



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE  
GEOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E  
GEOQUÍMICA DOS PEGMATITOS DA  
PEDERNEIRA NA REGIÃO DE SANTA  
MARIA DO SUAÇUÍ, MINAS GERAIS**

**AUTOR : CLÁUDIO JOSÉ MARQUES DE SOUZA**

**ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. JOEL JEAN GABRIEL QUÉMÉNEUR**

**CO-ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. JOSÉ MARQUES CORREIA NEVES**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE  
GEOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E  
GEOQUÍMICA DOS PEGMATITOS DA  
PEDERNEIRA NA REGIÃO DE SANTA  
MARIA DO SUAÇUÍ, MINAS GERAIS**

**AUTOR : CLÁUDIO JOSÉ MARQUES DE SOUZA**

**ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. JOEL JEAN GABRIEL QUÉMÉNEUR**

**CO-ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. JOSÉ MARQUES CORREIA NEVES**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:  
GEOLOGIA ECONÔMICA**

---

---

**BELO HORIZONTE - MINAS GERAIS  
20/SETEMBRO/1999**

### Ficha Catalográfica

Marques de Souza, Cláudio José

Caracterização Mineralógica e Geoquímica dos Pegmatitos da Pederneira na Região de Santa Maria do Suaçuí, Minas Gerais / Cláudio José Marques de Souza. Belo Horizonte: UFMG-IGC/ CPRM, 1999.

XXIII; 272 p.: mapas e 07 anexos (Dissertação de mestrado).

1. Mineralogia 2. Geoquímica I. Título.

CDU. 550.4

## **Dedicatória**

*Aos meus pais,  
Francisco e Beatrix,  
Dedico este trabalho  
Com saudosa lembrança.*



# SUMÁRIO

---

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxii</b>
<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 - ASPECTOS GERAIS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. HISTÓRICO</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. ASPECTO SÓCIO-ECONÔMICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4. OBJETIVO</b> .....	<b>8</b>
<b>Capítulo 3 – METODOLOGIA</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. TÉCNICAS ANALÍTICAS</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. MICROSSONDA ELETRÔNICA</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X</b> .....	<b>11</b>
<b>3.4. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X</b> .....	<b>11</b>
<b>3.5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO         INFRA-VERMELHO</b> .....	<b>12</b>

<b>Capítulo 4 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</b> .....	<b>13</b>
<b>4.1. CLIMA</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2. VEGETAÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3. HIDROGRAFIA</b> .....	<b>14</b>
<b>4.4. SOLO</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo 5 - GEOMORFOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
<b>Capítulo 6 - GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	<b>20</b>
<b>6.1. ASPECTO GEOTECTÔNICO</b> .....	<b>20</b>
<b>6.2. GEOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
<b>6.2.1. Litoestratigrafia</b> .....	<b>25</b>
<b>6.2.1.1. Complexo Basal</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2.1.2. Complexo Mantiqueira</b> .....	<b>30</b>
<b>6.2.1.3. Granito Jenipapo</b> .....	<b>31</b>
<b>6.2.1.4. Grupo Rio Doce</b> .....	<b>32</b>
<b>6.2.1.4.1. Formação São Tomé</b> .....	<b>32</b>
<b>6.2.1.5. Granito Brasilândia</b> .....	<b>35</b>
<b>6.2.1.6. Granito Santa Rosa</b> .....	<b>35</b>
<b>6.2.1.7. Rocha Básica Não Deformada</b> .....	<b>36</b>
<b>6.2.1.8. Coberturas Superficiais</b> .....	<b>36</b>
<b>Capítulo 7 - GEOLOGIA ESTRUTURAL</b> .....	<b>38</b>
<b>7.1. FASE DE DEFORMAÇÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>7.2. DOBRAS</b> .....	<b>40</b>
<b>7.3. FALHAS</b> .....	<b>41</b>

<b>Capítulo 8 - PEGMATITOS</b> .....	<b>42</b>
<b>8.1. GENERALIDADE</b> .....	<b>42</b>
<b>8.2. GEODOS</b> .....	<b>43</b>
<b>8.3. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA</b> .....	<b>44</b>
<b>8.4. ESTRUTURA PEGMATÍTICA E ZONEAMENTO</b> .....	<b>45</b>
<b>8.5. GÊNESE DOS PEGMATITOS</b> .....	<b>49</b>
<b>8.5.1. Origem Anatética</b> .....	<b>50</b>
<b>8.5.2. Origem por Fusão Magmática Residual</b> .....	<b>50</b>
<b>8.5.2.1. Morfologia e Gênese do Zoneamento Pegmatítico Primário</b> .....	<b>52</b>
<b>8.6. CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS</b> .....	<b>54</b>
<b>8.6.1. Classificação Baseada na Mineralogia e Estrutura Interna (Fersman-Cameron et al.)</b> .....	<b>54</b>
<b>8.6.2. Classificação Baseada na Composição Mineralógica Global (Landes)</b> .....	<b>55</b>
<b>8.6.3. Classificação Baseada na Relação de Distância com a Rocha Fonte (Gevers)</b> .....	<b>55</b>
<b>8.6.4. Classificação Baseada na Petrogênese e Geoquímica (Ginsburg et al.)</b> .....	<b>56</b>
<b>8.6.5. Classificação Baseada na Profundidade da Crosta (Ginsburg et al.)</b> .....	<b>59</b>
<b>8.6.6. Classificação Baseada na Mineralogia e Geoquímica (Solodov)</b> .....	<b>60</b>
<b>8.6.7. Classificação Baseada na Petrogênese e Geoquímica (Rudenko et al.)</b> .....	<b>60</b>
<b>8.6.8. Classificação Baseada em Critério de Elementos Raros (Černý)</b> .....	<b>61</b>

<b>Capítulo 9 - PROVÍNCIAS PEGMATÍTICAS BRASILEIRAS .....</b>	<b>63</b>
<b>9.1. PEGMATITOS DA PROVÍNCIA DO NORDESTE .....</b>	<b>64</b>
<b>9.2. PEGMATITOS DA PROVÍNCIA ORIENTAL .....</b>	<b>66</b>
<b>9.2.1. Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro .....</b>	<b>72</b>
<b>9.2.1.1. Lavra do Cruzeiro .....</b>	<b>76</b>
<b>9.2.1.2. Lavra da Aricanga .....</b>	<b>78</b>
<b>9.2.1.3. Lavra do Lava-Pés .....</b>	<b>79</b>
<b>9.2.1.4. Lavra do Marcelo I .....</b>	<b>79</b>
<b>9.2.1.5. Lavra do Benedito .....</b>	<b>80</b>
<b>9.2.1.6. Lavra do Colônia .....</b>	<b>81</b>
<b>9.2.1.7. Lavra do Chiar .....</b>	<b>82</b>
<b>9.2.1.8. Lavra da Safirinha .....</b>	<b>83</b>
<b>9.2.1.9. Lavra da Terra Branca .....</b>	<b>83</b>
<b>Capítulo 10 – GEOLOGIA DA ÁREA DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA .....</b>	<b>84</b>
<b>10.1. ROCHA ENCAIXANTE .....</b>	<b>84</b>
<b>10.2. PEGMATITOS DA PEDERNEIRA .....</b>	<b>86</b>
<b>10.2.1. Amostragem das Galerias .....</b>	<b>86</b>
<b>10.2.2. Pegmatito da Pederneira I .....</b>	<b>87</b>
<b>10.2.2.1. Considerações sobre a Mina .....</b>	<b>91</b>
<b>10.2.3. Galeria do Venâncio .....</b>	<b>93</b>
<b>10.2.4. Pegmatito da Pederneira II .....</b>	<b>101</b>
<b>10.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA .....</b>	<b>102</b>
<b>Capítulo 11 - MINERALOGIA .....</b>	<b>108</b>
<b>11.1. FELDSPATOS .....</b>	<b>108</b>

11.1.1. Feldspato Potássico .....	108
11.1.2. Albita .....	109
11.1.3. Composição e Estrutura dos Feldspatos .....	109
11.1.4. Ocorrência de Feldspatos na Pederneira .....	112
11.1.5. Dados de Difração de Raios X e Espectroscopia de Absorção de Raios X no Infravermelho .....	114
11.2. GRUPO DAS MICAS .....	119
11.2.1. Composição e Estrutura das Micas .....	119
11.2.2. Politipos .....	122
11.2.3. Ocorrência de Micas na Pederneira .....	123
11.2.4. Dados de Difração de Raios X e Espectroscopia de Absorção de Raios X no Infravermelho .....	124
11.3. QUARTZO .....	127
11.3.1. Composição e Estrutura do Quartzo .....	128
11.3.2. Ocorrência de Quartzo na Pederneira .....	128
11.4. TURMALINA .....	129
11.4.1. Composição e Estrutura da Turmalina .....	130
11.4.2. Ocorrência de Turmalina na Pederneira .....	132
11.4.3. Dados de Difração de Raios X e Espectroscopia de Absorção de Raios X no Infravermelho .....	132
11.5. BERILO .....	136
11.5.1. Composição e Estrutura do Berilo .....	136
11.5.2. Ocorrência de Berilo na Pederneira .....	138
11.5.3. Dados de Difração de Raios X e Espectroscopia de Absorção de Raios X no Infravermelho .....	139
11.6. GRANADA .....	141

11.6.1. Composição e Estrutura da Granada .....	141
11.6.2. Ocorrência de Granada na Pederneira .....	142
11.6.3. Dados de Difração de Raios X e Espectroscopia de Absorção de Raios X no Infravermelho .....	142
<b>Capítulo 12 - GEOQUÍMICA .....</b>	<b>145</b>
12.1. GÊNESE DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA .....	157
<b>Capítulo 13 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>160</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>164</b>
<b>ANEXO I – Características e Principais Minerais do Campo         Pegmatítico Serra do Cruzeiro (Tabelas 5a e 5b) .....</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO II – Características das Amostras (Tabelas 7 a 11) .....</b>	<b>187</b>
<b>ANEXO III – Difração de Raios X (Tabelas 12 a 17) .....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO IV – Espectroscopia de Absorção de Raios X no         Infravermelho (Tabelas 18 a 23) .....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO V – Composição Química Média de Óxidos por         Microsonda Eletrônica (Tabelas 26 a 30) .....</b>	<b>223</b>
<b>ANEXO VI – Análises Químicas por Microsonda Eletrônica         (Tabelas 31 a 35) .....</b>	<b>231</b>
<b>ANEXO VII – Fluorescência de Raios X (Tabelas 36 a 41) .....</b>	<b>267</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>FIGURA 1</b> – Mapa de localização geográfica da Mina da Pederneira e principais vias de acesso .....	<b>5</b>
<b>FIGURA 2</b> – Províncias Estruturais Brasileiras .....	<b>21</b>
<b>FIGURA 3</b> – Os Crátons do São Francisco e Paramirim com suas Faixas Móveis Envolventes .....	<b>22</b>
<b>FIGURA 4</b> – Zoneamento Metamórfico da Província Mantiqueira durante O Ciclo Brasileiro .....	<b>24</b>
<b>FIGURA 5</b> – Mapa Geológico Regional de Santa Maria do Suaçuí (Folha SE.23-Z-B-III) .....	<b>29</b>
<b>FIGURA 6</b> – Secção transversal de um pegmatito complexo .....	<b>43</b>
<b>FIGURA 7</b> – Estrutura interna de pegmatitos zonados, esquematizados em secções horizontais .....	<b>47</b>
<b>FIGURA 8</b> – Bloco diagrama de um pegmatito zonado .....	<b>48</b>
<b>FIGURA 9</b> – Modelo petrográfico de estrutura do corpo pegmatítico, zonado e verticalizado .....	<b>51</b>
<b>FIGURA 10</b> – Representação esquemática do zoneamento regional de grupos de pegmatitos relacionados com granito cogenético .....	<b>56</b>
<b>FIGURA 11</b> – Províncias Pegmatíticas do Brasil .....	<b>64</b>
<b>FIGURA 12</b> – Província Pegmatítica Oriental .....	<b>67</b>
<b>FIGURA 13</b> – A Província Pegmatítica Oriental em seu contexto geológico .....	<b>70</b>
<b>FIGURA 14</b> – Mapa Geológico da Área do Campo Pegmatítico da Serra do Cruzeiro e Localização das Minas e Garimpos .....	<b>75</b>
<b>FIGURA 15</b> – Mapa de localização dos corpos pegmatíticos da Pederneira .....	<b>94</b>
<b>FIGURA 16</b> – Mapa de geologia e amostragem do nível 1 e 2 da Mina da Pederneira .....	<b>95</b>

