98,753
LR-44C_Grt_prf10	36,848	21,056	1,478	4,392	0,085	0,019	33,199	2,582	0,088	99,747
LR-44C_Grt_prf11	36,431	20,831	1,539	4,529	0,044	0,013	33,196	2,595	0,007	99,185
LR-44C_Grt_prf12	36,568	21,218	1,559	4,059	0,048	0	33,475	2,57	0	99,497
LR-44C_Grt_prf14	36,519	21,138	1,549	4,322	0,068	0,003	33,175	2,389	0	99,163
LR-44C_Grt_prf15	36,933	20,963	1,689	4,508	0,11	0,019	33,258	2,131	0	99,611
LR-44C_Grt_prf17	33,371	20,392	1,815	3,889	0,171	0,016	34,369	1,076	0,007	95,106
LR-44C_Grt_prf18	36,382	21,051	2,24	1,852	0,05	0,022	36,792	0,794	0,05	99,233
LR-44C_Grt_prf19	36,975	21,165	2,721	2,133	0,012	0	36,257	0,35	0,005	99,618
LR-44C_Grt_prf20	37,093	21,419	2,904	1,511	0,008	0,007	37,168	0,339	0	100,449
Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)	
LR-44C_Grt1_1_1	36,745	20,805	3,065	0,423	-0,018	0,015	34,503	4,293	99,831	
LR-44C_Grt1_1_2	36,408	20,547	2,885	0,475	0,053	0,008	33,29	5,765	99,431	
LR-44C_Grt1_1_3	36,567	20,438	2,735	0,513	0,041	0,02	32,431	6,831	99,576	
LR-44C_Grt1_1_4	36,562	20,604	2,464	0,462	0,019	0,02	31,723	7,855	99,709	
LR-44C_Grt1_1_5	36,299	20,618	2,403	0,448	0,05	0,013	30,966	8,607	99,404	
LR-44C_Grt1_1_6	37	20,113	1,641	0,454	0,073	0,013	31,97	8,551	99,815	
LR-44C_Grt1_1_7	36,13	20,077	1,956	0,458	0,019	0,016	31,724	8,45	98,83	
LR-44C_Grt1_1_8	36,295	20,135	2,156	1,199	0,027	0,015	30,731	9,02	99,578	
LR-44C_Grt1_1_9	36,322	20,434	2,136	0,505	0,067	0,018	31,228	8,845	99,555	
LR-44C_Grt1_1_10	36,624	20,671	2,235	0,476	0,045	0,002	31,546	8,56	100,159	
LR-44C_Grt1_1_11	35,979	20,366	1,598	0,456	0,068	0,03	33,1	8,138	99,735	
LR-44C_Grt1_1_12	36,19	20,327	2,176	0,449	0,064	-0,001	32,399	7,663	99,267	
LR-44C_Grt1_1_13	36,331	20,554	2,106	0,439	0,048	0,019	32,604	7,463	99,564	
LR-44C_Grt1_1_15	35,561	19,984	1,64	0,375	0,041	0,006	33,204	7,449	98,26	
LR-44C_Grt1_1_16	31,583	17,986	1,545	0,373	7,423	0,001	34,798	6,598	100,307	
LR-44C_Grt1_1_17	36,099	20,346	1,585	0,398	0,373	0,012	33,448	7,013	99,274	
LR-44C_Grt1_1_18	36,578	20,382	1,671	0,444	0,059	0,019	33,483	7,086	99,722	
LR-44C_Grt1_1_19	35,513	20,448	1,655	0,423	0,045	0,003	34,189	6,563	98,839	
LR-44C_Grt1_1_20	36,629	20,676	2,052	0,379	0,034	0,028	33,866	6,583	100,247	
LR-44C_Grt1_1_23	36,415	20,296	1,883	0,564	0,061	0,019	35,667	4,917	99,822	
LR-44C_Grt1_1_24	36,715	20,616	2,971	0,537	0,033	0,009	33,736	4,636	99,253	
LR-44C_Grt1_1_25	36,494	20,498	2,198	0,487	0,135	0,024	35,765	4,044	99,645	
LR-44C_Grt1_1_26	36,36	20,671	2,432	0,445	0,015	0,019	36,124	3,718	99,784	
LR-44C_Grt1_1_27	36,399	20,54	2,089	0,451	0,023	0,012	36,25	3,67	99,434	
LR-44C_Grt1_1_30	36,688	20,61	2,769	0,417	0,006	-0,002	36,576	2,48	99,544	
LR-44C_Grt1_2_1	36,529	20,668	3,254	0,334	-0,001	0,006	36,343	1,991	99,124	
LR-44C_Grt1_2_2	36,995	20,926	3,357	0,394	0,021	0,001	36,105	2,349	100,148	
LR-44C_Grt1_2_3	36,855	20,704	3,27	0,499	0,025	0,054	35,59	3,024	100,021	
LR-44C_Grt1_2_4	36,88	20,579	2,447	0,555	0,016	0,015	35,591	4,041	100,124	



Tabela 10: Análise química mineral da EPMA dos cristais de estauroлита das amostras LR-10C e LR-44C

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR10c_St1-1	26,711	51,978	1,257	0	0,543	0,004	13,304	0,018	0,636	94,451
LR10c_St1-2	26,507	52,04	1,272	0	0,641	0,006	13,722	0,014	0,573	94,775
LR10c_St1-3	26,856	52,123	1,305	0	0,574	0	13,185	0,031	0,647	94,721
LR10c_St1-4	26,49	52,228	1,226	0,016	0,589	0,024	13,323	0,017	0,679	94,592
LR10c_St1-5	26,592	52,492	1,211	0	0,548	0,054	13,251	0,033	0,604	94,785
LR10c_St1-6	27,249	52,832	1,283	0,005	0,597	0,054	13,05	0,024	0,586	95,68
LR10c_St2-1	26,714	52,178	1,234	0	0,559	0,039	13,133	0,031	0,616	94,504
LR10c_St2-2	26,117	51,214	1,302	0,057	0,568	0,044	14,001	0,012	0,611	93,926
LR10c_St2-3	26,693	52,328	1,322	0,008	0,553	0,039	13,163	0,028	0,64	94,774
LR10c_St2-4	26,933	49,71	1,23	0	0,508	0,034	12,535	0,004	0,603	91,557
LR10c_St2-5	26,564	52,13	1,317	0,009	0,665	0,046	13,243	0,032	0,518	94,524
LR10c_St2-6	27,024	52,51	1,243	0,003	0,664	0,03	13,133	0,001	0,64	95,248
LR10c_St3-1	27,078	52,302	1,321	0,032	0,5	0,02	13,179	0,026	0,674	95,132
LR10c_St3-2	26,581	52,394	1,332	0,016	0,498	0,022	12,949	0,066	0,649	94,507
LR10c_St3-3	26,682	51,443	1,289	0	0,567	0,04	13,067	0,009	0,538	93,635
LR10c_St3-4	27,019	51,98	1,359	0,004	0,616	0,042	13,223	0,022	0,612	94,877
LR10c_St3-5	26,728	52,079	1,388	0	0,508	0,034	13,467	0,007	0,589	94,8
LR10c_St3-6	26,99	51,935	1,309	0,02	0,615	0,058	12,897	0,016	0,591	94,431
LR10c_St4-1	26,861	51,795	1,138	0,012	0,543	0,044	12,905	0,066	0,59	93,954
LR10c_St4-2	27,055	52,197	1,331	0,024	0,586	0,046	12,931	0,057	0,598	94,825
LR10c_St4-3	26,694	52,004	1,293	0,011	0,759	0,068	13,355	0,035	0,654	94,873
LR10c_St4-4	26,667	52,128	1,304	0,028	0,668	0,064	13,304	0	0,605	94,768
LR10c_St4-5	26,337	52,338	1,293	0,005	0,618	0,047	13,42	0,038	0,559	94,655
LR10c_St4-6	27,122	52,22	1,251	0,01	0,508	0,053	12,966	0,03	0,597	94,757
LR10c_St4-7	26,864	52,474	1,266	0,002	0,498	0,052	12,901	0,016	0,583	94,656
LR10c_St4-8	26,854	52,747	1,258	0,029	0,514	0,028	12,973	0,05	0,648	95,101
LR10c_St4-9	27,055	52,331	1,201	0	0,541	0,034	13,009	0,023	0,671	94,865
LR10C-St1-Rim1	27,849	54,008	1,143	0	0,526	0,024	12,915	0,025	0,573	97,063
LR10C-St1-Rim2	27,661	54,17	1,186	0	0,525	0,041	12,845	0,015	0,523	96,966
LR10C-St1-Rim3	28,012	54,232	1,158	0,005	0,589	0,037	13,033	0,038	0,563	97,667
LR10C-St1-Core1	27,771	54,352	1,163	0,006	0,622	0,016	12,907	0,026	0,536	97,399
LR10C-St1-Core2	27,496	53,806	1,146	0	0,715	0,044	13,016	0,023	0,548	96,794
LR10C-St1-Core3	27,479	54,191	1,112	0,014	0,517	0,032	12,794	0,035	0,589	96,763
LR10C-St2-Rim1	27,975	54,307	1,182	0,002	0,537	0,005	12,867	0,022	0,537	97,434
LR10C-St2-Rim2	27,652	53,495	1,122	0	0,492	0,014	12,632	0,007	0,541	95,955
LR10C-St2-Rim3	27,325	54,237	1,14	0,012	0,497	0,004	12,886	0,045	0,58	96,726
LR10C-St2-Coew1	27,705	54,476	1,22	0,003	0,499	0,03	12,974	0,011	0,559	97,477
LR10C-St2-Coew2	27,768	54,135	1,19	0	0,515	0,036	12,684	0,014	0,577	96,919
LR10C-St2-Coew3	28,098	54,363	1,184	0,009	0,523	0,046	12,682	0,022	0,553	97,48
LR10C-St3-Core1	27,963	54,366	1,177	0,002	0,49	0,026	13,128	0,04	0,647	97,839
LR10C-St3-Core2	27,906	54,461	1,181	0	0,482	0,052	13,026	0,027	0,583	97,718
LR10C-St3-Core3	27,953	54,245	1,165	0	0,517	0,036	12,855	0,028	0,653	97,452
LR10C-St3-Rim1	28,001	54,326	1,137	0	0,519	0,058	12,905	0,027	0,571	97,544
LR10C-St3-Rim2	27,971	54,036	1,115	0,011	0,544	0,059	12,603	0,034	0,599	96,972
LR10C-St3-Rim3	27,762	54,079	1,13	0	0,625	0,045	12,889	0,017	0,652	97,199
Comment	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR44C_St1 Line 001	1,322	27,664	52,621	0,006	0,62	0,034	13,738	0,112	0,125	96,242
LR44C_St1 Line 002	1,338	27,676	52,947	-0,009	0,635	0,041	13,67	0,122	0,136	96,556
LR44C_St1 Line 003	1,414	27,657	53,168	0,01	0,646	0,036	13,674	0,116	0,071	96,792
LR44C_St1 Line 004	1,394	27,543	53,471	-0,018	0,656	0,045	13,487	0,128	0,145	96,851
LR44C_St1 Line 005	1,395	27,59	53,722	0,003	0,611	0,022	13,358	0,085	0,126	96,912
LR44C_St3 Line 001	1,523	27,634	53,316	-0,005	0,644	0,032	13,696	0,083	0,074	96,997
LR44C_St3 Line 002	1,487	27,762	53,401	0,01	0,655	0,034	13,651	0,112	0,13	97,242
LR44C_St3 Line 003	1,436	27,853	53,441	0,018	0,633	0,045	13,439	0,097	0,153	97,115
LR44C_St3 Line 004	1,423	27,664	53,049	0	0,607	0,041	13,465	0,133	0,112	96,494
LR44C_St3 Line 005	1,471	27,947	53	-0,007	0,61	0,037	13,391	0,115	0,107	96,671
LR44C_St2 Line 001	1,431	28,541	54,891	-0,001	0,629	0,035	13,925	0,097	0,116	97,779
LR44C_St2 Line 003	1,516	28,698	54,876	-0,004	0,649	0,052	13,57	0,1	0,034	96,583
LR44C_St2 Line 004	1,519	28,722	54,814	0,004	0,664	0,042	13,601	0,119	0,092	97,167
LR44C_St2 Line 005	1,442	28,654	54,927	-0,002	0,596	0,049	13,649	0,111	0,111	96,917