<b>FIGURA 17</b> – Mapa de geologia e amostragem do nível 3 da Mina da Pederneira .....	<b>96</b>
<b>FIGURA 18</b> – Mapa de geologia e amostragem do nível 4 e 5 da Mina da Pederneira .....	<b>97</b>
<b>FIGURA 19</b> – Corte longitudinal ao corpo pegmatítico ( A - A´ ) .....	<b>98</b>
<b>FIGURA 20</b> – Corte transversal ao corpo pegmatítico ( B - B´ ) .....	<b>99</b>
<b>FIGURA 21</b> – Planta de detalhe da área principal da Mina da Pederneira.	<b>100</b>
<b>FIGURA 22</b> – Mapa de amostragem e perfil geológico da Galeria do Venâncio .....	<b>104</b>
<b>FIGURA 23</b> – Mapa de amostragem e perfil geológico do nível inferior do Pegmatito da Pederneira II .....	<b>105</b>
<b>FIGURA 24</b> – Mapa de amostragem e perfil geológico do nível superior do Pegmatito da Pederneira II .....	<b>106</b>
<b>FIGURA 25</b> – Estruturas dos feldspatos .....	<b>111</b>
<b>FIGURA 26</b> – Estruturas das micas .....	<b>121</b>
<b>FIGURA 27</b> – Os polimorfos das micas .....	<b>123</b>
<b>FIGURA 28</b> – Estrutura da turmalina .....	<b>131</b>
<b>FIGURA 29</b> – Estrutura do berilo .....	<b>138</b>



## LISTA DE GRÁFICOS

---

<b>Gráfico 1</b> – Diagrama de infravermelho da microclina (PD-12) e albita (PD-48) .....	116
<b>Gráfico 2</b> – Diagrama de infravermelho da microclina (PD-36 e PD-63)	117
<b>Gráfico 3</b> – Detalhes da região do infravermelho entre 400 a 1000 $\text{cm}^{-1}$ : (a) diagrama da microclina (PD-12) e albita (PD-48); (b) diagrama da microclina (PD-36 e PD-63) .....	118
<b>Gráfico 4</b> – Diagrama de infravermelho da moscovita clara (PD-40), moscovita rósea (PD-65B) e lepidolita (PD-26) .....	126
<b>Gráfico 5</b> – Diagrama de infravermelho da turmalina negra (PD-33) e turmalina verde (PD-65A) .....	134
<b>Gráfico 6</b> – Diagrama das relações dos parâmetros unitários ( $a_0 \times c_0$ ) das turmalinas selecionadas no diagrama de Epprechet (1953) .....	135
<b>Gráfico 7</b> – Diagrama de infravermelho do berilo (PD-19) .....	140
<b>Gráfico 8</b> – Diagrama de infravermelho da granada (PD-68) .....	143
<b>Gráfico 9</b> – Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Na}_2\text{O} \times 10$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	146
<b>Gráfico 10</b> – Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Rb}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	146
<b>Gráfico 11</b> – Diagrama $\text{K}_2\text{O} \times \text{Rb}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	147
<b>Gráfico 12</b> – Diagrama $\text{Rb}_2\text{O} \times \text{Cs}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	148
<b>Gráfico 13</b> – Diagrama $\text{Log (FeO/MnO)} \times \text{Rb}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	148
<b>Gráfico 14</b> – Diagrama $\text{Log (MnO/FeO)} \times \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	149

<b>Gráfico 15</b> – Diagrama $\text{Log (FeO/MnO) x Cs}_2\text{O}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>150</b>
<b>Gráfico 16</b> – Diagrama $(\text{MgO x Na}_2\text{O}^*2 \text{ x MnO}^*2)$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>151</b>
<b>Gráfico 17</b> – Diagrama $(\text{Rb}_2\text{O}^*10 \text{ x K}_2\text{O x MnO}^*10)$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>151</b>
<b>Gráfico 18</b> – Diagrama $(\text{Rb}_2\text{O x Na}_2\text{O x MnO})$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>152</b>
<b>Gráfico 19</b> – Diagrama $\text{Nb x Sc}$ das micas dos Pegmatitos da Pederneira .	<b>152</b>
<b>Gráfico 20</b> – Diagrama $\text{Nb x Y}$ dos feldspatos dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>153</b>
<b>Gráfico 21</b> – Diagrama $\text{Nb x Zr}$ dos feldspatos dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>154</b>
<b>Gráfico 22</b> – Diagrama $\text{MgO x MnO}$ das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>155</b>
<b>Gráfico 23</b> – Diagrama $\text{MgO x Na}_2\text{O}$ das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>155</b>
<b>Gráfico 24</b> – Diagrama $\text{MgO x CaO}$ das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>156</b>
<b>Gráfico 25</b> – Diagrama $\text{CaO x Na}_2\text{O}$ das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira .....	<b>156</b>

## LISTA DE TABELAS

---

<b>TABELA 1</b> – Associações mineralógicas encontradas nas zonas pegmatíticas, segundo Cameron et al. (1949) .....	<b>45</b>
<b>TABELA 2</b> – Tipos de pegmatitos graníticos, segundo Černý (1990) .....	<b>58</b>
<b>TABELA 3</b> – Classificação de pegmatitos, segundo Rudenko et al. (1975).....	<b>61</b>
<b>TABELA 4</b> – Classificação dos pegmatitos graníticos da classe dos elementos raros, segundo Černý (1990) .....	<b>62</b>
<b>TABELA 5a</b> – Principais minerais econômicos das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro (Anexo 1) .....	<b>179</b>
<b>TABELA 5b</b> – Características das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro (Anexo I) .....	<b>183</b>
<b>TABELA 6</b> – Localização das amostras da Pederneira .....	<b>88</b>
<b>TABELA 7</b> – Características das amostras de <u>feldspato</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo II) .....	<b>189</b>
<b>TABELA 8</b> – Características das amostras de <u>moscovita</u> e <u>mica lilás</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo II) .....	<b>193</b>
<b>TABELA 9</b> – Características das amostras de <u>turmalina</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo II) .....	<b>197</b>
<b>TABELA 10</b> – Características das amostras de <u>berilo</u> e <u>granada</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo II) .....	<b>199</b>
<b>TABELA 11</b> – Características das amostras da <u>rocha encaixante</u> (quartzo-biotita xisto) dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo II) .....	<b>200</b>
<b>TABELA 12</b> – Dados da <u>microclina</u> dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>203</b>

<b>TABELA 13</b> – Dados da <u>albita</u> dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>204</b>
<b>TABELA 14</b> – Dados da <u>mica</u> dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha, politipo e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>205</b>
<b>TABELA 15</b> – Dados da <u>turmalina</u> dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>207</b>
<b>TABELA 16</b> – Dados do <u>berilo</u> do Pegmatito da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>208</b>
<b>TABELA 17</b> – Dados da <u>granada</u> do Pegmatito da Pederneira obtidos através de análises de <u>difração de raios X</u> e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária (Anexo III) .....	<b>208</b>
<b>TABELA 18</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>microclina</u> dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.129 da <u>microclina</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .....	<b>211</b>
<b>TABELA 19</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>albita</u> dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.124 da <u>albita</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .....	<b>214</b>
<b>TABELA 20</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>moscovita</u> e <u>lepidolita</u> dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.91-6.89 da <u>moscovita</u> e 6.96 da <u>lepidolita</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .	<b>215</b>

<b>TABELA 21</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>turmalina</u> dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.50 da <u>turmalina</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .....	<b>218</b>
<b>TABELA 22</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>berilo</u> do Pegmatito da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.48 do <u>berilo</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .....	<b>220</b>
<b>TABELA 23</b> – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por <u>espectroscopia de infravermelho</u> através de amostras de <u>almandina</u> do Pegmatito da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.8 da <u>almandina</u> , segundo Moenke, 1966 (Anexo IV) .....	<b>221</b>
<b>TABELA 24</b> – Substituições isomórficas nas micas, segundo Foster (1960), Deer et al. (1963) & Lopes Nunes (1973) .....	<b>119</b>
<b>TABELA 25</b> – Politipos das micas, Smith & Yoder (1956) .....	<b>122</b>
<b>TABELA 26</b> – Composição química média de óxidos (% em peso e normalizada) dos <u>feldspatos</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por <u>microsonda eletrônica</u> (Anexo V) .....	<b>225</b>
<b>TABELA 27</b> – Composição química média de óxidos (% em peso e normalizada) das <u>micas</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por <u>microsonda eletrônica</u> (Anexo V) .....	<b>228</b>
<b>TABELA 28</b> – Composição química média de óxidos (% em peso) das <u>turmalinas</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por <u>microsonda eletrônica</u> (Anexo V) .....	<b>229</b>
<b>TABELA 29</b> – Composição química média de óxidos (% em peso) do <u>berilo</u> do Pegmatito da Pederneira, analisado por <u>microsonda eletrônica</u> (Anexo V) .....	<b>230</b>
<b>TABELA 30</b> – Composição química média de óxidos (% em peso) da <u>granada</u> do Pegmatito da Pederneira, analisada por <u>microsonda eletrônica</u> (Anexo V) .....	<b>230</b>

<b>TABELA 31</b> – Análises químicas por <u>microsonda eletrônica</u> de <u>feldspatos</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo VI) .....	<b>233</b>
<b>TABELA 32</b> – Análises químicas por <u>microsonda eletrônica</u> de <u>micas</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo VI) .....	<b>251</b>
<b>TABELA 33</b> – Análises químicas por <u>microsonda eletrônica</u> de <u>turmalinas</u> dos Pegmatitos da Pederneira (Anexo VI) .....	<b>262</b>
<b>TABELA 34</b> – Análises químicas por <u>microsonda eletrônica</u> de <u>berilo</u> do Pegmatito da Pederneira (Anexo VI) .....	<b>265</b>
<b>TABELA 35</b> – Análises químicas por <u>microsonda eletrônica</u> de <u>granada</u> do Pegmatito da Pederneira (Anexo VI) .....	<b>266</b>
<b>TABELA 36</b> – Análises químicas de elementos-traços dos <u>feldspatos</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>269</b>
<b>TABELA 37</b> – Análises químicas de elementos-traços das <u>micas</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>270</b>
<b>TABELA 38</b> – Análises químicas de elementos-traços das <u>turmalinas</u> dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>271</b>
<b>TABELA 39</b> – Análises químicas de elementos-traços do <u>berilo</u> do Pegmatito da Pederneira, analisado por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>272</b>
<b>TABELA 40</b> – Análises químicas de elementos-traços da <u>granada</u> do Pegmatito da Pederneira, analisada por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>272</b>
<b>TABELA 41</b> – Análises químicas de elementos-traços da <u>rocha encaixante</u> (quartzo-biotita xisto) dos Pegmatitos da Pederneira, analisada por <u>fluorescência de raios X</u> (Anexo VII) .....	<b>272</b>

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

---

<b>FOTO 1</b> – Vista da lagoa Vapabusul .....	<b>15</b>
<b>FOTO 2</b> – Aspecto do Vale do Urupuca .....	<b>18</b>
<b>FOTO 3</b> – Relevo montanhoso na área da Serra do Cruzeiro .....	<b>18</b>
<b>FOTO 4</b> – Aspecto do afloramento de quartzito da Serra do Cruzeiro .....	<b>34</b>
<b>FOTO 5</b> – Veio de quartzo-feldspático, dobrado, encaixado no quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce .....	<b>34</b>
<b>FOTO 6</b> – Detalhe do intercrescimento gráfico de quartzo e K-feldspato da zona mural no Pegmatito da Pederneira I .....	<b>92</b>
<b>FOTO 7</b> – Associação mineralógica composta por lepidolita, espodumênio, albita e quartzo dos corpos de substituição no Pegmatito da Pederneira I .....	<b>92</b>
<b>FOTO 8</b> – Detalhe do contato entre o corpo pegmatítico da Pederneira II e a rocha encaixante (quartzo-biotita xisto) .....	<b>103</b>
<b>FOTO 9</b> – Contato do núcleo de quartzo com K-feldspato da zona mural no Pegmatito da Pederneira II .....	<b>103</b>
<b>FOTO 10</b> – Amostra de cleavelandita associada ao quartzo e turmalina (Pegmatito da Pederneira I) .....	<b>113</b>
<b>FOTO 11</b> – Mineral de mica marrom da zona mural do Pegmatito da Pederneira I (Galeria do Venâncio) .....	<b>125</b>
<b>FOTO 12</b> – Amostra de coleção constituída por quartzo leitoso e turmalina verde, (Pegmatito da Pederneira I) .....	<b>129</b>
<b>FOTO 13</b> – Peça de coleção rara constituída pela turmalina verde azulada, quartzo hialino, cleavelandita e mica lilás (Pegmatito da Pederneira I) .....	<b>133</b>

## LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

---

<b>FOTOMICROGRAFIA 1</b> – Quartzo-biotita xisto .....	<b>85</b>
<b>FOTOMICROGRAFIA 2</b> – Aspecto textural da rocha calciossilicática ....	<b>85</b>
<b>FOTOMICROGRAFIA 3</b> – Detalhe do cristal de microclina associada à albita .....	<b>113</b>
<b>FOTOMICROGRAFIA 4</b> – Detalhe do cristal de albita associada à mica, proveniente do corpo de substituição do Pegmatito da Pederneira I .....	<b>125</b>



## AGRADECIMENTOS

---

A realização de um trabalho requer dedicação, paciência, determinação, coragem, persistência e uma certa dose de sacrifício. Muitas vezes, torna-se impossível realizá-lo sem contar com a colaboração das entidades e de profissionais competentes e amigos.

Deste modo, aproveito o momento para externar meu profundo sentimento de gratidão a todos que ajudaram, de forma direta ou indireta, na elaboração deste trabalho.

Apresento os meus sinceros agradecimentos:

Ao orientador, Professor Doutor Joel Jean Gabriel Quéméneur, professor titular do Departamento de Geologia da UFMG e Diretor do Curso de Pós-graduação do Instituto de Geociências da UFMG, pelas discussões, esclarecimentos e orientações dedicadas, atenciosas, criteriosas e seguras durante todo o transcurso deste estudo;

Ao co-orientador, Professor Doutor José Marques Correia Neves, professor titular do Departamento de Geologia da UFMG, pelo apoio, revisão do manuscrito e valiosas sugestões;

À Professora Doutora Vitória Régia Péres da Rocha Oliveiros Marciano, professora do Departamento de Geologia da UFMG, pelo ensino, desenvolvimento e estudo proporcionado das análises de minerais por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho e difração de raios X, assim como a valiosa colaboração nas discussões e interpretações dos gráficos gerados por estes métodos;

Ao Professor Doutor Carlos Alberto Rosière, professor do Departamento de Geologia da UFMG, pelo importante apoio e orientação nas microfotografias de lâminas petrográficas;

Ao Professor Doutor Joachim Karfunkel, professor do Departamento de Geologia da UFMG, pela sugestão e contribuição no abstract;

Ao Doutor José Carlos Gaspar, professor e emérito pesquisador do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, pela franquia ao Laboratório de Microsonda Eletrônica, onde foram realizadas as análises químicas de vários minerais pegmatíticos por microsonda eletrônica;

Ao geólogo Néelson Fava e ao técnico Onésio Rodrigues Nunes Filho do Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília, pela orientação e ajuda prestada na condução das análises químicas dos minerais feitas por microsonda;

À técnica de laboratório, Kácia Maria Moraes Monteiro, pela ajuda prestada nas análises de minerais, feitas pelo método do pó, para difratometria de raios X, realizadas no Laboratório de Raios X do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa da UFMG;

À técnica de laboratório, Ana Cristina Morgado, pelas várias análises de minerais realizadas, por meio da espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho, no Laboratório de Espectrografia de Absorção de Infravermelho do Departamento de Química da UFMG.

Sou profundamente agradecido aos colegas e amigos da CPRM pelos numerosos auxílios devotados em tantas oportunidades. Portanto, agradeço:

Ao geólogo e mestre Carlos Alberto Heineck, pelo constante incentivo e incansável estímulo na realização deste trabalho;

Ao geólogo e mestre Valter Salino Vieira, pela permanente vontade em ajudar e valiosas sugestões prestadas durante a elaboração desta tese;

Ao geólogo Sérgio Lima da Silva, pela contribuição das informações geológicas e discussões técnicas proveitosas sobre a área da tese;

À geóloga e mestra Maria José Resende Oliveira, pela boa vontade, atenção solícita, discussões e esclarecimentos sobre a geologia estrutural da região;

Ao geólogo Mário Conceição Araújo, pela contribuição dos estudos e pesquisas de pegmatitos da região, pela solicitude e disposição grandiosa de ajudar;

Às petrógrafas e mestras Márcia Zuchetti e Ludmila Maria Mota Pereira, pela atenção, orientação e discussão sobre as lâminas petrográficas;

À química Gerda Pierre M. de Gouvêa, pela execução das análises químicas de diversos minerais por fluorescência de raios X no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) – CPRM-RJ;

Aos desenhistas Márcio Ferreira Augusto e Alba Martinho Coelho, pela prestimosa ajuda no desenho das ilustrações deste trabalho;

À Elizabeth de Almeida Cadete Costa, pela colaboração primorosa na elaboração de mapas geológicos feitos por computação gráfica;

À Rosângela Gonçalves Bastos de Souza, pela cooperação na coordenação das artes gráficas;

Ao Washington J. Ferreira Santos e Roger Lúcio Marinho, pela colaboração na informática;

À bibliotecária Maria Madalena Costa Ferreira, pela boa vontade, ajuda nas referências bibliográficas e presteza geral no atendimento;

Aos motoristas Laércio Pereira, Deli Moreira Soares e José Nascimento da Paz que conduziram o carro no trabalho de campo com muita

perícia sobre os íngremes caminhos de pedra. E a todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço, também, as instituições que colaboraram para a execução deste trabalho:

À Universidade Federal de Minas Gerais que concedeu os meios para a realização do curso de pós-graduação e o corpo docente desta universidade, pelos apoios e estímulos recebidos. A todos funcionários da Biblioteca do Instituto de Geociências pela cordialidade e profissionalismo;

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pelo apoio logístico na etapa de campo, pelas informações prestadas, pelo apoio financeiro e pela oportunidade oferecida para o desenvolvimento profissional.

Quero deixar ainda os meus agradecimentos:

Ao Sr. José de Oliveira Rocha (Deca), proprietário da Mina da Pederneira, que, gentilmente, franqueou o acesso à mina para coleta de amostras e estudos dos pegmatitos nas diversas galerias dessa mineração;

A toda família do Deca, a sua esposa Maristela Duarte de Oliveira Rocha e aos seus filhos José de Oliveira Rocha Filho (agrônomo), Alexandre Duarte de Oliveira Rocha (engenheiro), Inocêncio Duarte de Oliveira Rocha (advogado), Adriano Duarte de Oliveira Rocha (veterinário), Adelina Maria Duarte de Oliveira Machado (contabilista), Angélica Duarte de Oliveira Rocha (médica) e Pedro Duarte de Oliveira Rocha (médico - In memoriam), que prestaram, mesmo em momento de grande dor e sofrimento, apoios valiosos e importantes colaborações na execução deste trabalho;

Ao José de Oliveira Rocha Filho, pelo acompanhamento constante nas galerias da mina e incansável cooperação ao longo de toda jornada de campo;

Aos mineradores Antônio Correia de Souza, Domingos Ribeiro da Rocha (Venâncio) e Antônio Pereira de Figueiredo (Mecânico) que, juntamente com seus garimpeiros, colaboraram com informações nas frentes de serviço da mina. E aos guias João Francisco Dias, João de Matos e Antônio Capeta, pelos auxílios prestados nos trabalhos de campo;

Aos moradores de Santa Maria do Suaçuí e São José da Safira, pela carinhosa acolhida, repleta de grande amizade. Isto é confirmado nas palavras de Inocêncio Duarte, filho da terra, que acima da oferta generosa do requeijão moreno, do doce de rapadura, da boa cachaça e do vinho caseiro de jurubeba, entre tantas delícias, se destaca a flor da hospitalidade, a maior virtude do povo dessa região.

Finalmente, a todos que tornaram possível a concretização desta missão, meus eternos agradecimentos.

## RESUMO

---

O presente trabalho refere-se aos estudos dos corpos pegmatíticos da Pederneira, que estão encaixados no quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce. Estes corpos estão situados no Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro da Província Pegmatítica Oriental. Os Pegmatitos da Pederneira localizam-se a 23 km no noroeste da cidade de São José da Safira e 40 km no sudeste de Santa Maria do Suaçuí, ficando na vertente norte da Serra do Cruzeiro.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um estudo amplo e integrado dos Pegmatitos da Pederneira, enfocando aspectos mineralógicos, geoquímicos, estruturais e genéticos. O levantamento da mina foi conduzido de forma a caracterizar a provável estrutura pegmatítica, a paragênese mineralógica e o comportamento geoquímico de elementos nas diferentes zonas pegmatíticas.

Na área estudada, ocorrem dois pegmatitos que são denominados de Pederneira I (Mina) e Pederneira II (Garimpo). O Pegmatito da Pederneira I é um pegmatito complexo que apresenta uma estrutura zonada, enquanto que o Pegmatito da Pederneira II é um corpo simples, pouco diferenciado. Estes pegmatitos são provenientes da geração de granito tipo Santa Rosa, possivelmente, de corpos não aflorantes. O Pegmatito da Pederneira I pode ser diferenciado em quatro zonas: zona de borda ou marginal, zona mural, zona intermediária e núcleo, além dos corpos de substituição. Este pegmatito é classificado como pegmatito portador de elementos raros, classificação de Ginsburg (1979, 1984) e tipo complexo a lepidolita de Černý (1990). Do ponto de vista econômico, os bens minerais mais explorados desta mina foram as amostras de coleção e as turmalinas gemológicas.

Foram efetuadas amostragens dos principais minerais do Pegmatito da Pederneira I, Galeria do Venâncio (uma galeria nova da Pederneira I) e Pegmatito da Pederneira II, ao longo das diferentes zonas e nos vários níveis do corpo pegmatítico.

As técnicas analíticas empregadas foram microsonda eletrônica, fluorescência de raios X, difração de raios X e espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Os minerais de feldspato, mica, turmalina, berilo e granada foram analisados através desses métodos.

Os resultados da difração mostram que o politipo  $2M_1$  caracteriza tanto as micas dioctaédricas (moscovitas) como as micas trioctaédricas, lepidolitas, (estas últimas exibindo estruturas mistas). A turmalina foi identificada no gráfico de Epprechet (1953) como da série schorlita-elbaíta.

Os dados espectrais de absorção no infravermelho de minerais dos Pegmatitos da Pederneira revelaram a existência de fases fluidas. A composição dos fluidos é formada principalmente pela H<sub>2</sub>O e hidrocarboneto, provavelmente, metano. Nos gráficos de infravermelho da turmalina foram detectados os componentes voláteis: CO<sub>2</sub>, OH<sup>-</sup>, B e CH<sub>4</sub>.

As análises dos gráficos geoquímicos das espécies minerais das diferentes zonas pegmatíticas apresentam um sentido evolutivo à medida que se segue das zonas de borda para o centro do corpo. Assim, os teores de manganês e rubídio das micas aumentam da borda para o centro, enquanto que os teores de ferro, manganês e cálcio decrescem. Os teores de céσιο são relativamente baixos na parte mais interna do corpo pegmatítico, ao passo que, exista um certo enriquecimento deste elemento na zona de borda, sugerindo o enriquecimento do céσιο nos fluidos residuais. Esses fluidos, sob pressão confinada, migraram da zona central para a borda no processo de refluxo de fluidos residuais.

O bário praticamente não foi detectado no corpo pegmatítico. A ausência de bário no pegmatito vem confirmar a natureza do líquido como proveniente de líquido de fracionamento residual.

O boro foi identificado nas análises de turmalina por espectroscopia de absorção no infravermelho. A liberação de fluido supercrítico, contendo elemento como boro, pode ser responsável pela geração de geodos (caldeirões) e preenchimentos de fraturas, dando origem a turmalina de interesse gemológico e zonas mineralizadas em metais raros.

## ABSTRACT

---

The present study concerns the Pederneira pegmatite bodies, located in quartz-mica-schists of the São Tomé Formation, belonging to the Rio Doce Group. The bodies are situated within the Serra do Cruzeiro pegmatite field of the Oriental Pegmatite Province.

Purpose of the study is the structural characterization of the pegmatites, its mineralogical paragenesis and geochemical behavior of the elements in the different zones.

Two pegmatite bodies occur in the area, designated Pederneira I (exploited as a mine) and Pederneira II (worked by artisan diggers). The former is a complex pegmatite with a zoned structure, whereas the latter is a simple pegmatite. Both bodies derived probably from a granite of the Santa Rosa type.

Four zones have been identified within the Pederneira I pegmatite: the border zone, wall zone, intermediate zone and core. Substitution bodies are present too. The pegmatite can be classified as a rare element pegmatite (Ginsburg, 1979, 1984) and of the complex lepidolite type according to Černý (1990). Gemmy tourmaline and specimens for collection are the main economic minerals.

Feldspar mica, tourmaline, beryl and garnet have been analyzed by electron microprobe, X-ray diffraction and fluorescence, and IR-absorption spectroscopy.

The X-ray diffraction results revealed, that the polytype  $2M_1$  characterizes the dioctahedral micas (muscovites), as well as the trioctahedral micas, the lepidolites (the latter showing a mixed structure). The tourmaline have been identified in the Epprechet (1953) graphic as belonging to the schorlite-elbaite series.

The IR-data revealed fluid phases, which are composed mainly of  $H_2O$  and hydrocarbonate, probably methane. The IR-graphic of tourmaline detected  $CO_2$ ,  $OH^-$ , B and  $CH_4$ .

The geochemical graphics of minerals from different zones show evolutive stages from the border towards the center of the body. Thus, Mn and Rb values of micas increase, whereas Fe, Mg and Ca decrease. Cs values are relatively low in central parts of the pegmatite body, while the border zone is enriched in this element, suggesting, that fluids under confined pressure migrated from central parts to the border during a reflux process of

residual fluids. The absence of Ba confirms the nature of the liquid, which formed by a residual fractionating.