Tabela 11: Análise química mineral da EPMA dos cristais de estauroлита da amostra LR-10E

Comment	SiO2(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	ZnO(%)	Total(%)
LR10E-St1_1	27,822	53,492	1,191	-0,007	0,537	0,051	13,537	0,005	0,291	96,919
LR10E-St1_2	27,794	53,201	1,272	-0,005	0,526	0,044	13,43	-0,006	0,29	96,546
LR10E-St1_3	27,795	53,125	1,245	0,007	0,561	0,03	13,681	0,025	0,357	96,826
LR10E-St1_4	27,996	53,292	1,258	0,014	0,579	0,044	13,667	0,015	0,367	97,232
LR10E-St1_5	28,014	53,09	1,236	-0,013	0,523	0,032	13,433	0,024	0,307	96,646
LR10E-St1_6	27,931	51,583	1,304	0,17	0,54	0,014	13,39	0,033	0,365	95,33
LR10E-St1_7	27,742	52,441	1,264	0,295	0,504	0,022	13,387	0,024	0,336	96,015
LR10E-St1_8	27,864	52,99	1,346	0,009	0,522	0,024	13,673	0,025	0,292	96,745
LR10E-St1_9	28,09	53,225	1,217	-0,003	0,487	0,004	13,676	0,026	0,327	97,049
LR10E-St1_10	27,965	53,039	1,263	0,005	0,521	0,008	13,508	0,037	0,362	96,708
LR10E-St1_11	27,905	52,945	1,287	0,007	0,531	0,007	13,509	0,031	0,379	96,601
LR10E-St1_12	28,056	53,142	1,319	0,017	0,536	0,023	13,474	0,019	0,336	96,922
LR10E-St1_13	27,899	52,986	1,287	0,006	0,537	0,032	13,601	-0,019	0,337	96,666
LR10E-St1_14	27,723	53,184	1,279	0,022	0,529	0,012	13,565	0,012	0,357	96,683
LR10E-St1_15	28,081	52,913	1,286	0,004	0,538	0,042	13,475	0,015	0,351	96,705
LR10E-St1_16	27,925	53,419	1,289	0,006	0,569	0,008	13,403	0,019	0,299	96,937
LR10E-St1_17	27,83	53,111	1,237	0,007	0,533	0,035	13,488	0,022	0,422	96,685
LR10E-St1_18	27,871	53,122	1,287	0,01	0,526	0,017	13,329	0,019	0,343	96,524
LR10E-St1_19	27,697	53,066	1,198	0,004	0,536	0,023	13,731	0,015	0,294	96,564
LR10E-St1_20	26,162	51,589	1,266	0,011	3,139	0,017	15,053	0,013	0,382	97,632
LR10E-St1_21	27,75	52,953	1,344	0,002	0,528	0,032	13,489	0,006	0,356	96,46
LR10E-St1_22	27,937	52,481	1,303	0,019	0,516	0,026	13,511	0,032	0,369	96,194
LR10E-St1_23	28,101	52,222	1,302	0,004	0,517	0,019	13,437	0,026	0,341	95,969
LR10E-St1_24	27,826	52,896	1,351	-0,002	0,527	0,006	13,506	0,02	0,312	96,442
LR10E-St1_25	27,739	52,571	1,251	0,003	0,522	0,026	13,329	0,027	0,382	95,85
LR10E-St1_26	27,992	52,998	1,244	-0,018	0,547	0,024	13,64	0,03	0,259	96,716
LR10E-St1_27	27,747	53,047	1,266	0,006	0,535	0,029	13,584	0,027	0,355	96,596
LR10E-St1_28	27,76	52,837	1,262	0,004	0,539	0,028	13,506	0,012	0,3	96,248
LR10E-St1_29	27,868	53,126	1,218	0,011	0,503	0,015	13,467	0,03	0,298	96,536
LR10E-St1_30	28,137	52,72	1,155	-0,005	0,514	0,048	13,446	0,023	0,338	96,376
LR10E-St2_1	28,219	53,696	1,27	0,026	0,543	0,044	13,263	0,008	0,369	97,438
LR10E-St2_2	27,977	53,209	1,238	0,005	0,525	0,047	13,326	0,028	0,333	96,688
LR10E-St2_3	27,938	53,369	1,261	0	0,54	0,041	13,485	0,004	0,359	96,997
LR10E-St2_4	27,981	53,66	1,191	-0,001	0,566	0,037	13,508	0,025	0,358	97,325
LR10E-St2_5	27,588	53,258	1,217	0,008	0,54	0,025	13,399	0,033	0,289	96,357
LR10E-St2_6	27,645	53,601	1,177	0,008	0,506	0,042	13,35	0,004	0,333	96,666
LR10E-St2_7	27,752	53,437	1,271	-0,001	0,515	0,041	13,423	0,041	0,38	96,859
LR10E-St2_8	27,73	53,172	1,236	0	0,539	0,019	13,413	0,018	0,338	96,465
LR10E-St2_9	11,41	31,666	0,715	0,028	22,603	0,033	27,03	0,041	0,174	93,7
LR10E-St2_10	27,769	53,387	1,277	0,006	0,534	0,04	13,382	0,013	0,277	96,685
LR10E-St2_11	27,723	53,462	1,272	0,007	0,546	0,039	13,349	0,037	0,27	96,705
LR10E-St2_12	27,843	53,163	1,266	-0,005	0,617	0,027	13,262	-0,017	0,345	96,501
LR10E-St2_13	27,887	53,243	1,246	0	0,567	0,051	13,437	0,033	0,349	96,813
LR10E-St2_14	28,026	53,717	1,274	0,005	0,585	0,051	13,476	0,029	0,344	97,507
LR10E-St2_15	27,778	53,258	1,235	-0,006	0,602	0,036	13,405	0,016	0,402	96,726
LR10E-St2_16	27,868	53,421	1,27	-0,018	0,597	0,034	13,41	0,034	0,471	97,087
LR10E-St2_17	27,716	53,897	1,168	0	0,613	0,048	13,183	0,017	0,358	97
LR10E-St2_18	27,875	54,182	1,171	0,021	0,602	0,052	13,173	0,004	0,369	97,449
LR10E-St2_19	24,905	49,448	1,287	0,031	0,55	0,052	14,808	0,014	0,413	91,508
LR10E-St2_20	28,245	53,817	1,208	-0,001	0,62	0,044	13,492	0,016	0,286	97,727
LR10E-St2_21	27,848	53,53	1,292	-0,004	0,606	0,053	13,609	-0,004	0,34	97,27
LR10E-St2_22	27,708	53,713	1,234	0,003	0,623	0,074	13,426	0,009	0,427	97,217
LR10E-St2_23	28,113	53,343	1,328	0,015	0,759	0,081	13,6	0,007	0,285	97,531
LR10E-St2_24	27,519	53,301	1,226	-0,002	0,626	0,094	13,484	0,027	0,316	96,591
LR10E-St2_25	27,676	53,122	1,238	0,013	0,615	0,08	13,455	0,033	0,296	96,528
LR10E-St2_26	27,896	53,335	1,272	0	0,616	0,056	13,439	0,011	0,365	96,99
LR10E-St2_27	27,939	53,656	1,244	0	0,636	0,035	13,516	0,025	0,305	97,356
LR10E-St2_28	27,472	53,359	1,222	-0,013	0,626	0,034	13,371	0,013	0,327	96,411
LR10E-St2_29	27,688	53,761	1,25	0,004	0,63	0,034	13,538	0,026	0,389	97,32
LR10E-St2_30	27,524	53,347	1,157	-0,006	0,65	0,034	13,43	0,014	0,342	96,492

Tabela 12: Análise química mineral da EPMA dos cristais de cloritoide das amostras LR-04 e LR-10E

Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR4_Ctd1-1	0,009	38,338	2,645	22,643	0,001	0	0	0	0,076	23,431	1,248	88,391
LR4_Ctd1-2	0	38,617	2,725	22,869	0	0,003	0	0	0,07	23,836	1,243	89,363
LR4_Ctd1-3	0,007	38,256	2,778	23,044	0	0,019	0	0	0,062	23,704	1,164	89,034
LR4_Ctd1-4	0,015	38,529	2,669	22,778	0,002	0	0,009	0	0,074	23,844	1,138	89,058
LR4_Ctd1-5	0	38,176	2,45	22,847	0	0	0,004	0	0,075	24,054	1,149	88,755
LR4_Ctd1-6	0,017	38,396	2,696	22,908	0	0	0	0	0,082	23,673	1,326	89,098
LR4_Ctd1-7	0,007	38,915	2,648	22,857	0,021	0,014	0	0,068	0,05	23,112	1,447	89,139
LR4_Ctd1-8	0,005	38,398	2,719	22,846	0	0	0,051	0	0,052	23,605	1,344	89,02
LR4_Ctd1-9	0	38,308	2,558	22,625	0,008	0,023	0,025	0	0,055	24,292	1,127	89,021
LR4_Ctd1-10	0,011	38,481	2,656	22,809	0	0,005	0,057	0,049	0,097	23,777	1,201	89,143
LR4_Ctd2-1	0	38,866	2,484	22,784	0	0,006	0	0	0,092	23,223	1,416	88,871
LR4_Ctd2-2	0,021	36,815	2,213	25,34	0,01	0	0	0,146	0,095	23,258	1,416	89,314
LR4_Ctd2-3	0,001	38,158	2,684	22,695	0,015	0,014	0	0	0,099	23,854	1,171	88,691
LR4_Ctd2-4	0	38,271	2,688	22,779	0	0	0,058	0	0,106	24,071	1,176	89,149
LR4_Ctd2-5	0,017	38,596	2,678	22,983	0,01	0	0,067	0	0,089	24,036	1,231	89,707
LR4_Ctd2-6	0	38,258	2,66	22,937	0	0	0	0	0,072	23,922	1,138	88,987
LR4_Ctd2-7	0	38,529	2,63	22,857	0,002	0,024	0	0,107	0,094	23,226	1,173	88,642
LR4_Ctd2-8	0,002	38,17	2,711	23,02	0	0	0	0,007	0,083	23,663	1,182	88,838
LR4_Ctd2-9	0,004	38,417	2,69	23,347	0,008	0	0	0	0,101	23,229	1,189	88,985
LR4_Ctd2-10	0,002	38,237	2,715	22,876	0,03	0,006	0,019	0	0,101	23,708	1,148	88,842
LR4_Ctd2-11	0	38,54	2,711	22,906	0,002	0	0	0,001	0,061	23,476	1,225	88,922
LR4_Ctd2-12	0,033	38,677	2,574	22,945	0	0,01	0,021	0	0,047	23,427	1,412	89,146
LR4_Ctd2-13	0,01	37,924	2,564	22,565	0,01	0	0	0	0,107	22,907	1,346	87,433
LR4_Ctd2-14	0	38,477	2,555	22,797	0,011	0,017	0	0,025	0,106	23,638	1,3	88,926
LR4_Ctd3-1	0	38,245	2,282	22,719	0	0,001	0	0,009	0,127	23,643	1,573	88,599
LR4_Ctd3-2	0	38,798	2,416	22,743	0	0,032	0,055	0,068	0,126	23,063	1,526	88,827
LR4_Ctd3-3	0,011	39	2,656	23,048	0,001	0,028	0,037	0,025	0,105	23,167	1,378	89,456
LR4_Ctd3-4	0,007	38,212	2,75	22,758	0,021	0	0	0,01	0,142	23,233	1,259	88,392
LR4_Ctd3-5	0,013	38,416	2,686	22,5	0	0,009	0	0,155	0,124	23,225	1,276	88,404
LR4_Ctd3-6	0,016	38,698	2,696	22,961	0,007	0,005	0	0,008	0,116	22,953	1,241	88,701
LR4_Ctd3-7	0,002	38,209	2,621	22,591	0,004	0,01	0,041	0,056	0,111	23,581	1,132	88,358
LR4_Ctd3-8	0,007	37,441	2,373	26,137	0	0	0,009	0,012	0,109	22,799	1,227	90,114
LR4_Ctd3-9	0,004	38,524	2,505	22,821	0,001	0,002	0	0	0,155	23,051	1,173	88,236
LR4_Ctd4-1	0	38,273	1,793	22,567	0	0,004	0	0,048	0,012	24,404	1,673	88,774
LR4_Ctd4-2	0,012	38,574	2,421	22,891	0	0,001	0	0,078	0,077	23,237	1,42	88,711
LR4_Ctd4-3	0,033	38,551	2,414	22,907	0,012	0,008	0	0,065	0,07	23,457	1,37	88,887
LR4_Ctd4-4	0	38,907	2,541	22,834	0	0,007	0,012	0,061	0,075	23,146	1,37	88,953
LR4_Ctd4-5	0,028	38,954	2,553	22,78	0,026	0,034	0	0,005	0,088	23,375	1,389	89,232
LR4_Ctd4-6	0,044	38,835	2,694	22,854	0	0	0	0,023	0,106	22,894	1,318	88,768
LR4_Ctd4-7	0,044	38,292	2,531	22,58	0,014	0	0	0,03	0,147	23,772	1,229	88,639
LR4_Ctd4-8	0,024	38,916	2,595	22,854	0,021	0,009	0	0,001	0,108	23,129	1,354	89,011
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	TiO2(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)			
LR10E_CTD1 Line 001	0,013	40,479	3,267	24,43	0,004	-0,004	23,558	0,022	91,769			
LR10E_CTD1 Line 002	0,052	40,226	3,244	24,401	-0,021	-0,002	23,571	0,034	91,505			
LR10E_CTD1 Line 003	0,024	40,303	3,186	24,484	0,003	-0,018	23,748	0,031	91,761			
LR10E_CTD1 Line 004	-0,006	40,382	3,216	24,498	-0,014	-0,028	23,746	0,031	91,825			
LR10E_CTD1 Line 005	-0,014	40,572	3,289	24,248	0,005	0,004	23,714	0,011	91,829			
LR10E_CTD1 Line 006	-0,006	40,148	3,198	24,418	-0,004	0,001	23,402	0,041	91,198			
LR10E_CTD1 Line 007	0,014	40,293	3,113	24,125	-0,022	-0,001	23,426	0,049	90,997			
LR10E_CTD1 Line 008	-0,011	40,21	3,278	24,271	-0,011	-0,023	23,493	0,06	91,267			
LR10E_CTD1 Line 009	0,006	40,37	3,218	24,424	-0,003	0	23,336	0,032	91,383			
LR10E_CTD1 Line 010	-0,002	40,223	3,299	24,248	0,001	-0,008	23,512	0,036	91,309			
LR10E_CTD2 Line 001	0,004	40,116	2,912	24,334	-0,003	-0,017	23,935	0,022	91,303			
LR10E_CTD2 Line 002	0,013	40,461	2,996	24,419	-0,002	-0,013	24,047	0,026	91,947			
LR10E_CTD2 Line 003	0,043	40,207	3,025	24,61	-0,013	0,009	23,786	0,022	91,689			
LR10E_CTD2 Line 004	0,007	40,144	3,12	24,584	-0,006	-0,015	23,778	0,036	91,648			
LR10E_CTD2 Line 005	0,006	40,278	3,271	24,195	-0,003	-0,015	23,225	-0,01	90,947			
LR10E_CTD2 Line 006	0,03	40,031	3,175	24,075	0,016	-0,003	23,575	0,045	90,944			
LR10E_CTD2 Line 007	0,008	40,54	3,151	24,579	-0,006	-0,014	23,836	0,038	92,132			
LR10E_CTD2 Line 008	0,032	40,28	3,192	24,06	-0,018	-0,002	23,443	0,017	91,004			
LR10E_CTD3 Line 001	0,039	40,123	3,283	24,149	0,006	-0,015	23,379	0,084	91,048			
LR10E_CTD3 Line 002	0,02	40,174	2,905	24,255	-0,002	-0,012	23,926	0,026	91,292			
LR10E_CTD3 Line 003	0,054	40	2,615	23,991	0,016	-0,006	24,124	0,05	90,844			
LR10E_CTD3 Line 004	0,039	40,345	3,006	24,336	0,002	0,002	23,862	0,037	91,629			
LR10E_CTD3 Line 005	0,022	40,303	3,196	24,215	-0,006	-0,008	23,591	0,029	91,342			
LR10E_CTD3 Line 006	0,017	40,277	3,466	24,136	0,017	-0,007	23,45	0,035	91,391			
LR10E_CTD3 Line 007	0,013	40,286	3,396	24,338	0,007	-0,012	23,279	0,058	91,365			
LR10E_CTD3 Line 008	0,006	40,177	3,296	24,414	-0,001	0,003	23,362	0,051	91,308			
LR10E_CTD3 Line 009	0,027	40,13	3,061	24,016	-0,008	-0,022	23,699	0,034	90,937			
LR10E_CTD3 Line 010	0,007	40,107	2,904	24,275	0,001	-0,005	24,004	0,021	91,314			

Tabela 13: Análise química mineral da EPMA dos cristais de muscovita das amostras LR-04, LR-10C e LR-10E

Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR4_Ms1-1	0,019	0,01	0,006	98,398	0,007	0,013	0,023	0	0	0,302	0	98,778
LR4_Ms1-2	0,011	0,013	0,01	97,585	0,007	0	0	0	0,001	0,319	0,004	97,95
LR4_Ms1-3	0,047	0,361	0,204	0,437	0,012	0	0,784	95,112	0,107	1,802	0,022	98,888
LR4_Ms1-4	0,005	0	0	97,634	0	0,019	0	0,004	0	0,263	0,002	97,927
LR4_Ms1-5	0,024	0	0,004	97,741	0,001	0,031	0	0	0,009	0,281	0,008	98,099
LR4_Ms1-6	0,027	21,703	11,117	22,226	0,003	0,009	0,047	0,062	0,037	27,175	0,564	82,97
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR10C_Ms2-1	1,155	35,035	0,645	44,367	9,147	0	0,13	0,312	0,022	1,055	0,012	91,88
LR10C_Ms2-2	1,082	34,936	0,699	44,51	9,101	0	0,145	0,343	0,025	1,024	0,001	91,866
LR10C_Ms2-3	0,2	18,306	9,683	34,468	7,926	0	0,082	1,414	0,058	19,296	0	91,433
LR10C_Ms3-1	1,063	34,34	0,893	44,802	9,466	0	0,156	0,351	0,032	1,176	0,008	92,287
LR10C_Ms3-2	1,082	34,381	0,936	44,594	9,376	0	0,139	0,36	0,033	1,296	0	92,197
LR10C_Ms3-3	1,071	34,32	0,849	44,354	9,368	0	0,128	0,384	0,03	1,293	0	91,797
LR10C_Ms1-1	1,101	34,131	0,937	44,314	9,242	0	0,147	0,327	0,041	1,237	0	91,477
LR10C_Ms1-2	1,121	34,274	0,863	44,33	9,29	0	0,072	0,297	0,035	1,278	0,006	91,566
LR10C_Ms1-3	1,195	34,72	0,752	44,263	9,244	0	0,154	0,281	0,029	1,216	0,001	91,855
LR10C_Ms1-4	1,082	34,571	0,809	44,485	9,298	0	0,139	0,337	0,02	1,146	0	91,887
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	BaO(%)	TiO2(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)		
LR10E_Ms1 Line 001	1,065	34,641	0,876	46,76	9,342	0,115	0,313	1,384	0	94,496		
LR10E_Ms1 Line 002	0,94	34,194	0,811	45,116	8,969	0,199	0,297	1,645	-0,014	92,157		
LR10E_Ms1 Line 003	1,057	35,625	0,659	46,265	9,351	0,141	0,146	1,145	-0,008	94,381		
LR10E_Ms1 Line 004	1,166	35,221	0,695	46,133	9,359	0,198	0,237	1,166	0,02	94,195		
LR10E_Ms1 Line 005	1,007	35,44	0,76	46,332	9,41	0,198	0,293	1,209	0,018	94,667		
LR10E_Ms2 Line 001	1,201	36,035	0,544	46,163	9,395	0,143	0,258	1,075	0,009	94,823		
LR10E_Ms2 Line 002	1,114	35,641	0,641	46,536	9,424	0,213	0,297	1,089	0,013	94,968		
LR10E_Ms2 Line 003	1,114	34,741	0,666	45,324	8,999	0,158	0,31	1,233	0,027	92,572		
LR10E_Ms2 Line 004	1,1	34,824	0,839	46,533	9,355	0,218	0,319	1,466	0,001	94,655		
LR10E_Ms2 Line 005	0,968	34,914	0,725	46,464	9,418	0,19	0,306	1,634	-0,001	94,618		
LR10E_Ms3 Line 001	1,128	35,31	0,722	46,304	9,279	0,126	0,311	1,153	0,014	94,347		
LR10E_Ms3 Line 002	1,21	35,482	0,666	46,406	9,163	0,192	0,366	1,116	-0,009	94,592		
LR10E_Ms3 Line 003	1,126	35,041	0,923	46,485	9,415	0,143	0,258	1,259	0,03	94,68		
LR10E_Ms3 Line 004	1,119	34,63	0,801	45,837	9,092	0,192	0,204	1,193	-0,019	93,049		
LR10E_Ms3 Line 005	1,062	34,829	0,915	46,715	9,31	0,171	0,261	1,264	0,017	94,544		
LR10E_Ms4 Line 001	1,162	34,855	0,823	46,548	9,176	0,087	0,394	1,192	0,016	94,253		
LR10E_Ms4 Line 002	1,106	34,677	0,955	46,978	9,27	0,231	0,257	1,188	-0,004	94,658		
LR10E_Ms4 Line 003	1,093	34,813	0,957	46,917	9,428	0,154	0,241	1,232	0,005	94,84		
LR10E_Ms4 Line 004	1,091	34,626	0,953	46,887	9,422	0,188	0,255	1,335	0,01	94,767		
LR10E_Ms4 Line 005	1,019	34,771	0,906	46,656	9,242	0,252	0,251	1,272	0,004	94,373		
LR10E_Ms5 Line 001	1,263	36,192	0,519	46,248	9,348	0,175	0,244	1,138	-0,004	95,123		
LR10E_Ms5 Line 002	1,145	35,374	0,74	46,892	9,223	0,134	0,258	1,217	-0,03	94,953		
LR10E_Ms5 Line 003	1,107	35,6	0,666	46,371	9,298	0,113	0,259	1,087	-0,008	94,493		
LR10E_Ms5 Line 004	1,097	35,145	0,651	45,856	9,224	0,167	0,276	1,255	0,02	93,691		
LR10E_Ms5 Line 005	1,03	34,382	0,805	46,184	9,271	0,09	0,361	1,197	-0,009	93,311		
LR10E_Ms6 Line 001	1,087	35,445	0,728	46,139	9,377	0,288	0,305	1,247	-0,038	94,578		
LR10E_Ms6 Line 002	0,96	34,773	0,835	46,171	9,514	0,124	0,299	1,15	0,023	93,849		
LR10E_Ms6 Line 003	1,094	34,974	0,634	45,693	9,46	0,145	0,313	1,192	0,011	93,516		

Tabela 14: Análise química mineral da EPMA dos cristais de muscovita da amostra LR-44C

Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	BaO(%)	TiO2(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR44C_MS1 Line 001	0,887	34,881	0,783	46,638	9,515	0,1	0,508	0,99	0,018	94,32
LR44C_MS1 Line 002	0,98	35,305	0,682	46,412	9,513	0,124	0,486	0,876	-0,019	94,359
LR44C_MS1 Line 003	0,882	34,898	0,75	46,836	9,277	0,235	0,497	0,895	0	94,27
LR44C_MS1 Line 004	0,854	33,904	2,442	43,728	8,109	0,084	0,508	3,639	-0,004	93,264
LR44C_MS1 Line 005	0,869	33,911	0,796	46,063	9,271	0,19	0,557	0,984	0,001	92,642
LR44C_MS2 Line 001	0,967	34,709	0,853	46,461	9,469	0,147	0,509	1,139	0,008	94,262
LR44C_MS2 Line 002	0,795	34,219	1,436	45,169	8,812	0,13	0,504	1,893	-0,012	92,946
LR44C_MS2 Line 003	0,924	35,46	0,741	46,446	9,465	0,216	0,53	1,052	0,001	94,835
LR44C_MS3 Line 001	0,845	34,71	0,945	46,875	9,463	0,182	0,533	1,05	-0,019	94,584
LR44C_MS3 Line 002	0,968	35,187	0,643	45,722	8,937	0,111	0,458	1,001	0,017	93,044
LR44C_MS3 Line 003	0,922	34,508	0,879	46,475	9,423	0,105	0,507	1,048	-0,02	93,847
LR44C_MS3 Line 004	0,986	35,094	0,632	46,188	9,057	0,058	0,49	0,96	-0,009	93,456
LR44C_MS3 Line 005	0,945	34,868	0,896	46,5	9,511	0,229	0,529	1,063	-0,011	94,53
LR44C_MS4 Line 001	0,888	34,687	0,921	46,551	9,109	0,1	0,511	1,134	0,01	93,911
LR44C_MS4 Line 002	1,017	35,101	0,642	46,703	8,669	0,132	0,495	0,827	-0,007	93,579
LR44C_MS4 Line 003	0,908	34,632	0,859	46,297	9,491	0,154	0,526	0,993	-0,004	93,856
LR44C_MS4 Line 004	0,965	34,974	0,93	46,886	9,515	0,152	0,51	0,929	-0,008	94,853
LR44C_MS4 Line 005	0,962	34,632	0,834	46,305	9,451	0,111	0,533	0,989	0,045	93,862
LR44C_MS4 Line 006	0,936	35,927	0,607	45,822	9,499	0,173	0,412	0,855	0	94,231
LR44C_MS5 Line 001	1,073	35,45	0,666	46,159	9,424	0,135	0,422	1,203	0,006	94,538
LR44C_MS5 Line 002	0,974	35,516	0,646	46,091	9,504	0,143	0,441	1,031	-0,012	94,334
LR44C_MS5 Line 003	1,035	35,05	0,702	45,481	9,293	0,201	0,469	1,204	0,003	93,438
LR44C_MS5 Line 004	0,983	35,672	0,668	46,075	9,502	0,133	0,405	0,933	0,004	94,375
LR44C_MS5 Line 005	0,966	35,195	0,749	46,188	9,246	0,278	0,542	1,027	0,015	94,206
LR44C_MS5 Line 006	1,042	35,451	0,577	45,594	9,368	0,051	0,478	0,988	0,001	93,55
LR44C_MS6 Line 001	0,992	34,998	0,687	45,179	9,124	0,062	0,541	2,34	0,001	93,924
LR44C_MS6 Line 002	0,961	34,503	0,758	45,143	8,915	0,12	0,553	2,696	0,008	93,657
LR44C_MS6 Line 003	0,932	35,202	0,922	46,397	9,427	0,184	0,591	1,111	0,021	94,787
LR44C_MS6 Line 004	0,938	34,728	0,947	46,76	9,324	0,171	0,567	1,251	-0,001	94,685
LR44C_MS6 Line 005	0,886	34,184	0,949	46,872	9,356	0,205	0,554	1,107	0,017	94,13
LR44C_MS6 Line 006	0,865	33,785	1,141	45,663	8,992	0,144	0,528	1,78	0,02	92,918
LR44C_MS7 Line 001	0,91	34,785	0,983	46,689	9,502	0,178	0,532	1,09	-0,005	94,664
LR44C_MS7 Line 002	0,892	34,821	0,977	46,433	9,205	0,178	0,507	1,176	0,017	94,206
LR44C_MS7 Line 003	0,916	34,473	0,858	46,07	9,27	0,109	0,515	1,465	0,007	93,683
LR44C_MS7 Line 004	0,89	34,939	0,72	46,009	9,182	0,217	0,5	1,695	0,016	94,168
LR44C_MS7 Line 005	0,851	34,145	0,808	45,665	9,253	0,077	0,463	2,371	0,013	93,646
LR44C_MS7 Line 006	0,951	34,644	0,777	45,698	8,895	0,127	0,513	1,72	0,015	93,34
LR44C_MS8 Line 001	0,852	34,538	0,775	45,835	9,372	0,113	0,492	1,351	0,002	93,33
LR44C_MS8 Line 002	0,88	34,281	0,922	46,303	9,429	0,145	0,513	1,06	0,017	93,55
LR44C_MS8 Line 003	0,905	33,99	0,751	44,938	8,682	0,146	0,457	3,216	-0,007	93,078
LR44C_MS8 Line 004	1,005	35,289	0,706	46,035	9,358	0,195	0,517	0,933	0,009	94,047
LR44C_MS8 Line 005	1,029	35,409	0,662	45,853	8,904	0,137	0,503	1,016	-0,017	93,496
LR44C_MS8 Line 006	0,958	34,978	0,655	45,851	8,924	0,174	0,427	1,469	-0,004	93,432