B was identified by IR-absorption spectroscopy. The release of a supercritical fluid with B may have been responsible for the formation of geodes and fracture fillings, forming gemmy tourmaline and mineralized parts with rare metals.

## Capítulo 1

### INTRODUÇÃO

---

**O**s Pegmatitos da Pederneira, objeto de estudo desta dissertação, estão inseridos no Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, fazendo parte de um extenso domínio, denominado de Província Pegmatítica Oriental por Paiva (1946). Esta província abrange, aproximadamente, uma faixa com cerca de 800 km de comprimento e 150 km de largura, compreendendo o leste de Minas Gerais, sul da Bahia e oeste do Espírito Santo.

O marco inicial das descobertas das minas e garimpos da região de Santa Maria do Suaçuí e São José da Safira remonta de época histórica. As fascinantes lendas indígenas sobre a Serra das Esmeraldas, situada nos hostis sertões primitivos de Minas, despertaram interesses de aventureiros que se organizaram em várias expedições em procura da tão almejada esmeralda. Entretanto, coube a bandeira de Fernão Dias Paes Leme chegar à Serra Resplandecente, atual Serra do Cruzeiro, em 1674, encontrando turmalina verde (verdelita), mineral sem valor na época. Os bandeirantes acreditaram de ter descoberto as valiosas esmeraldas.

Dentro do contexto geológico, os pegmatitos do Campo Pegmatito Serra do Cruzeiro estão encaixados nas litologias da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce. O mapa geológico regional de Santa Maria do Suaçuí do Projeto Leste, realizado por Silva (1997), foi tomado como base na execução deste trabalho. Os pegmatitos estão dentro do domínio geotectônico da Província Mantiqueira de Almeida et al. (1977). Atribuiu-se a esta província como sendo constituída por uma faixa tectônica de idade brasileira, tendo em vista a história neoproterozóica da região. O Ciclo Brasileiro atuou no rejuvenescimento de rochas mais antigas, arqueanas e paleoproterozóicas, assim como foi responsável pelo metamorfismo e deformação das coberturas brasileiras.

Basicamente, os estudos foram direcionados em dois corpos pegmatíticos (Pederneira I e II) e a Galeria do Venâncio que está ligada ao corpo principal da mina. Os pegmatitos ocorrem em forma tabular com ramificações, concordantes com a foliação xistosa. Seguindo a direção da foliação do local, os corpos pegmatíticos apresentam, aproximadamente, uma direção N80W com mergulho quase verticalizado. Os contatos destes pegmatitos com a rocha encaixante são nítidos e bastante irregulares. O corpo pegmatítico principal aflora na encosta da serra onde se localiza a entrada da mina, que está posicionada numa altitude de 800 metros.



No levantamento da mina, foram coletadas 69 amostras dos principais minerais do corpo pegmatítico e rocha encaixante. As amostras foram retiradas de vários níveis do corpo pegmatítico e em várias partes do zoneamento (zona mural, zona intermediária) e corpos de substituição.

O Pegmatito da Pederneira I possui uma grande variedade mineralógica. A mineralogia essencial é composta por quartzo, feldspato potássico (microclina), albita (cleavelandita) e moscovita, tendo como acessórios: turmalinas negras e coloridas, granada, berilo (morganita), espodumênio, ambligonita-montebrazita, lepidolita, micas intermediárias, zinnwaldita, columbita-tantalita e fosfato (apatita).

No capítulo 8 foram abordadas as diversas classificações de pegmatitos, refletindo as várias concepções e idéias de pesquisadores de diferentes escolas através de vários tempos. Os Pegmatitos da Pederneira foram enquadrados nestas oito classificações.

As técnicas analíticas usadas foram a microsonda eletrônica, fluorescência de raios X, difratometria de raios X e espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. O espectro de infravermelho identificou o tipo de mineral, revelou a existência de fases fluidas, determinou as vibrações de estiramento (*stretching*) e as vibrações de deformação (*bending*) e identificou as vibrações moleculares d'água, absorvida e adsorvida na estrutura molecular do mineral. As fases fluidas da turmalina foram identificadas por infravermelho, sendo determinadas as presenças de H<sub>2</sub>O, grupo OH<sup>-</sup>, hidrocarboneto e boro.

Os estudos geoquímicos, feitos através dos gráficos, foram baseados nas análises de microsonda eletrônica e fluorescência de raios X. Os diagramas geoquímicos da Pederneira foram interpretados como pegmatitos formado por sucessivas cristalizações, sendo provenientes do fracionamento do líquido residual. A cristalização das zonas primárias segue da zona de borda para o centro. Num determinado estágio da evolução, o magma residual tornou-se enriquecido em componentes voláteis e elementos raros, como Rb, Cs, Li e B, ocorrendo a formação dos corpos de substituição. O enriquecimento do céσιο na zinnwaldita da zona mural e a não formação de minerais de céσιο (pollucita) neste jazimento sugerem que o céσιο tenha se concentrado nos fluidos residuais e que, sob pressão confinada, esses fluidos tenham migrado da zona central para a zona mural no processo de refluxo de fluidos residuais. Por outro lado, os dados geoquímicos parecem indicar que os fluidos altamente fracionados reagiram com os minerais de biotita da rocha encaixante, resultando na liberação de ferro deste mineral e ocorrendo uma posterior incorporação deste elemento na turmalina negra e na mica marrom.

A liberação de fluido com alta concentração de boro pode ter sido responsável pela formação de geodos (caldeirões), dando origem às turmalinas de interesses gemológicos e às zonas mineralizadas de metais raros.

## Capítulo 2

### ASPECTOS GERAIS

---

#### 2.1. HISTÓRICO

A história da Pederneira tem muito a ver com a da Serra do Cruzeiro (antiga Resplandecente). Antigamente, também, era denominada de Serra da Safira Grande, sendo descoberta, durante a expedição de 1674, por Fernão Dias Paes Leme, o Caçador de Esmeraldas.

O nome de Resplandecente é devido às escarpas da serra conterem partículas de mica que refletem à luz solar, produzindo um belo espetáculo. O nome de Safira provém das turmalinas azuis, produzidas em épocas passadas, e que se assemelham às famosas safiras azuis.

Segundo descrição de Pimenta (1966), as tribos dos indígenas Tupiniquins e Tupinambás, no tempo das Bandeiras, viviam nos sertões dos rios Araçuaí e Jequitinhonha. Estes índios foram expulsos dos sertões e impelidos para o litoral pela nação dos índios Aimorés. Os Tupiniquins e Tupinambás tinham conhecimento dos segredos dos sertões, das suas riquezas minerais e da existência da Serra das Esmeraldas (atual Serra do Cruzeiro). A convivência do náufrago português, Diogo Álvares Correia (Caramuru), com os índios permitiu colher informações da existência daquelas riquezas minerais, situadas pelas bandas das nascentes dos rios Araçuaí e Jequitinhonha, no nordeste de Minas Gerais. Caramuru enviou um relatório às autoridades portuguesas com as informações obtidas. Pensa-se que esta foi uma das primeiras notícias históricas da região.

Entre os índios corriam muitas lendas acerca de tesouros descomunais. Uma delas referia-se à existência de uma montanha de ouro (possivelmente a Serra Resplandecente) e da lagoa grande (Vapabuçu) cujo fundo era forrado de pedras verdes. Isto servia para estimular os sonhos dos portugueses, que acreditavam de se tratar de esmeraldas, mas que na realidade eram turmalinas verdes, pedras sem valor na época.

Paiva (1946) ressaltou que os portugueses, em convivência amistosa com os índios, souberam das pedras coradas, desde que observaram *tembetás*, que eram pedras de berilo e amazonita, adornando os silvícolas. Apesar de serem pedras de má qualidade, surgiu a esperança de encontrarem melhores pedras no interior dos afloramentos. Paiva baseou-se no Tratado Descritivo do Brasil, escrito por Gabriel Soares de Sousa em 1587. Era muito forte o espírito de aventura e o aliciamento para se fazer a marcha para o oeste e afrontar os ferozes Aimorés na densa floresta dos rios Doce e Jequitinhonha, em busca da mata das pedrarias, a Serra das Esmeraldas e a lagoa de Vapabuçu.

Na época da descoberta do Brasil, a Europa estava ávida por especiarias, ouro, diamante, pérola e aromas. Assim, tornou-se possível, no Brasil, que se iniciasse o ciclo das esmeraldas. As lendas indígenas que chegaram à Corte Portuguesa contribuíram para a exploração dos sertões, fazendo com que Fernão Dias Paes Leme recebesse o título de Governador das Esmeraldas.

A Província Pegmatítica Oriental foi investigada pelos sertanistas, organizados em expedições, denominadas de Entradas e Bandeiras, partindo do litoral da Bahia e Espírito Santo. A história registra que o primeiro explorador que encontrou pedras coradas nesta província foi Sebastião Fernandes Tourinho, em 1572. Posteriormente, a província passou a ser atingida, a partir do sul, pelos bandeirantes em busca do Sertão das Esmeraldas. Coube ao bandeirante Fernão Dias Paes Leme organizar a expedição de 1674. Os bandeirantes embrenharam-se na mata, sofreram os rigores da selva, o calor sufocante, os mosquitos, a vegetação espinhosa da trilha, os cipós entrelaçados que dificultavam a marcha, até que chegaram à descoberta da Serra Resplandecente, encontrando várias pedras verdes pelo caminho. Ao voltar, Fernão Dias morreu de febre. O seu filho, Gabriel Paes regressou a São Paulo e enviou à Corte Portuguesa, em 1687, dois caixotes de pedras de água-marinha. Não podendo equiparar-se em qualidade às esmeraldas orientais, a exploração na Província Pegmatítica Oriental foi esquecida durante os séculos XVIII e grande parte do século XIX, após 150 anos de árduas investigações.

Conforme Proctor (1984) in César Mendes (1995), a Serra do Cruzeiro (antiga Resplandecente ou Serra da Safira Grande) é, sem dúvida, a Montanha das Esmeraldas, descoberta por Fernão Dias Paes Leme.

Desde os meados do século XIX, o arraial de Poaia passou a ser conhecido pela mineração. Entretanto, conforme Rabello (1945) e Garibaldi (1994), a Mina do Cruzeiro só foi descoberta em agosto de 1915. As turmalinas verdes e azuis foram redescobertas, iniciando-se uma atividade garimpeira que deram alguns magníficos cristais. Todavia, a mineração em escala comercial foi iniciada somente com a mica, durante a Segunda Guerra Mundial.

A mica foi um produto essencial à indústria bélica. O maior produtor mundial era a Índia, mas, com a guerra no Pacífico, tornaram-se difíceis os embarques para os Estados Unidos. Portanto, o Brasil passou a assumir o papel de fornecedor à indústria americana. Deste modo, houve um grande incentivo ao desenvolvimento das lavras de pegmatitos da região e a produção de mica atingiu o seu auge. Segundo Rabello (op. cit.), a Empresa Cosmopolitana iniciou seus trabalhos na Mina do Cruzeiro em 1944, sendo considerada, naquela época, a maior exportadora de mica do país. Em 1945, o ano da maior produção, atingiu-se o total de 324.657 kg de mica bruta.

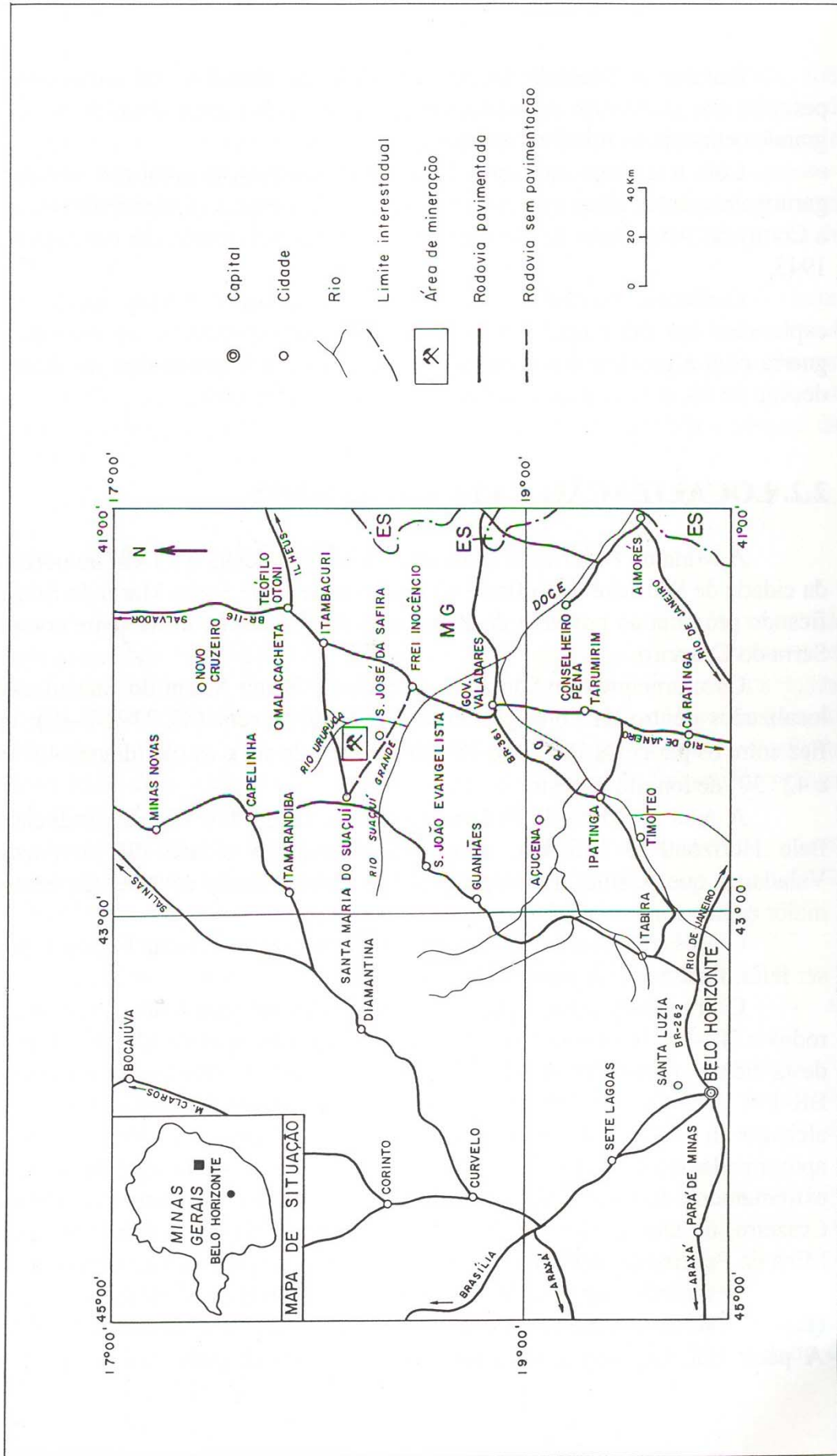


Figura 1 – Mapa de localização geográfica da Mina da Pederneira e principais vias de acesso.

Durante a Segunda Guerra Mundial, os trabalhos de exploração e pesquisa em jazimentos pegmatíticos no Brasil foram intensificados devido à grande demanda de minerais estratégicos.

Com o término da guerra, houve uma paralisação geral das atividades garimpeiras, salvo raras exceções. O contrato da Empresa Cosmopolitana com a Comissão Americana de Compras teve seu prazo esgotado em novembro de 1945.

Conforme Garibaldi (op. cit.), os pegmatitos foram amplamente explorados em duas fases. A primeira fase correspondendo ao período da guerra com a procura dos minerais estratégicos e a segunda fase, a partir da década de 60, devido a uma maior procura das gemas coradas.

## **2.2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A Mina da Pederneira situa-se, aproximadamente, a 23 km no noroeste da cidade de São José da Safira e 40 km no sudeste de Santa Maria do Suaçuí, ficando próxima ao povoado de Bom Jesus do Horizonte, na vertente norte da Serra do Cruzeiro.

Os municípios de São José da Safira e Santa Maria do Suaçuí estão localizados dentro da Folha de Santa Maria do Suaçuí (SE.23-Z-B-III), que fica entre os paralelos 18° 00' e 18° 30' de latitude sul e os meridianos 42° 00' e 42° 30' de longitude oeste.

A área da Mina da Pederneira fica cerca de 440 km de distância de Belo Horizonte e 115 km, aproximadamente, da cidade de Governador Valadares, que se situa na margem do Rio Doce e sendo considerada como o maior centro comercial e industrial da região.

O acesso ao local da mineração, conforme se observa na Figura 1, pode ser feito, facilmente, a partir de Belo Horizonte.

O primeiro acesso, a partir de Belo Horizonte para Vitória, faz-se pela rodovia BR-262 até Governador Valadares, num percurso de 325 km. A partir desta cidade, percorrem-se 40 km até a cidade de Frei Inocência pela rodovia BR-116. Segue-se, então, por uma estrada de terra, no sentido noroeste, até alcançar a cidade de São José da Safira, depois de um trajeto de aproximadamente 52 km. Em seguida, toma-se uma outra estrada de terra, extremamente íngreme e de acesso difícil, que passa pelo povoado e Mina do Cruzeiro, no alto da Serra do Cruzeiro, num percurso de 14 km. Atinge-se a Mina da Pederneira, após percorrer 9 km, a partir do povoado do Cruzeiro.

O segundo acesso é feito pela mesma rodovia Belo Horizonte-Vitória (BR-262) até ao entroncamento de Itabira, realizando um percurso de 70 km. A partir daí, toma-se a rodovia BR-120, asfaltada, pela qual se alcança a

cidade de Santa Maria do Suaçuí, passando por Guanhães e São João Evangelista, fazendo um trajeto de 350 km. A partir de Santa Maria do Suaçuí, chega-se à Mina da Pederneira, por estrada de terra, passando pelas localidades de Glucínio e Graminha, num percurso de 40 km. Este acesso é menos difícil do que a estrada da Serra do Cruzeiro, uma vez que não existem, no trecho, afloramentos de rochas quartzíticas, as quais tornam o caminho bastante inóspito.

Existe um campo de pouso (Campo de Pouso e Aviação Dr. Aimoré Dutra Filho) em boas condições de manutenção e que se localiza no alto da serra entre o Cruzeiro e a Pederneira, em propriedade do Sr. José de Oliveira Rocha. O acesso de pequenos aviões é realizado em 10 minutos, ligando este campo a Governador Valadares, sendo utilizado pelos visitantes e pessoal das minas existentes na região.

### **2.3. ASPECTO SÓCIO-ECONÔMICO**

São José da Safira é uma pequena cidade com uma população aproximada de 3.000 habitantes. Grande parte da população vive em função da atividade garimpeira. Este recurso sócio-econômico estende-se a outros lugares como as cidades de Santa Maria do Suaçuí, Nacip Raydan e Virgolândia e dos povoados de Bom Jesus do Rozendo, Glucínio (antiga Cristais), Graminha, Bom Jesus do Horizonte, Cruzeiro, Catequeses, Poaia, São Sebastião da Barra e Santo Antônio do Surubim.

A atividade extrativa é uma alternativa econômica importante para essa região, tanto pela utilização da mão-de-obra nas lavras dos pegmatitos, assim como pelos empregos indiretos, advindos do comércio de pedras coradas e minerais industriais como a mica, o feldspato e o berilo industrial. A exploração mineral do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro é representada pelos vários garimpos e minas, destacando-se a Mina do Cruzeiro como a mais importante da região.

Outra atividade econômica de destaque é a pecuária, sobressaindo a criação de bovino de corte. As fazendas de criação de gado desenvolveram-se ao longo do vale do Suaçuí Grande, compreendendo as planícies aluviais dos rios Urupuca e Suaçuí Grande.

A atividade extrativa vegetal é de pequena importância, uma vez que houve a rarificação das reservas florestais, muito exploradas e devastadas. A floresta tropical sofreu grande desmatamento em virtude da penetração da cafeicultura e fomicultura nos planaltos de Minas Gerais. Atualmente, o extrativismo vegetal está restrito e visa somente a construção de cercas, currais e moradias. A agricultura limita-se à cultura de subsistência pelo plantio de milho, feijão, arroz, café e mandioca.

O comércio mais efetivo resulta da compra e venda de turmalina, columbita, água-marinha e amostras de coleção, retiradas dos corpos pegmatíticos da região. Como elemento de infra-estrutura, pode-se citar a energia elétrica, que abastece as cidades e povoados da região. Localmente, na Mina da Pederneira, o acampamento é provido de geradores próprios.

## **2.4. OBJETIVO**

O objetivo básico deste trabalho é apresentar um estudo amplo e integrado dos Pegmatitos da Pederneira, enfocando aspectos mineralógicos, geoquímicos, estruturais e genéticos. Além desse objetivo primordial, procurou-se fazer um levantamento da mina onde foi estudado o corpo pegmatítico através do mapeamento de galerias.

O trabalho foi conduzido de forma a caracterizar a provável estrutura pegmatítica, a paragênese mineralógica e o comportamento geoquímico de elementos nas diferentes zonas pegmatíticas.

As informações geológicas regionais e estruturais fornecerem subsídios importantes para que se tivesse uma melhor compreensão da distribuição, potencialidade e natureza geo-econômica dos pegmatitos da região. Do ponto de vista econômico, os bens minerais mais explorados desta mina foram as amostras de coleção e as turmalinas gemológicas.

## Capítulo 3

### METODOLOGIA

---

**O**s trabalhos preliminares consistiram em pesquisas bibliográficas e reconhecimento geológico de campo, tendo como meta o conhecimento das várias ocorrências de pegmatitos da região. Posteriormente, o trabalho foi concentrado na área escolhida para dissertação, ou seja, na área dos Pegmatitos da Pederneira, onde foram efetuados estudos a nível de detalhe.

Basicamente, os estudos foram direcionados em dois corpos pegmatíticos: o corpo principal do Pegmatito da Mina da Pederneira I e o Garimpo da Pederneira II. Também, o trabalho foi estendido a uma nova frente de serviço, denominada de Galeria do Venâncio, a qual está ligada ao corpo principal da mina.

O mapa geológico regional e o mapa de localização das minas e garimpos foram elaborados por computação gráfica, sendo reduzidos a uma escala gráfica compatível. As informações obtidas destes mapas, em nível regional, foram baseadas nos dados do Projeto Leste, Folha de Santa Maria do Suaçuí (SE.23-Z-B-III), Silva (1997), Cadastramento Mineral, Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

Foram coletadas cerca de 69 amostras durante o levantamento da mina, sendo efetuada uma amostragem representativa dos principais minerais típicos da Mina da Pederneira. As amostras de minerais foram retiradas de vários níveis do corpo pegmatítico, nível um ao nível quatro, assim como em várias partes (zona mural, zona intermediária e corpos de substituição). As rochas encaixantes foram coletadas próximas ao contato com o pegmatito. Na Galeria do Venâncio e no Garimpo da Pederneira II, também, foi efetuada uma amostragem sistemática.

Os trabalhos de laboratório consistiram na confecção de lâminas delgadas e análises mineralógicas e químicas. As lâminas da área da Pederneira foram confeccionadas e usadas para análises da microsonda eletrônica. No decorrer deste trabalho, utilizou-se um microscópio polarizante Carl Zeiss, modelo M-35, equipado com platina universal para descrição das principais características morfológicas dos minerais.

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) – CPRM-RJ a fim de serem preparadas para as análises de difração de raios X, espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho e fluorescência de raios X. Todas as amostras foram trituradas, quarteadas e pulverizadas numa fração granulométrica menor do que 200 *mesh*. O material obtido foi enviado para às respectivas determinações analíticas.



### 3.1. TÉCNICAS ANALÍTICAS

As técnicas analíticas usadas constaram basicamente:

- a) análises químicas por microsonda eletrônica;
- b) análises químicas por fluorescência de raios X;
- c) análises mineralógicas por difratometria de raios X;
- d) análises de minerais por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho.

Os dados de difração de raios X foram processados por meio do programa Miller2.

### 3.2. MICROSSONDA ELETRÔNICA

Diversos minerais da Pederneira foram analisados por meio da microsonda eletrônica, uma ferramenta importante na identificação de minerais e caracterização de sua composição química.

As análises químicas de feldspato, mica, berilo, turmalina e granada foram efetuadas, pelo autor, no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Brasília (UnB).

O equipamento utilizado foi um modelo CAMECA SX50 de fabricação francesa com quatro espectrômetros WDS verticais e um sistema EDS KeveX. As condições de operacionalidade da microsonda foram de uma voltagem de 15 KV, corrente com intensidade de 20 mA na amostra e um feixe eletrônico com diâmetro de 0,5 a 1 micron. O microscópio óptico do sistema tem uma capacidade de aumento de 400 vezes.

Para realização dessas análises, foram preparadas trinta e oito lâminas delgadas, polidas e destituídas de lamínula protetora. Posteriormente, foram metalizadas com grafite sob condições de vácuo quase absoluto. Obteve-se de cada amostra, em média, sete a dez diferentes pontos, analisados em cada espécie mineral.

Os registros dos dados analíticos foram acumulados em registradores (*scalers*), acoplados ao equipamento da microsonda, após receber os sinais originados e amplificados dos detetores. A composição química média dos óxidos do mineral corresponde à média aritmética dos vários pontos analisados. Estes dados estão nas Tabelas 26 a 30 (anexo V). Os dados brutos das análises dos óxidos estão contidos nas Tabelas 31 a 35 (anexo VI).

### 3.3. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Através da técnica da fluorescência de raios X, foram determinados os elementos traços bário, rubídio, escândio, ítrio, zircônio e nióbio. Os resultados analíticos, dados em ppm, encontram-se listados nas Tabelas 36 a 41 (anexo VII).