Tabela 15: Análise química mineral da EPMA dos cristais de biotita das amostras LR-10C, LR-10E e LR-44A

Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR10C_Bt5-1	0.206	18.324	9.983	34.405	7.82	0	0.093	1.294	0.04	19.662	0.01	91.837
LR10C_Bt5-2	0.237	18.058	9.917	34.373	8.088	0	0	1.301	0.024	19.653	0.017	91.668
LR10C_Bt5-3	0.158	18.32	9.407	34.708	7.478	0	0.063	1.33	0.029	19.484	0.004	90.981
Comment	Na2O(Mass%)	Al2O3(Mass%)	MgO(Mass%)	SiO2(Mass%)	K2O(Mass%)	BaO(Mass%)	TiO2(Mass%)	Cr2O3(Mass%)	FeO(Mass%)	MnO(Mass%)	Total(Mass%)	
LR10E_Bt1 Line 001	0.183	18.173	9.041	36.213	7.281	0.047	1.476	0.017	20.464	0.009	92.904	
LR10E_Bt1 Line 002	0.175	18.298	9.398	36.38	7.632	0.053	1.414	0.006	20.08	0.004	93.44	
LR10E_Bt1 Line 003	0.177	18.289	9.122	36.346	7.401	0.025	1.41	0.019	20.223	0.018	93.03	
LR10E_Bt1 Line 004	0.133	18.086	8.836	36.261	7.48	0.031	1.396	0.009	20.762	0.004	92.998	
LR10E_Bt1 Line 005	0.15	17.936	8.62	35.8	7.073	0.074	1.457	0.008	20.988	0.013	92.119	
LR10E_Bt3 Line 001	0.22	18.564	9.525	36.023	7.396	0.1	1.524	0.003	19.866	-0.017	93.204	
LR10E_Bt3 Line 002	0.22	18.574	9.594	35.455	7.612	0.004	1.58	0.02	19.83	0.007	92.896	
LR10E_Bt3 Line 003	0.186	17.95	8.749	34.79	6.984	0.018	1.492	0.005	20.187	-0.014	90.347	
LR10E_Bt3 Line 004	1.055	34.768	0.923	46.966	9.544	0.098	0.478	0.031	1.42	-0.012	95.271	
LR10E_Bt3 Line 005	0.272	19.609	8.192	36.78	6.915	0.076	1.5	0.044	18.635	0.015	92.038	
LR10E_Bt4 Line 001	0.211	18.443	9.876	36.64	8.254	0.065	1.548	0.022	19.556	0.004	94.619	
LR10E_Bt4 Line 002	0.191	18.614	9.756	36.568	8.288	0.054	1.402	0.043	19.625	-0.004	94.537	
LR10E_Bt4 Line 003	0.248	18.672	9.894	36.598	8.298	0.007	1.373	0.027	19.641	0.037	94.795	
LR10E_Bt4 Line 004	0.261	18.753	9.619	36.306	7.943	0.064	1.376	0.016	19.681	-0.013	94.006	
LR10E_Bt4 Line 005	0.205	18.639	9.231	36.575	7.427	0.149	1.395	0.01	19.186	0.011	92.828	
LR10E_Bt5 Line 001	0.218	18.703	9.34	36.146	7.99	0.074	1.478	0.015	19.651	0.013	93.628	
LR10E_Bt5 Line 002	0.226	18.465	9.76	36.066	8.151	0.015	1.465	0.014	19.821	0.005	93.988	
LR10E_Bt5 Line 003	0.209	18.438	9.333	36.095	7.968	0.073	1.38	0.011	19.643	-0.012	93.138	
LR10E_Bt5 Line 004	0.173	18.234	9.411	35.268	7.052	0.085	1.45	0.026	20.662	0.019	92.38	
LR10E_Bt5 Line 005	0.232	18.573	9.369	36.32	7.713	0.044	1.416	0.012	19.912	-0.032	93.559	
LR10E_Bt6 Line 001	0.193	18.546	9.701	36.22	8.153	0.094	1.392	-0.01	19.614	0.024	93.927	
LR10E_Bt6 Line 002	0.2	18.388	9.873	35.942	8.263	0.047	1.402	0.002	19.646	0.011	93.774	
LR10E_Bt6 Line 003	0.174	18.58	9.768	35.678	7.355	-0.011	1.504	0.015	19.871	0.024	92.958	
LR10E_Bt6 Line 004	0.171	18.671	9.529	35.781	6.915	0.069	1.424	0.002	19.35	-0.001	91.911	
LR10E_Bt6 Line 005	0.235	18.542	9.951	36.049	8.134	0.094	1.477	0.023	19.165	0	93.67	
LR10E_Bt2 Line 001	0.137	17.924	9.078	36.073	7.245	0.103	1.633	0.025	20.046	-0.011	92.253	
LR10E_Bt2 Line 002	0.171	18.451	9.31	36.675	8.056	0.056	1.313	0.009	19.695	0.015	93.798	
LR10E_Bt2 Line 003	0.217	18.611	9.323	36.393	8.087	0.029	1.344	0.013	19.515	-0.006	93.526	
LR10E_Bt2 Line 004	0.191	18.731	9.548	36.348	7.917	0.058	1.337	0.021	19.795	0.017	93.963	
LR10E_Bt2 Line 005	0.202	18.509	9.206	36.051	7.614	0.013	1.349	0.012	19.653	-0.001	92.608	
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR44A_Bt1-1	0.127	17.555	8.134	32.548	8.303	0	0	1.617	0.009	20.513	0.02	88.826
LR44A_Bt1-2	0.209	18.463	8.45	33.586	8.514	0	0.022	1.537	0.017	20.787	0.025	91.61
LR44A_Bt2-1	0.169	18.291	8.432	33.1	8.714	0	0.049	1.65	0.004	22.219	0.035	92.663
LR44A_Bt2-2	0.218	18.484	8.381	33.522	8.688	0	0.06	1.633	0.019	21.521	0.003	92.529
LR44A_Bt2-3	0.178	18.528	8.366	33.4	8.738	0	0.108	1.642	0.014	21.923	0.011	92.908
LR44A_Bt3-1	0.157	18.206	9.036	32.729	7.912	0	0.087	1.449	0.01	22.302	0.03	91.918
LR44A_Bt3-2	0.162	18.277	8.706	33.55	8.619	0	0.19	1.51	0.006	21.345	0.055	92.42

Tabela 16: Análise química mineral da EPMA dos cristais de clorita das amostras LR-04, LR-10C e LR-10E

Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR4_Ch11-1	0.04	22.72	12.511	22.477	0.034	0.028	0	0.098	0.054	25.801	0.488	84.251
LR4_Ch11-2	0.032	22.632	12.291	22.438	0.027	0.03	0.026	0.046	0.051	26.118	0.487	84.178
LR4_Ch11-3	0.057	22.429	12.434	22.302	0.041	0.004	0	0.098	0.097	25.932	0.515	83.909
LR4_Ch11-4	0.004	22.15	10.924	22.382	0.018	0.02	0	0.106	0.073	27.591	0.53	83.798
LR4_Ch11-5	0.027	20.954	10.388	21.632	0.03	0.008	0	0.065	0.055	26.437	0.485	80.081
LR4_Ch12-1	0.028	22.691	11.723	22.403	0.01	0.015	0	0.047	0.084	26.759	0.498	84.258
LR4_Ch12-2	0.012	22.579	12.984	22.775	0.007	0	0	0.051	0.12	25.584	0.477	84.589
LR4_Ch12-3	0.02	22.202	13.546	23.128	0	0.018	0	0.064	0.056	24.96	0.453	84.447
LR4_Ch12-4	0.031	22.295	12.079	22.593	0.025	0.012	0.023	0.065	0.114	26.231	0.515	83.983
LR4_Ch12-5	0.013	22.432	12.38	22.538	0	0	0.026	0.06	0.055	26.107	0.48	84.091
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	CaO(%)	BaO(%)	TiO2(%)	Cr2O3(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)
LR10C_Ch1_1-1	0	22.433	13.804	22.647	0	0.037	0	0.048	0.038	25.481	0.021	84.509
LR10C_Ch1_1-2	0.01	22.292	14.093	23.417	0.014	0.022	0.002	0.069	0.016	24.794	0.038	84.767
LR10C_Ch1_2-1	0.002	22.563	14.524	23.125	0.011	0.039	0	0.077	0.036	24.363	0	84.74
LR10C_Ch1_2-2	0.021	22.57	14.376	23.133	0	0.009	0.037	0.056	0.059	24.441	0.021	84.723
LR10C_Ch1_2-3	0	22.414	14.291	23.231	0	0.033	0.066	0.061	0.031	24.61	0.038	84.775
LR10C_Ch1_2-4	0	22.537	13.826	23.029	0.001	0.012	0	0.067	0.038	24.841	0.021	84.372
LR10C_Ch1_2-5	0	22.426	14.152	22.886	0	0.021	0.055	0.07	0.042	24.947	0.011	84.61
LR10C_Ch1_3-1	0	22.295	13.701	22.918	0.025	0.016	0.005	0.045	0.01	25.401	0.01	84.426
LR10C_Ch1_3-2	0	22.374	13.962	22.887	0.002	0.017	0	0.055	0	25.362	0.035	84.694
LR10C_Ch1_3-3	0.015	22.285	14	22.872	0	0.02	0.055	0.052	0.008	25.521	0	84.828
Comment	Na2O(%)	Al2O3(%)	MgO(%)	SiO2(%)	K2O(%)	TiO2(%)	FeO(%)	MnO(%)	Total(%)			
LR10E_Ch11_1	0.035	22.502	14.767	24.826	0.026	0.072	24.653	0.008	86.889			
LR10E_Ch11_2	0.01	22.721	14.467	24.451	0.004	0.083	24.928	0.011	86.675			
LR10E_Ch11_3	0.05	22.349	14.593	24.495	-0.007	0.058	24.652	0.044	86.234			
LR10E_Ch11_4	0.011	22.594	14.106	24.469	0.092	0.065	25.058	0.01	86.405			
LR10E_Ch11_5	0.013	22.376	14.662	24.393	-0.01	0.047	24.79	0.006	86.277			
LR10E_Ch11_6	0.016	22.174	14.71	24.535	0.015	0.056	24.624	0.02	86.15			
LR10E_Ch11_7	0.114	20.058	11.937	30.637	4.346	0.926	21.912	0.018	89.948			
LR10E_Ch11_8	0.21	18.823	10.403	34.191	6.949	1.499	20.123	0	92.198			