A preparação das amostras consistiu, inicialmente, numa britagem feita manualmente e, em seguida, na pulverização realizada em moinho de carbono-tungstênio. A confecção das pastilhas prensadas consistiu na adição de três gramas da amostra misturada a outras três gramas de amido. Depois, os componentes foram homogeneizados no moinho e o pó resultante foi transformado em pastilhas por meio de compressão. Posteriormente, as pastilhas foram levadas ao equipamento para a dosagem dos elementos.

As análises químicas foram realizadas num espectrômetro de fluorescência de raios X, marca Philips X, disponível no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) da Companhia de Pesquisa de Recursos Mineraias (CPRM-RJ).

### 3.4. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

A difratometria de raios X foi utilizada com o objetivo de identificar as várias espécies mineraias, determinar politipos e os dados da célula unitária dos principais mineraias da Pederneira.

Os difratogramas de raios X foram obtidos pelo método de pó num difratômetro VEB Freiburger Präzisionsmechanik, modelo H264/C do Laboratório de Raios X do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) da UFMG. Utilizou-se nesta operação o tubo monocromático de  $\text{CoK}\alpha$ , velocidade do goniômetro =  $2^\circ/\text{min}$ , tensão de 40 KV e corrente de 35 mA. Para tanto, cada amostra foi moída e reduzida a um pó bem fino e submetida à análise por difratometria de raios X. A partir dos dados obtidos dos diagramas de pó, foram realizados os cálculos dos parâmetros unitários de vários mineraias. Para esta determinação, recorreu-se a um programa de computação, denominado Miller2. Os difratogramas de raios X foram empregados, também, para determinar o grau de triclinicidade dos feldspatos alcalinos.

Os parâmetros obtidos da difração de raios X estão nas Tabelas 12 a 17 (anexo III), correspondendo, respectivamente, aos mineraias de albita, microclina, moscovita, lepidolita, turmalina, berilo e granada.

### 3.5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO

As amostras de minerais da Mina da Pederneira foram identificadas através dos espectros da radiação infravermelha.

A técnica de preparação da amostra para análise consistiu em misturar a amostra finamente pulverizada ( $\pm 1$  mg) com brometo de potássio ( $\pm 100$  mg). Posteriormente, comprimiu-se a mistura numa matriz, aplicando-se pressão suficiente para produzir um disco transparente de dez milímetros de diâmetro. Depois, o preparado, em forma de pastilha, foi analisado por um espectrofotômetro de infravermelho, marca Perkin-Elmer, modelo 283B, no Laboratório de Espectroscopia de Raios X no Infravermelho do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. O equipamento é dispersivo e contém os seguintes principais elementos: uma fonte de radiação infravermelha, um compartimento de amostra, um monocromador e um detetor de radiação. Utilizou-se o filamento de Nernst, como fonte de radiação, que opera a uma temperatura de  $1.700^{\circ}$  C e uma voltagem de 117 volts.

Os diagramas do infravermelho registraram picos na região compreendida entre 200 a  $4.000\text{ cm}^{-1}$ . Os picos foram medidos e interpretados, utilizando-se da comparação de tabelas padrões das espécies minerais. Os resultados das frequências das bandas de absorção no infravermelho estão disponíveis nas Tabelas 18 a 23 (anexo IV).

Este método tem como vantagem o pouco consumo de quantidade de amostra. Em determinada posição da estrutura, o gráfico indicou a presença de fases fluidas.

## Capítulo 4

### ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

---

**O**s aspectos fisiográficos da região, onde ocorre a área da Pederneira, são típicos de um clima tropical do tipo Aw, na classificação de Köppen (1948). Este tipo de clima caracteriza-se por apresentar velocidades de reação química no ambiente secundário maiores do que outras regiões e o solo alcança sua maturidade em menor tempo.

O clima, vegetação, drenagem e solo interagem entre si e com o substrato rochoso, caracterizando a paisagem geoquímica da região. A combinação desses fatores fornece subsídios de certa importância, uma vez que o meio ambiente influencia na migração dos elementos químicos na zona supergênica.

#### 4.1. CLIMA

O clima reinante na região é considerado tropical, quente e semi-úmido, de acordo com a classificação de Nimer (1989). O regime climático caracteriza-se por apresentar duas estações definidas, ou seja, uma estação seca e outra chuvosa.

A estação seca abrange os meses de abril a setembro e o período mais seco coincide com o inverno. A estação chuvosa compreende os meses de outubro a março e o período mais chuvoso coincide com o final da primavera e início do verão.

O índice pluviométrico anual oscila entre 1.000 a 1.250 mm, apresentando os meses de dezembro, janeiro e fevereiro como os de maior precipitação pluviométrica.

O clima caracteriza-se em toda a sua extensão por médias anuais superiores a 20°C. Mais precisamente, a temperatura média anual varia entre 20 a 24°C. Os meses de junho e julho são os mais frios, alcançando a temperatura média um pouco superior a 18°C. O mês mais quente é o de fevereiro e as temperaturas médias alcançam médias superiores de 26°C.

#### 4.2. VEGETAÇÃO

A vegetação original, representativa da floresta da Mata Atlântica, está quase que totalmente destruída pela ação antrópica, dando lugar as atividades agrícolas e pastoris.

Através do Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira, Filho et al. (1987) estudaram os remanescentes da vegetação primitiva da área da Folha SE.24 Rio Doce, enquadrando-os na Floresta Estacional Semidecidual. Esta vegetação caracteriza-se por árvores de grande porte, tronco retilíneo e agrupamento denso. O conceito ecológico da Região Estacional está relacionado com o clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca. Este clima acarreta uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, os quais têm adaptações à deficiência hídrica. O déficit hídrico anual no solo faz-se sentir de maneira significativa nas plantas através da perda das folhas para sobreviverem à época desfavorável.

Os ambientes típicos desta vegetação são caracterizados por um período seco de 90 a 120 dias, principalmente, em áreas dissecadas do Pré-cambriano. Remanescentes da floresta primitiva são encontrados, ainda que bastante descaracterizados, em sítios isolados como a área da Pederneira. Entre as espécies comumente encontradas ocorrem, entre outras, o jequitibá, sapucaia, copaíba, cedro, ipê, peroba e palmeira nativa.

Nas áreas ocupadas pela pecuária, são poucos os testemunhos da antiga floresta. Extensas superfícies foram totalmente desflorestadas e transformadas em pastagens e, em alguns casos, inteiramente abandonadas e invadidas pelas samambaias-açu, como pode ser observada na localidade de Sumidouro.

As áreas agriculturáveis estão distribuídas nos vales do Urupuca e Suaçuí Grande, concentrando-se os plantios nas depressões mais úmidas. Nos locais de maiores altitudes desenvolveu-se a prática da cafeicultura.

### 4.3. HIDROGRAFIA

Regionalmente, a rede hidrográfica do Suaçuí Grande faz parte da grande bacia do rio Doce, sendo considerado o rio Suaçuí Grande como o principal curso d'água da região, drenando a parte sul da Folha de Santa Maria do Suaçuí no sentido de oeste para leste. Este rio fica na margem esquerda do rio Doce.

Outro rio importante é o rio Urupuca, que corta as litologias da Formação São Tomé, no sentido geral, de norte para sul, desaguando no rio Suaçuí Grande no sudeste de São José da Safira. O rio Urupuca constitui-se num principal afluente da margem esquerda do rio Suaçuí Grande.

Na parte leste da Folha, existe um conjunto de lagoas que possuem um certo alinhamento norte-sul, situando-se a maior parte delas na margem esquerda do rio Urupuca. Destacam-se entre elas as lagoas de Santa Rosa, Barro Preto, Dourada e Urupuca. A lagoa Vapabusul, historicamente conhecida por ter passado o bandeirante Fernão Dias Paes Leme, deságua no rio Suaçuí Grande por passagem subterrânea e situa-se no sul de São José da Safira (Foto 1).



**Foto 1 – Vista da lagoa Vapabusul. Apresenta-se entalhada entre as colinas ovaladas e com forma de meia-laranja, constituindo-se uma feição topográfica bem típica da região de São José da Safira. A lagoa de Vapabusul situa-se ao sul de São José da Safira.**

A Serra do Cruzeiro é um divisor hidrográfico entre a rede de drenagem dos rios Suaçuí Grande e Urupuca. Este último possui, como afluente principal da sua margem direita, o rio Surubim, que drena a área de noroeste para sudeste, banhando o lugarejo de Santo Antônio do Surubim.

Localmente, na área da Pederneira, o sistema de drenagem apresenta um padrão dendrítico a sub-retangular, denotando-se a influência do controle estrutural advindo do relevo das serras da região. A drenagem local está representada pelo córrego Ouro, afluente da margem direita do córrego Pederneira.

#### **4.4. SOLO**

Os tipos pedológicos que ocorrem com maior frequência na região são os Latossolos e Podzólicos, os quais estão associados à floresta tropical, conforme dados de Fontes et al. (1978).

De acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA) e a Classificação Americana *Soil Taxonomy* de 1975, o Projeto RADAMBRASIL elaborou uma classificação pedológica na Folha SE.24 Rio Doce, Santos et al. (1987). Estes dados foram correlacionados à área em estudo devido às semelhanças da vegetação, relevo, drenagem, clima e substrato rochoso.

O embasamento arqueano (complexo granítico-gnáissico), o granito Jenipapo do paleoproterozóico e o granito neoproterozóico, intrusivo, de Santa Rosa estão relacionados com a ocorrência de solo do tipo Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico, textura médio-argilosa, sendo desenvolvido em relevo suave ondulado a montanhoso e em ambiente de Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Subcaducifolia. Os granitóides de composição tonalítica e granodiorítica estão relacionados com o Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico com textura argilosa e relevo ondulado. O complexo metamórfico migmatítico apresenta o seu solo correspondendo ao Latossolo Vermelho-amarelado distrófico com textura argilosa, relevo ondulado e desenvolvido em ambiente de Floresta Subcaducifolia. A coloração amarela do solo, geralmente, é indicativa da hidratação dos óxidos de ferro, ocasionada pela péssima drenagem do solo.

O anfibolito e o xisto da Formação São Tomé influenciaram no desenvolvimento de um solo maduro, constituído pelo Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico e o Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico. Por outro lado, o quartzito da Formação São Tomé, que ocorre na Serra do Cruzeiro, forma um solo essencialmente arenoso, branco, imaturo, pouco desenvolvido, podendo ser classificado como um litossolo. Este solo ocorre em terreno fortemente acidentado, de pouca vegetação e horizontes A, B e C inexpressivos, aflorando quase sempre a rocha mãe quartzítica.

Os sedimentos fluviais do terciário e quaternário deram origem aos Podzol Hidromórfico, Gleis Húmico, Solo Orgânico, Solo Aluvial e Cambissolo de origem aluvionar. Estes tipos de solo apresentam-se associados, normalmente, a um relevo plano e suavemente ondulado, com textura arenosa média a cascalhenta e sendo formados em ambiente de Floresta Ombrófila Densa.

## Capítulo 5

### GEOMORFOLOGIA

---

**A** Depressão Interplanáltica do Alto-Médio Rio Doce é a unidade geomorfológica dominante na região de São José da Safira. O relevo é originado pela erosão diferencial, sendo escavado pelos tributários do rio Doce. Estes são representados pela rede de drenagem dos rios Suaçuí Grande, Urupuca e Surubim.

Numa vasta extensão de áreas mais arrasadas, observa-se uma paisagem de planícies aluvionares com relevo de morrotes arredondados e suavemente ondulados, em forma de meia-laranja. Esta feição de modelado de colinas domina todo médio vale do Rio Doce. Estes modelados de dissecação diferencial resultam em vários níveis de aplainamento de forma escalonada. Os relevos dissecados e as zonas rebaixadas constituem-se num indício de vulnerabilidade litológica ao intemperismo químico, sendo esculpidos por sucessivos ciclos erosivos que atingiram o xisto e a rocha calciossilicática da Formação São Tomé. É comum observar ocorrências de voçorocas nestes morrotes, cujo lençol freático e/ou águas de escoamento superficial desempenham um papel preponderante na escavação ou arrancamento das partículas do terreno.

O vale do Urupuca é formado por planícies aluviais, destacando-se as zonas rebaixadas, deprimidas e resultantes de um intenso trabalho de erosão. Estas áreas de depressão permitiram a colmatação parcial de sedimentos terciário e quaternário, mostrando uma paisagem de vales largos e chatos com formação de numerosos lagos e lagoas, que se destacam na parte leste da região. As planícies fluviais são constituídas por terraços arenosos e argilo-arenosos e que, ocasionalmente, são inundadas pelas águas das cheias (Foto 2).

Nas áreas em que se encontram as Minas do Cruzeiro, Aricanga, Chiar e Pederneira há uma mudança brusca de paisagem em relação às anteriormente descritas. Uma feição geomorfológica expressiva na área é a Serra do Cruzeiro, cuja altitude máxima atinge a 1.060 metros. Portanto, existe um desnível de 760 metros entre a Serra do Cruzeiro e a cidade de São José da Safira. Esta serra forma um espigão de direção norte-sul, aproximadamente, com uma extensão de 5 km, desviando-se para nordeste até uma extensão de 5 km, cuja altitude declina para 700 metros. A serra é formada por um espesso pacote de quartzito e quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé, extremamente resistente à meteorização, apresentando regionalmente um relevo muito acidentado com escarpas abruptas, proveniente de uma falha de empurrão.





Foto 2 – Aspecto do Vale do Urupuca. Observa-se uma ampla superfície baixa de fundo chato. Esta paisagem estende-se por toda parte leste da Folha Santa Maria do Sapucaí, ao longo do sistema hidrográfico do rio Urupuca.



Foto 3 – Relevo montanhoso na área da Serra do Cruzeiro, situado no nordeste de Poaia, próximo à Mina do Chiar. Destacam-se várias manchas brancas na declividade da elevação, indicando a existência de pegmatitos, os quais estão intrudidos nos metassedimentos da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce.

Estas formas de relevo da região foram originadas pelos eventos geotectônicos, como é o caso dos desníveis estruturais da Serra do Cruzeiro, que se combinaram com as modificações climáticas. Os eventos relativos aos Ciclos Transamazônico e Brasileiro desempenharam funções relevantes, gerando movimentos de tectônica compressional, colocando os metassedimentos da Formação São Tomé sobrepostos às rochas do Complexo Basal por processo morfogenético de cavalgamento. O Ciclo Brasileiro provocou a tectogênese das supracrustais, episódio acompanhado de movimentos de blocos, metamorfismos e intrusões de granitos e pegmatitos.

A área em que ocorrem os Pegmatitos da Pederneira, Chiar, Cruzeiro e Aricanga caracteriza-se por um modelado de aspecto montanhoso (Foto 3). É realçada pela dissecação diferencial que explora as fraquezas litológicas, escavando sulcos profundos e orientando-se por sistemas de fraturas. A influência do controle estrutural reflete-se no modelado da serra, destacando-se as escarpas íngremes, cristas, pontões e vales com entalhes estreitos e profundos.

## Capítulo 6

### GEOLOGIA REGIONAL

---

**O**s litótipos mapeados da Folha de Santa Maria do Suaçuí correspondem ao Núcleo Antigo Guanhães e à Faixa Móvel/domínio ocidental. Os terrenos, que compõem o Núcleo Antigo Guanhães, são formados de rochas mais antigas e pertencem ao Ciclo Transamazônico. Estão representados por ortognaisses tonalítico, granodiorítico e granítico e granito migmatizado, com intercalações de rocha metabásica. Localmente, ocorrem corpos graníticos sin e pré-tectônicos e formação ferrífera.

A Faixa Móvel/domínio ocidental está integrada ao Cinturão Araçuaí, sendo formada por xisto, quartzito, rocha calciossilicática, gnaiss xistoso, gondito, migmatito e intrusões graníticas sin- a tarditectônicas. O Ciclo Brasileiro atuou no rejuvenescimento de rochas mais antigas, arqueanas e paleoproterozóicas, assim como foi responsável pelo metamorfismo, deformação das coberturas brasileiras e intensa granitogênese.

#### 6.1. ASPECTO GEOTECTÔNICO

Almeida et al. (1977) propuseram dividir o Brasil em dez províncias estruturais, conforme Figura 2. As regiões de Santa Maria do Suaçuí e São José da Safira, onde ocorrem os pegmatitos da Formação São Tomé, estão inseridas na Província Mantiqueira.

A porção norte desta província foi subdividida em duas faixas: Faixa de Dobramento Araçuaí e Faixa de Dobramento Paraíba do Sul, levando-se em conta aspectos estruturais e geológicos, Hasui et al. (1975).

Almeida (1967) considerou a Província Mantiqueira como uma faixa tectônica de idade brasileira, composta por rochas pré-cambrianas, estando limitada pela Província do São Francisco e a Província Costeira, na região central e leste de Minas Gerais.

A Província do São Francisco coincide com o Cráton do São Francisco, sendo de idade pré-brasiliana, Ebert et al. (1993). A Província Geotectônica Mantiqueira foi retrabalhada durante a orogênese brasileira, a qual delineou a Faixa Araçuaí, a Faixa Ribeira (Cinturão Móvel Costeiro ou Atlântico) e o Cinturão Transpressivo Rio Paraíba do Sul.

Silva et al. (1987), na elaboração da Folha SE.24: Rio Doce do Projeto RADAMBRASIL, propuseram denominar esta região de Província Geológica Mantiqueira. No entanto, em vista de caracteres geológicos, estruturais e em



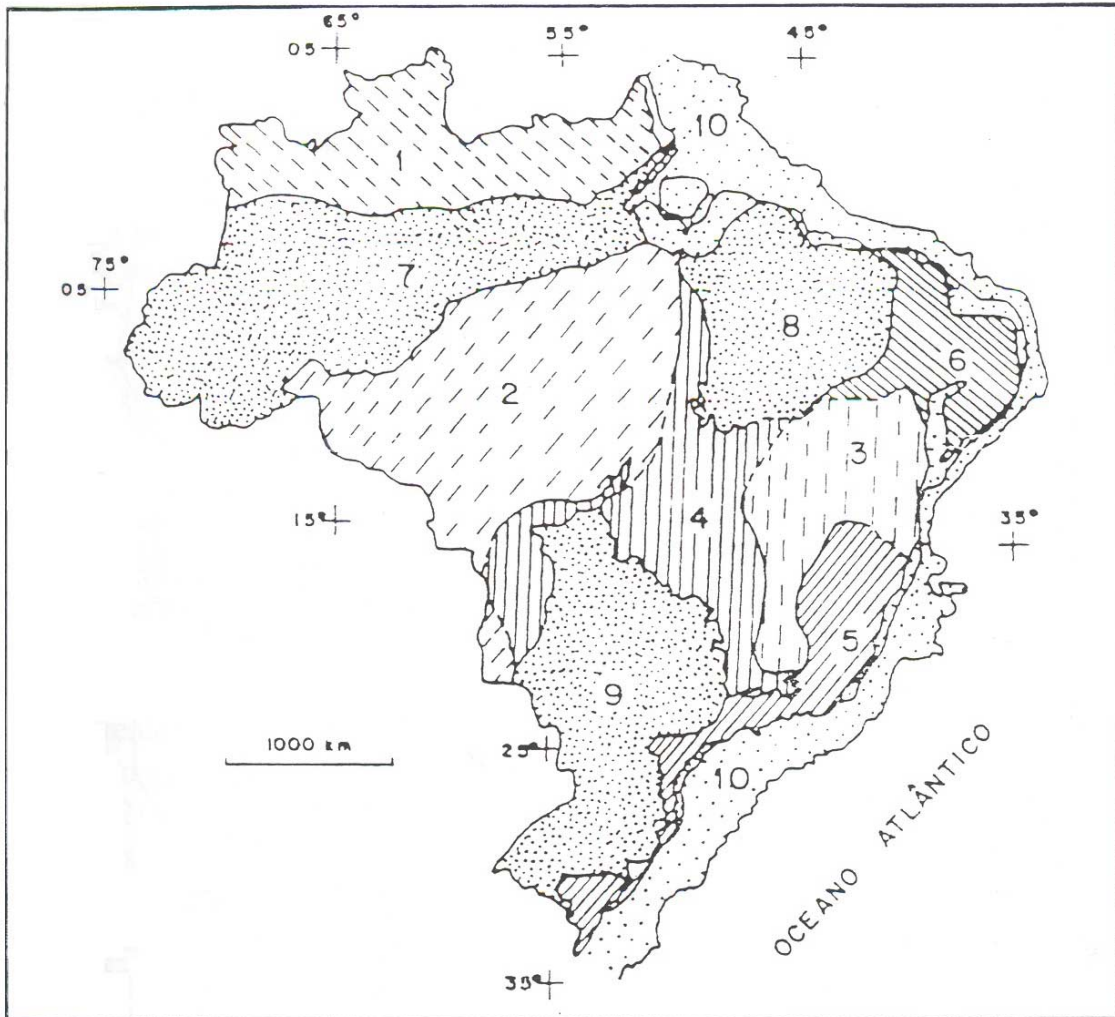


Figura 2 – Províncias Estruturais Brasileiras, segundo Almeida et al. (1977).

1 – Rio Branco; 2 – Tapajós; 3 – São Francisco; 4 – Tocantins; 5 – Mantiqueira; 6 – Borborema; 7 – Amazônica; 8 – Paraná; 9 – São Francisco; 10 – Província Costeira e Margem Continental.

parte geocronológicos, subdividiu a mesma em duas subprovíncias: Araçuaí e Médio Rio Doce. Destacaram a forte atuação do Ciclo Brasileiro na província, retrabalhando terrenos mais antigos, arqueano e proterozóico inferior, assim como sendo responsável pelo metamorfismo, deformação das coberturas brasilianas e pela formação de intensa granitogênese. O tempo mesoceno-zóico foi palco de reativações, culminando com a deriva continental Brasil-África e posterior edificação de bacias marginais, tipo Atlântico.

Almeida et al. (1968, 1977) denominaram de Faixa Dobramento Araçuaí o limite sudeste do Cráton do São Francisco, conforme Figura 3. Esta faixa coincide com a Província Mantiqueira e o seu desenvolvimento verificou-se durante o Ciclo Brasileiro, reunindo depósitos litológicos deste ciclo e afetando rochas mais antigas, que serviram de embasamento. Portanto, esses núcleos mais antigos foram rejuvenescidos no Ciclo Brasileiro,

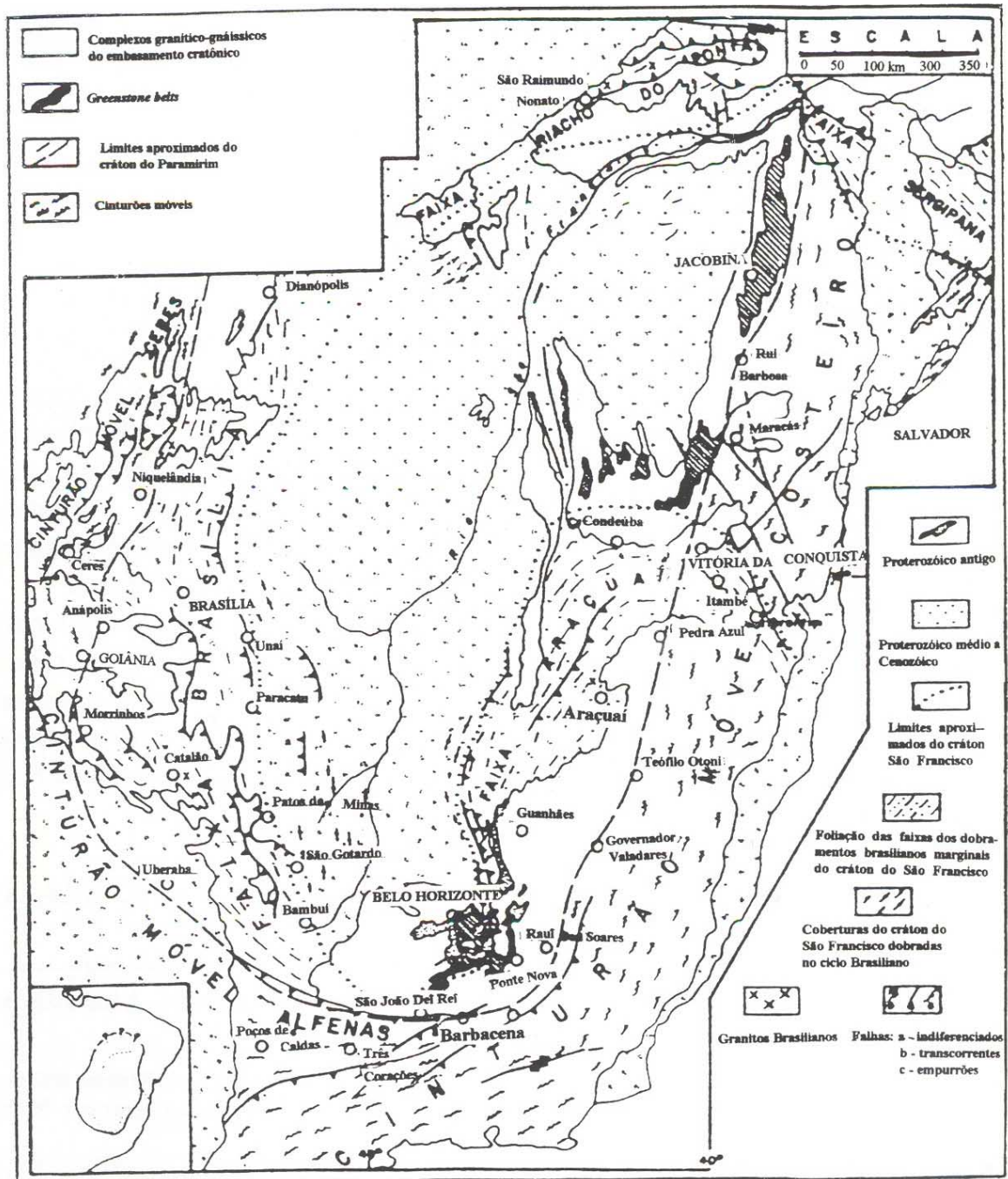


Figura 3 – Os Crátoms do São Francisco e Paranarim com suas Faixas Móveis Envolventes, segundo Almeida et al. (1977).

ocorrendo intenso processo de remobilização no Complexo Araxá, com fenômenos de metamorfismo retrógrado, fraturamento, granitização e outros fenômenos termo-tectônicos, além dos grandes falhamentos de empurrão. A grande reativação, que teve início no Jurássico Superior, estendendo-se por toda a Plataforma Brasileira, foi responsável pelo desenvolvimento de inúmeras bacias e fossas tectônicas. Em contrapartida, em outras áreas, ocorreu o soergimento de blocos, formadores dos sistemas de montanhas de falhas, constituindo numa grande parte do atual relevo brasileiro.