Tabela 17: Análise química dos elementos traços no rutilo nos metapelitos das amostras LR-04, LR-05, LR-10 e LR-44C. Concentrações em ppm e BD= abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica. T Tomkins = Temperaturas calculadas com base na calibração de Tomkins, Powell e Ellis (2007) e índice de NbXCr Triebold = índice sugerido por Triebold, Eynatten e Zack (2012). As pressões utilizadas no cálculo de temperatura foram estimadas com base nos campos da pseudoseções.

Comment	Si	Al	Fe	Cr	Ta	Ti	Zr	Nb	P	T (°C)	Tomkins	Índice NbXCr Triebold
LR04_Rt1-1	108	191	9662	1478	BD	594936	44	1573	9	514		3886
LR04_Rt1-2	159	275	10649	1492	254	588725	89	11345	9	557		52736
LR04_Rt2	93	228	10097	1752	328	587502	104	12163	9	567		56565
LR04_Rt3	BD	90	12864	1444	180	587142	96	11646	9	563		54286
LR04_Rt4	136	254	11683	1512	532	580595	126	12904	9	581		60509
LR04_Rt5	215	619	8807	814	303	589462	148	5746	9	592		25416
LR04_Rt6	313	704	8986	705	115	595949	96	4516	9	563		19374
LR04_Rt7	276	365	9880	972	262	583011	126	6585	9	581		29453
LR04_Rt8	238	614	9678	958	BD	576729	89	7606	9	557		34570
LR04_Rt9A	640	783	5006	931	115	590499	96	4082	9	563		16981
LR04_Rt9B1	556	720	5363	937	16	584726	126	4271	9	581		17918
LR04_Rt9B2	603	736	5216	985	66	581435	111	4222	9	572		17626
LR04_Rt9C	266	714	9685	1019	82	585889	81	4530	9	552		19129
LR04_Rt9D	252	656	8714	931	98	581549	104	4292	9	567		18030
LR04_Rt9E	299	794	8550	978	BD	589882	111	4257	9	572		17807
LR04_Rt10	570	688	5612	855	115	580032	126	4949	9	581		21391
LR04_Rt11	89	212	6475	445	BD	600745	104	1482	9	567		4465
LR04_Rt12	477	593	5402	780	66	588971	126	4376	9	581		18600
LR04_Rt13	178	524	5519	855	57	590781	133	2922	9	585		11255
LR05_Rt1-1	192	418	8434	1505	57	590248	44	10723	9	514		49611
LR05_Rt1-2	206	429	5395	1266	BD	585284	22	3083	9			11648
LR05_Rt2	528	572	8636	1409	90	581237	81	10479	9	552		48484
LR05_Rt3	673	386	8892	1724	41	586609	67	11989	9	539		55718
LR05_Rt4	332	672	10727	1136	778	568455	52	14771	9	523		70218
LR05_Rt5	865	429	6895	1451	BD	582916	44	9780	9	514		44947
LR05_Rt6	252	656	5503	978	BD	597274	BD	BD	9			
LR05_Rt7	220	614	5348	BD	BD	590050	37	98	9	504		
LR05_Rt8	229	566	9079	828	106	576950	37	11408	9	504		53714
LR05_Rt9	187	572	5690	657	BD	591411	30	14	9			-3087
LR05_Rt10	271	175	7921	1273	8	592670	52	5564	9	523		24049
LR10C-Rt1	781	752	1803	48	16	592879	740	1063	11	733		2765
LR10C-Rt2	425	550	762	BD	16	599630	52	1713	11	531		
LR10C-Rt3	210	217	2293	62	66	599402	141	1510	11	597		4988
LR10C-Rt4	266	307	2371	21	131	598119	104	881	11	575		1883
LR10C-Rt5	491	683	948	21	33	596854	BD	1125	11			3107
LR10C-Rt6	365	376	1065	157	66	595877	118	1181	11	584		3250
LR10C-Rt7	486	471	1034	34	74	601219	296	1559	11	653		5260
LR10C-Rt8	1080	333	1516	130	139	597202	185	1084	11	617		2788
LR10C-Rt9-1	566	603	365	7	82	602717	104	1391	11	575		4449
LR10C-Rt9-2	224	302	653	BD	123	600769	229	601	11	633		
LR10C-Rt10	131	228	2130	7	106	598041	74	993	11	553		2456
LR10C-Rt11	1332	958	4081	89	139	589252	229	1174	11	633		3283
LR44C_Rt67_2	346	651	1547	27	8	592094	81	1091	15	575		2925
LR44C_Rt68-1	159	206	1119	62	BD	603898	BD	1342	15			4149
LR44C_Rt68-2	257	487	1422	89	BD	601063	BD	1797	15			6394
LR44C_Rt65-1	28	450	7758	554	1679	587706	192	12960	15	636		61747
LR44C_Rt65-2	14	413	7128	506	1032	592094	163	11583	15	623		54909
LR44C_4_Rt1_1	89	196	1158	62	BD	606021	15	762	15			1248
LR44C_4_Rt1_2	65	127	1998	41	25	605133	BD	426	15			-409
LR44C_4_Rt1_3	28	79	941	34	BD	604738	BD	510	15			17
LR44C_5_Rt1_1	84	318	1283	62	BD	602729	BD	643	15			654
LR44C_5_Rt1_2	51	106	1026	27	8	603131	BD	1070	15			2820
LR44C_6_Rt1_1	BD	69	715	21	57	606398	BD	419	15			-423
LR44C_6_Rt1_2	BD	58	490	14	25	606135	BD	482	15			-102
LR44C_6_Rt1_3	BD	64	575	55	8	606123	BD	615	15			521
LR44C_7_Rt1_1	28	111	5099	335	BD	600319	185	3230	15	633		13313
LR44C_7_Rt1_2	804	984	5426	287	BD	576950	148	2321	15	616		8817
LR44C_7_Rt2_1	70	228	8955	643	786	590044	192	9863	15	636		46174
LR44C_7B_Rt1_1	28	238	6654	561	647	580254	192	7494	15	636		34408
LR44C_7B_Rt1_2	19	222	6452	547	197	585991	170	7361	15	627		33757
LR44C_8_Rt1_1	19	233	6459	554	213	582802	178	7361	15	630		33750
LR44C_3_Rt1_1	28	48	466	41	57	600907	BD	1685	15			5882
LR44C_3_Rt1_2	23	32	513	7	82	601998	BD	1251	15			3750

Tabela 18: Análise química dos elementos traços no rutilo nos dos quartzito do norte e centro-norte da *Nappe* de Luminárias. Concentrações em ppm e BD= abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica. \* Temperaturas calculadas com base na calibração de (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007). As pressões utilizadas no cálculo de temperatura foram estimadas com base nas pseudoseções.

Comment	Si	Al	Cr	V	Sb	Sn	W	Ta	Hf	Fe	Ti	Nb	Zr	P (kbar) estimada	T(°C) (Tomkins et al 2007)	Indice NbxCr (Triebold et al 2012)
LR52a_Rt1c	131	95	BD	BD	BD	BD	639	BD	BD	4384	706898	4418	BD	10		19559
LR52a_Rt1r	33	69	BD	567	BD	BD	401	BD	BD	4172	687317	4362	72	10	563	19304
LR52a_Rt2c	61	53	74	BD	BD	BD	BD	BD	BD	2815	708971	930	210	10	638	2075
LR52a_Rt2r	70	26	80	95	BD	BD	BD	BD	BD	3299	706357	1720	BD	10		6018
LR52a_Rt3a	715	64	92	181	BD	BD	BD	BD	BD	3460	707897	2677	354	10	681	10794
LR52a_Rt3b	61	58	86	BD	BD	BD	BD	BD	BD	2892	706402	1999	522	10	714	7410
LR52a_Rt4	BD	37	86	307	BD	BD	BD	BD	BD	2849	734659	1671	132	10	604	5768
LR52a_Rt5	79	53	BD	BD	BD	BD	213	BD	BD	3222	733393	2188	222	10	643	8397
LR52a_Rt6a	BD	48	123	221	BD	BD	647	BD	BD	4884	735214	5795	BD	10		26352
LR52a_Rt6b	BD	42	117	BD	BD	117	BD	BD	BD	3943	723621	4390	BD	10		19333
LR52a_Rt7	337	48	203	473	BD	BD	713	202	BD	6216	726819	7759	BD	10		36094
LR52a_Rt8	89	42	135	BD	BD	BD	BD	163	BD	5351	727537	6033	BD	10		27528
LR52a_Rt9	159	127	154	197	BD	BD	BD	BD	BD	2535	726864	909	102	10	586	1890
LR52a_Rt10	323	26	92	102	BD	BD	BD	BD	BD	4927	730136	5634	BD	10		25579
LR22-Rt1	561	106	104	BD	BD	BD	BD	373	BD	4138	714160	6075	72	10	563	27769
LR22-Rt2	224	101	104	BD	BD	BD	BD	BD	BD	4147	689279	5984	BD	10		27314
LR22-Rt3	BD	53	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	3138	740204	2705	90	10	578	10965
LR22-Rt4	533	85	381	BD	BD	200	418	326	BD	4486	734407	4173	468	10	705	17986
LR22-Rt5	BD	53	983	BD	BD	BD	BD	BD	BD	3324	739197	1139	791	10	754	2214
LR22-Rt6	BD	116	1695	BD	BD	934	311	BD	BD	3282	736369	4593	132	10	604	18768
LR22-Rt7	BD	196	BD	BD	BD	117	418	832	BD	7403	726501	11003	BD	10		52490
LR22-Rt8	BD	79	633	BD	BD	217	385	513	BD	4435	730935	4110	516	10	713	17419
LR22-Rt9	BD	42	694	BD	BD	BD	BD	BD	BD	2747	742773	1160	174	10	624	2608
LR22-Rt10	BD	132	276	BD	BD	142	213	BD	BD	3553	739064	2733	234	10	647	10890
LR22-Rt11	BD	42	645	BD	BD	BD	BD	BD	BD	2815	719512	580	138	10	607	-244
LR22-Rt12	BD	53	1118	803	BD	217	BD	BD	BD	1764	719631	755	114	10	594	157
LR22-Rt13	BD	74	252	BD	BD	158	BD	801	BD	5368	723739	5634	288	10	663	25419
LR22-Rt14	BD	111	BD	BD	BD	BD	BD	264	BD	4011	725812	4033	90	10	578	17612
LR22-Rt15	BD	132	473	BD	BD	367	2138	637	BD	8039	720304	9213	534	10	717	43094
LR22-Rt16	BD	111	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	2663	717862	126	BD	10		-1914
LR22-Rt17	BD	206	817	417	BD	217	1310	1080	BD	6012	716773	8500	390	10	689	39185
LR30_Rt1	323	148	835	929	BD	BD	827	1360	BD	BD	720245	11639	180	10	627	54860
LR30_Rt2	BD	48	98	457	BD	BD	663	BD	BD	3341	732971	63	BD	10		-2284
LR30_Rt3	BD	85	424	772	BD	BD	BD	BD	BD	4952	730802	4614	600	10	727	20145
LR30_Rt4	879	BD	393	1229	BD	BD	BD	BD	BD	3375	719986	566	390	10	689	-62
LR30_Rt5	BD	74	1161	1512	BD	BD	BD	148	BD	3646	725235	4019	1457	10	817	16437
LR30_Rt6	BD	79	215	1142	BD	392	BD	529	BD	5520	719268	5760	234	10	647	26085
LR30_Rt7	BD	42	504	2040	BD	BD	1212	BD	BD	4995	705965	4712	102	10	586	20554
LR30_Rt8	BD	153	510	740	BD	BD	1007	808	BD	7564	717795	10241	108	10	590	48195
LR30_Rt9	BD	58	608	236	BD	BD	663	BD	BD	3986	732046	3516	114	10	594	14473
LR30_Rt10c	BD	37	633	670	BD	BD	360	BD	BD	3290	740478	1440	96	10	582	4067
LR30_Rt10r	BD	48	633	654	BD	BD	442	BD	BD	3502	736443	1964	84	10	573	6689



Tabela 19: Análise química dos elementos traços no rutilo nos dos quartzito do centro da *Nappe* de Luminárias. Concentrações em ppm e BD= abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica. \* Temperaturas calculadas com base na calibração de (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007). As pressões utilizadas no cálculo de temperatura foram estimadas com base nas pseudoções.

Comment	Si	Al	Cr	V	Sb	Sn	W	Ta	Hf	Fe	Ti	Nb	Zr	P (kbar) estimada	T (°C) (Tomkins et al 2007)	Índice Nb:Cr (Triebold et al 2012)
LR33B2_1_Rt5	BD	BD	86	2568	BD	BD	BD	BD	BD	4910	717351	741	96	12	582	1119
LR33B2_1_Rt1	28	BD	129	3434	BD	BD	BD	BD	BD	5995	725235	944	90	12	578	2090
LR33B2_1_Rt2	BD	BD	111	3552	BD	BD	BD	BD	BD	5020	720430	965	120	12	597	2213
LR33B2_1_Rt3	BD	37	442	2836	BD	BD	BD	BD	BD	5758	726893	1132	126	12	601	2720
LR33B2_1_Rt4	BD	BD	141	3245	BD	BD	BD	BD	BD	5020	728189	1028	138	12	607	2497
LR33B2_1_Rt6	BD	BD	160	2733	BD	BD	BD	BD	BD	5453	718765	1014	120	12	597	2408
LR33B2_1_Rt7	47	BD	166	2505	BD	BD	BD	BD	BD	4918	722340	783	102	12	586	1249
LR33B2_1_Rt_xtra_1	BD	42	190	2064	219	BD	BD	BD	BD	38617	702508	888	BD	12		1749
LR33B2_1_Rt_xtra_2	BD	32	123	3379	BD	BD	BD	BD	BD	5385	721437	895	96	12	582	1851
LR33B2_1_Rt_xtra_3	365	BD	135	2662	BD	BD	BD	BD	BD	4944	725761	804	96	12	582	1384
LR33B2_1_Rt_xtra_4	56	BD	172	3080	BD	BD	BD	BD	BD	5283	728766	804	72	12	563	1348
LR33B2_1_Rt_xtra_5	BD	48	147	2245	BD	BD	BD	BD	BD	148159	589183	BD	BD	12		-2647
LR33B2_1_Rt_xtra_6	BD	BD	135	2930	BD	BD	BD	BD	BD	4181	725686	1042	138	12	607	2573
LR33B2_1_Rt_xtra_7	337	37	129	3190	BD	BD	BD	BD	BD	5291	721015	951	108	12	590	2124
LR33B2_1_Rt_xtra_8	BD	26	129	3127	BD	BD	BD	BD	BD	6852	732756	706	90	12	578	901
LR33B2_1_Rt_xtra_9	365	BD	129	2725	BD	BD	BD	BD	BD	5478	722666	986	144	12	610	2299
LR39-Rt1	BD	111	289	1000	BD	BD	BD	BD	BD	2629	738375	2272	204	12	636	8571
LR39-Rt2	916	BD	BD	BD	198	BD	BD	155	BD	5486	724428	1195	102	12	586	3434
LR39-Rt3	BD	BD	141	BD	274	BD	172	280	BD	5003	738116	2412	120	12	597	9417
LR39-Rt4	BD	BD	BD	BD	239	BD	BD	BD	BD	5571	738738	1685	96	12	582	5911
LR39-Rt5	BD	BD	86	BD	BD	BD	BD	BD	BD	4732	736339	1279	96	12	582	3810
LR39-Rt6	BD	BD	141	BD	BD	BD	238	BD	BD	4571	735118	1188	114	12	594	3301
LR39-Rt7a	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	280	BD	6038	732394	2279	84	12	573	8845
LR39-Rt7b	BD	BD	80	BD	BD	BD	BD	218	BD	5826	726982	2223	102	12	586	8535
LR39-Rt8	BD	BD	301	102	356	BD	336	BD	BD	6436	731883	3880	102	12	586	16597
LR39-Rt9	BD	BD	178	BD	144	BD	262	BD	BD	5453	733756	1580	96	12	582	5221
LR39-Rt10	BD	BD	270	BD	390	BD	262	BD	BD	6657	728411	3306	90	12	578	13762

Tabela 20: Análise química dos elementos traços no rutilo nos dos quartzito do sul da *Nappe* de Luminárias. Concentrações em ppm e BD= abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica. \* Temperaturas calculadas com base na calibração de (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007). As pressões utilizadas no cálculo de temperatura foram estimadas com base nas pseudoções.

Comment	Si	Al	Cr	V	Sb	Sn	W	Ta	Hf	Fe	Ti	Nb	Zr	P (kbar) estimada	T (°C) (Tomkins et al 2007)	Índice NbxCr (Triebold et al 2012)
LR45_Rt1	BD	90	547	1827	BD	258	205	BD	BD	1747	732527	2328	90	15	585	8592
LR45_Rt2	BD	116	399	1725	BD	BD	BD	179	BD	1976	718861	3139	156	15	624	12794
LR45_Rt3c	BD	74	614	1977	BD	183	BD	BD	BD	1552	730558	1223	108	15	598	3002
LR45_Rt3r	BD	58	682	1276	BD	200	BD	BD	BD	1662	740241	1174	120	15	605	2690
LR45_Rt4	BD	185	295	1213	BD	BD	BD	288	BD	2400	733171	3097	198	15	642	12689
LR45_Rt5	BD	153	700	1465	BD	BD	BD	210	BD	2001	728714	3244	126	15	609	13018
LR45_Rt6	BD	138	362	977	BD	117	BD	BD	BD	1976	729299	2013	198	15	642	7204
LR45_Rt7	BD	111	577	2040	BD	200	BD	BD	BD	1518	734555	1314	90	15	585	3494
LR45_Rt8	318	159	633	496	BD	BD	BD	BD	BD	2485	737250	2195	BD	15	585	7842
LR45_Rt9	BD	42	1818	1000	BD	575	BD	BD	BD	1687	739678	1615	168	15	630	3756
LR45_Rt10c	332	95	375	1638	BD	BD	BD	BD	BD	2323	734800	3055	192	15	640	12399
LR45_Rt11c	355	95	1327	158	BD	242	BD	BD	BD	1340	742129	678	BD	15	585	-436
LR45_Rt11c	BD	58	1069	228	BD	117	BD	BD	BD	1026	736976	1021	90	15	585	1534
LR45_Rt12	BD	37	2426	BD	BD	158	BD	BD	BD	1060	731409	384	BD	15	585	-3004
LR46_1_Rt1_1	BD	32	362	2631	828	BD	197	140	BD	8073	725664	5466	108	15	598	24470
LR46_1_Rt1_2	BD	BD	350	2552	691	BD	188	BD	BD	7674	729144	4418	102	15	594	19240
LR46_1_Rt1_3	566	32	362	2457	753	BD	BD	132	BD	7657	729625	4921	132	15	612	21744
LR46_1_Rt2_1	BD	32	92	2127	417	BD	BD	BD	BD	5970	734911	1622	150	15	621	5517
LR46_1_Rt2_2	BD	26	98	2765	452	BD	BD	BD	BD	5546	736443	1615	126	15	609	5476
LR46_1_Rt2_3	556	BD	92	2198	506	BD	188	BD	BD	5537	738486	2230	150	15	621	8558
LR46_1_Rt3_1	BD	26	240	2205	520	BD	1097	1663	BD	10235	720134	7815	156	15	624	36337
LR46_1_Rt3_2	BD	32	197	2190	499	BD	1540	1586	BD	10600	719875	7997	144	15	618	37289
LR46_1_Rt3_3	BD	32	221	2174	541	BD	1343	1492	BD	10159	722333	7613	114	15	602	35342
LR46_Rt2_1	BD	32	BD	2410	561	BD	BD	187	BD	7250	740648	3712	174	15	632	16035
LR46_Rt2_2	BD	BD	BD	2127	568	BD	147	BD	BD	8997	742854	2300	162	15	627	8975
LR46_Rt2_3	346	BD	BD	2615	445	BD	BD	BD	BD	6122	744764	2426	198	15	642	9616
LR46_3_Rt1	BD	BD	BD	2292	445	BD	BD	BD	BD	5461	734267	2831	156	15	624	11649
LR46_3_Rt2	BD	26	BD	2363	458	BD	BD	163	BD	6682	738531	3733	174	15	632	16140
LR46_3_Rt3	BD	BD	295	2473	691	BD	262	BD	BD	5698	742972	3020	144	15	618	12304
LR46_7_Rt1	BD	32	BD	2497	424	BD	BD	148	BD	5834	744512	2558	174	15	632	10292
LR46_7_Rt2	BD	BD	BD	2631	575	BD	147	163	BD	6199	743890	2628	168	15	630	10617
LR46_7_Rt3	BD	BD	178	1914	705	BD	197	179	BD	5860	745075	2545	150	15	621	10044
LR46_7_Rt4	561	BD	639	2599	274	BD	BD	BD	BD	4783	750176	BD	BD	15	624	-3104
LR46_7_Rt5	BD	BD	BD	2623	431	BD	BD	257	BD	6563	742676	3076	180	15	635	12830
LR46_7_Rt6	BD	BD	233	2560	493	BD	BD	BD	BD	6038	745948	1776	156	15	624	6144
LR46_5_Rt4_core	BD	BD	123	2292	472	BD	262	BD	BD	6691	735096	4110	126	15	609	17929
LR46_5_Rt4_rim	51	BD	92	2040	773	BD	188	BD	BD	5860	738198	1894	144	15	618	6880
LR46_5_Rt5_core	BD	26	104	2221	411	BD	311	BD	BD	6445	738338	3579	138	15	615	15291
LR46_5_Rt5_rim	BD	BD	117	1772	479	BD	377	140	BD	6767	739597	2999	144	15	618	12378
LR46_5_Rt_xtra_1	BD	BD	160	1394	465	BD	221	BD	BD	11778	722962	2628	126	15	601	10482
LR46_5_Rt_xtra_2	BD	BD	276	1875	465	BD	221	280	BD	6479	738434	4698	144	15	610	20711
LR46_5_Rt_xtra_3	6399	BD	233	1693	643	BD	BD	BD	BD	6139	735606	3509	156	15	616	14813
LR46_5_Rt_xtra_4	BD	37	147	1804	493	BD	6413	303	BD	11465	720349	5439	174	15	624	24545
LR46_5_Rt_xtra_5	152577	439	BD	181	BD	BD	311	BD	11681	2544	111	BD	390371	15	624	-2500
LR46_5_Rt_xtra_6	BD	BD	74	2079	431	BD	BD	BD	BD	4935	732727	2132	174	15	624	8087
LR46_5_Rt_xtra_7	BD	BD	BD	2371	582	BD	BD	218	BD	6156	741203	2195	162	15	619	8450

Tabela 21: Análise química dos elementos traços no rutilo nos dos quartzito da região de São Tomé das Letras. Concentrações em ppm e BD= abaixo do limite de detecção da microsonda eletrônica. \* Temperaturas calculadas com base na calibração de (TOMKINS; POWELL; ELLIS, 2007). As pressões utilizadas no cálculo de temperatura foram estimadas com base nas pseudoseções.

Comment	Si	Al	Cr	V	Sb	Sn	W	Ta	Hf	Fe	Ti	Nb	Zr	P (kbar) estimada	T (°C) (Tomkins et al 2007)	Índice NbxCr (Triebold et al 2012)
LR62_Rt1	BD	BD	590	1709	BD	BD	BD	BD	BD	2273	720045	266	264	14	656	-1761
LR62_Rt2	BD	BD	737	1181	BD	BD	BD	BD	BD	2493	720986	280	324	14	673	-1839
LR62_Rt3	BD	BD	989	1512	BD	BD	BD	BD	BD	2408	700072	343	348	14	679	-1776
LR62_Rt4	BD	BD	614	307	BD	BD	BD	BD	BD	2832	729351	419	318	14	672	-1017
LR62_Rt5	BD	BD	915	1174	BD	BD	BD	BD	BD	2171	730195	301	384	14	687	-1912
LR62_Rt6	BD	BD	958	1662	BD	BD	BD	BD	BD	2366	725013	294	390	14	689	-1990
LR62_Rt7	BD	BD	1106	2292	BD	BD	BD	BD	BD	1891	731476	280	348	14	679	-2207
LR62_Rt8a	341	BD	688	BD	BD	BD	11638	BD	BD	12864	703418	1755	138	14	607	5585
LR62_Rt8b	337	BD	633	BD	123	BD	2580	272	BD	BD	707808	8983	108	14	590	41781
LR62_Rt9	BD	BD	841	764	BD	BD	BD	BD	BD	2535	728862	398	354	14	681	-1349
LR62_Rt10	BD	BD	731	1118	BD	BD	BD	BD	BD	2205	728640	350	306	14	668	-1483
LR67_Rt1	BD	26	995	1134	BD	BD	BD	BD	BD	2374	715270	245	264	14	656	-2272
LR67_Rt2	BD	BD	762	473	BD	BD	BD	BD	BD	2349	708682	252	300	14	667	-2003
LR67_Rt3	BD	BD	712	654	BD	BD	BD	BD	BD	2561	720312	294	282	14	662	-1744
LR67_Rt4	BD	32	596	1048	BD	BD	BD	BD	BD	2010	710148	161	198	14	634	-2292
LR67_Rt5c	BD	BD	798	1473	BD	BD	BD	BD	BD	2323	686702	238	216	14	641	-2110
LR67_Rt5r	BD	BD	854	922	BD	BD	BD	BD	BD	2145	719994	273	234	14	647	-1991
LR67_Rt6	BD	BD	1228	1126	BD	BD	BD	BD	BD	2561	722037	322	240	14	649	-2121
LR67_Rt7c	BD	BD	848	1772	BD	BD	BD	BD	BD	1899	724176	273	306	14	668	-1984
LR67_Rt7r	BD	BD	860	1709	BD	BD	BD	BD	BD	1713	722644	294	348	14	679	-1892
LR67_Rt8	BD	BD	854	2032	BD	BD	BD	BD	BD	2256	709296	280	210	14	638	-1956
LR67_Rt9c	BD	26	774	1016	BD	BD	BD	BD	BD	2290	724435	252	294	14	665	-2016
LR67_Rt9r	BD	BD	768	1063	BD	BD	BD	BD	BD	2290	724376	280	288	14	663	-1870
LR67_Rt10	BD	BD	676	1197	BD	BD	BD	BD	BD	2942	721556	259	228	14	645	-1882

# APÊNDICE D – Scripts do THERMOCALC

## D.1 *Script* da pseudosseção da amostra LR-10C no sistema KFMASHTO

```
axfile 6KFMASHTO
setexcess q mu H2O
which no
omit
setdefTwindow 450.001 700.001
setdefPwindow 4 18
seta no
setmu no
setiso no
usecalcq no
calcg no
dogmin no
calctatp ask
project no
pseudo yes
calcah2o no
calcsdnle no
printbulkinfo yes
ptguess 12.5 656
xyzguess x(g) 0.759806
xyzguess f(g) 0.0133125
xyzguess x(mu) 0.376450
xyzguess y(mu) 0.849802
xyzguess f(mu) 0.00917080
xyzguess x(st) 0.660528
xyzguess f(st) 0.0539913
xyzguess t(st) 0.0700992
pseudosection yes
% SiO2 Al2O3 MgO FeO K2O TiO2 O2
setbulk yes 61.04 20.01 3.81 9.25 4.95 0.82 0.11
project no
```

```
setmodeiso yes
zeromodeiso yes
infolevel 1
c8 no
incax yes
incthermo no
incnler no
smath no
tabsmath no
xinsmath no
drawpd yes
cmath yes
% starting guess-related
printxyz yes
samecoding
```

## D.2 *Script* da pseudosseção da amostra LR-44C no sistema KF-MASHTO

```
axfile 6KFMASHTO

setexcess q mu H2O
which no
omit
setdefTwindow 450.001 700.001
setdefPwindow 4 18
seta no
setmu no
setiso no
usecalcq no
calcg no
dogmin no
calctatp ask
project no
pseudo yes
calcah2o no
calcsdnle no
```

```
printbulkinfo yes
ptguess 16.0 560
xyzguess x(g) 0.893331
xyzguess f(g) 0.0345519
xyzguess x(mu) 0.510080
xyzguess y(mu) 0.788585
xyzguess f(mu) 0.0270689
xyzguess x(ctd) 0.849250
xyzguess f(ctd) 0.0140781
pseudosection yes
% SiO2 Al2O3 MgO FeO K2O TiO2 O2
setbulk yes 71.21 15.24 1.75 7.12 3.11 1.11 0.11
project no
setmodeiso yes
zeromodeiso yes
infolevel 1
c8 no
incax yes
incthermo no
incnler no
smath no
tabsmath no
xinsmath no
drawpd yes
cmath yes
printxyz yes
samecoding
```