Wernick et al. (1978) denominaram esta faixa móvel de Região de Dobramento Sudeste, sendo constituída pela Faixa de Dobramento Paraíba e Faixa de Dobramento Ribeira. A Faixa de Dobramento Paraíba, possivelmente, teria evoluído em condição geossinclinal durante o Ciclo Orogênico Transamazônico, enquanto que, a Faixa de Dobramento Ribeira teria dado sua evolução geossinclinal durante o Ciclo Orogênico Brasileiro.

As regiões de Santa Maria do Suaçuí e São José da Safira estão situadas no contexto de faixa marginal do Cráton do São Francisco, onde ocorre a Faixa de Dobramento Araçuaí. Segundo Pedrosa Soares et al. (1994), a região da Faixa Araçuaí foi submetida ao evento distensional que resultou na formação da Bacia Macaúbas, no início do Neoproterozóico. Após a sedimentação da bacia, feita pela acumulação de depósitos glácio-litorâneos, foram formadas as unidades do Grupo Macaúbas. A bacia sofreu um processo de inversão tectônica, transformando-se num cinturão de dobramentos e empurrões, denominado de Faixa Araçuaí.

A granitogênese tardi e pós-tectônica (500-550 m.a.) deram origem aos diferentes tipos de pegmatitos, resultando no espessamento crustal progressivo que ocorreu em função do fechamento do orógeno, Pedrosa Soares et al. (1992).

Castro (1995) destacou dois eventos importantes que ocorreram no bordo leste do núcleo arqueano desse cráton. Um deles foi o rifteamento no qual o Espinhaço se depositou e o outro, provavelmente, uma margem continental ativa, responsável pelo falhamento na parte sul da seqüência Espinhaço. Esta margem ativa deve ser, com maior probabilidade, a causadora dos efeitos termais ocorridos durante o Ciclo Brasileiro, mascarando a idade real da maior parte das rochas da região.

Wernick et al. (1981) ressaltaram que a região em foco, ao fim do Ciclo Brasileiro, foi palco de uma intensiva tectônica rígida que se revela através de grandes zonas rúpteis, tanto de natureza transcorrente quanto de empurrão. A análise dos tipos de zonas rúpteis revela as margens, que são coerentes entre si e compatíveis com um processo de encurtamento crustal, sob ação de esforços compressivos e com direção geral entre E-W e ENE-WSW.

Segundo Silva et al. (op. cit.), a fase principal de tectogênese e metamorfismo remonta há 650-750 m.a., com o desenvolvimento de grau de metamorfismo de fraco a médio nas supracrustais, Winkler (1977), em condições de pressão do tipo Barrowiano, seguido pela colocação de plutonitos sin-, tardi- e pós-tectônicos. Advogaram uma origem essencialmente termo-tectônica para o evento do Proterozóico Superior, devido à grande distribuição de plutonitos, em especial aqueles de caráter sin a tarditectônicos. Entretanto, os efeitos compressionais tiveram lugar, resultando no conjunto uma vergência em direção ao Cráton do São Francisco.

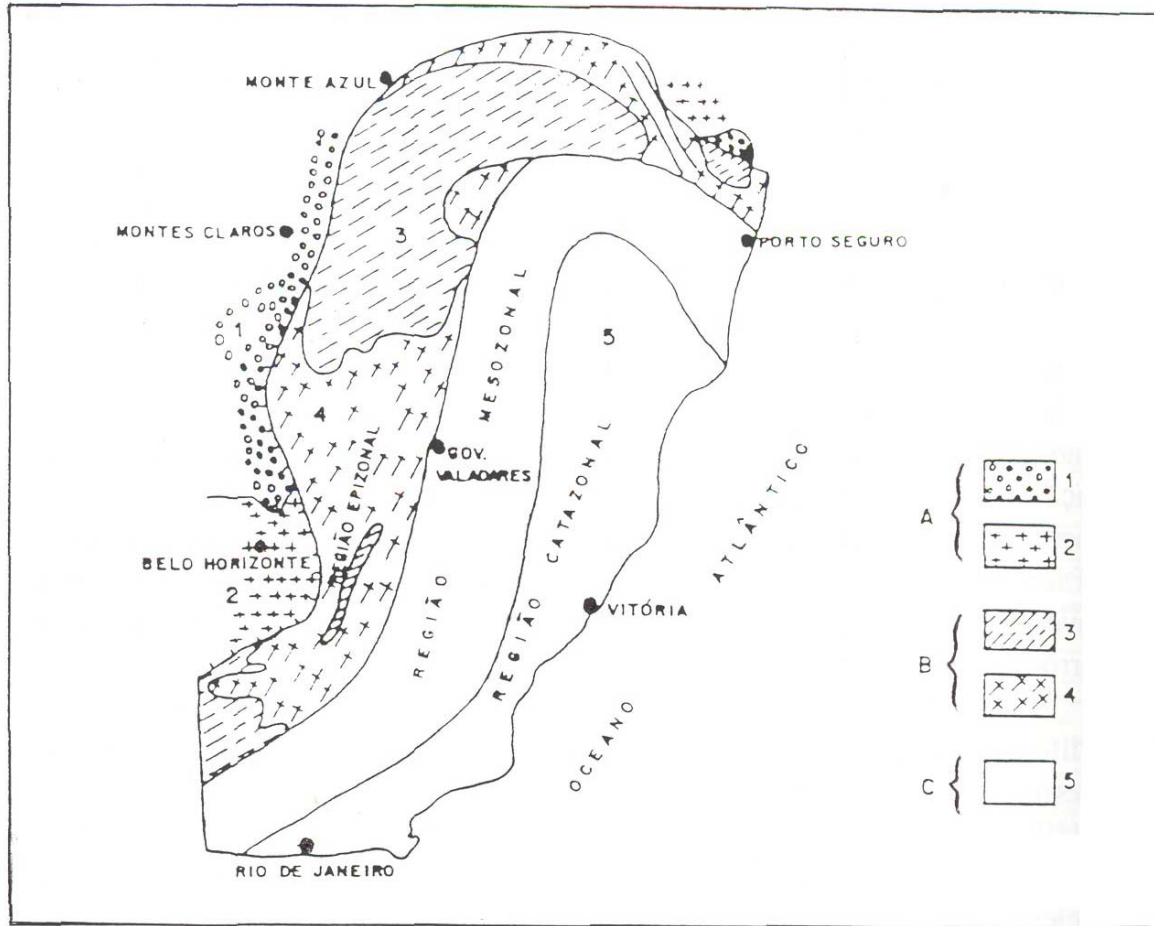


Figura 4 –Zoneamento Metamórfico da Província Mantiqueira durante o Ciclo Brasileiro, segundo Siga Jr. Et al. (1982).

A – Cráton do São Francisco:

- 1 – Coberturas brasileiras (Bambuí e Rio Pardo);
- 2 – Rochas do embasamento cristalino.

B – Supracrustais da Faixa Ribeira:

- 3 – Metassedimentos do Ciclo Brasileiro (Macaúbas, Andrelândia e São João Del Rei);
- 4 – Rochas do embasamento metamórfico.

C – Infra-estrutura da Faixa Ribeira:

- 5 – Rochas meso e catazonais brasileiras e/ou rochas polimetamórficas do embasamento pré-brasiliano.

Uhlein & Trompette (1997) destacaram as falhas normais, aproximadamente norte-sul, seguindo linhas de fraqueza herdadas do rift Espinhaço, como sendo responsáveis pelo rift Araçuaí. O Supergrupo Espinhaço foi soerguido e basculhado por esta tectônica extensional, neoproterozóica. Quando elevado, sofreu profunda erosão associada à sedimentação do Grupo Macaúbas. A discordância angular entre o Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas deve-se a este evento tectônico extensional. Estas falhas, devido à fase de inversão tectônica da bacia (Orogênese Brasileira), foram consideradas, provavelmente, como falhas de empurrão. O

evento orogênico está relacionado com o final do Ciclo Brasileiro, em torno de 550 a 650 m.a.

Siga Jr. et al. (1982) exibiram um esboço de zoneamento metamórfico do Cinturão Ribeira, porção Setentrional, discriminando em epizona, mesozona e catazona em relação ao Ciclo Brasileiro, conforme mostra a Figura 4.

Pedrosa Soares et al. (op. cit.) apresentaram as grandes etapas de evolução do arcabouço geotectônico de Minas Gerais, conforme se segue:

a) Estruturação de primeira ordem, arqueana e paleoproterozóica, em quatro grandes blocos crustais: Brasília, Vitória, São Paulo e Paraná;

b) Estabelecimento de extensos cinturões orogênicos e coberturas plataformais, neoproterozóicos, relacionados com a individualização do Cráton São Francisco. Estes cinturões, representados pelas faixas móveis Araçuaí, Alto Rio Grande e Brasília, envolveram a maior parte das seqüências depositadas nas bacias Espinhaço e Uruaçu, durante o Proterozóico Médio;

c) Estruturação da Bacia do Paraná e seu preenchimento a partir do Paleozóico ou um pouco antes;

d) Soerguimento (Alto Paranaíba, Mogi-Guaçu e Mantiqueira) que se manifestaram no contexto da Reativação Sul-Atlântica, durante o Cretáceo e início do Terciário;

e) Finalmente, o estabelecimento de bacias continentais e zonas de reativação neotectônica do Neogeno-Quaternário.

As grandes descontinuidades, marcando as zonas de colisão de massas continentais (zonas de sutura), encontram-se profundamente erodidas.

## 6.2. GEOLOGIA

Os dados geológicos foram baseados nos recentes estudos do Projeto Leste – Folha de Santa Maria do Suaçuí, realizado por Silva (1997). Na Figura 5 está representado o mapa geológico regional e a correspondente coluna estratigráfica.

### 6.2.1. LITOESTRATIGRAFIA

Conforme Silva (op. cit.), na Folha de Santa Maria do Suaçuí, ocorrem rochas plutônicas, gnaissificadas e arqueanas dos Complexos Basal e Mantiqueira e rochas metassedimentares, proterozóicas, do Grupo Rio Doce. Encontram-se intrudidos os granitos sin, tardi e pré-tectônicos, rochas



máficas e ultramáficas. As coberturas superficiais do Terciário/Quaternário são compostas por aluvião, terraço aluvial e canga laterítica (Figura 5).

As unidades antigas apresentam uma evolução geológica bastante complexa, ocorrendo diversos eventos tectônicos que afetaram a região a partir do arqueano. Além disso, os processos de migmatização e granitização foram os responsáveis pela transformação de rochas pré-existentes, contribuindo para a complexidade geológica da região.

A Formação São Tomé do Grupo Rio Doce, idade neoproterozóica, mostra evidência de origem sedimentar, provavelmente, relacionada com o material pelítico aluminoso e as rochas calciossilicáticas.

### 6.2.1.1. COMPLEXO BASAL

Segundo Silva (op. cit.), o Complexo Basal abrange um conjunto de rochas do tipo tonalito-granodiorito-granito, gnaissificadas e migmatizadas. Ocorrem, também, corpos de anfibolito, metamáfico e, mais raramente, a formação ferrífera. As rochas distribuem-se numa faixa norte-sul da Folha de Santa Maria do Suaçuí, em sua parte oeste.

As rochas do Complexo Basal foram separadas por Silva (op. cit.) em três unidades litológicas:

- a) **Unidade 1** – Ortognaisses de natureza tonalítica, granodiorítica e granítica;
- b) **Unidade 2** – Ortognaisse com níveis migmatizados;
- c) **Unidade 3** – Ortognaisse que abriga corpo anfibolítico, metaultramáfico e formação ferrífera subordinada.

As unidades descritas a seguir foram baseadas no estudo realizado por Silva (op. cit.) no Projeto Leste.

#### a) **Unidade 1**

• **Ortognaisse Tonalítico:** Formado por hornblenda tonalito gnaiss e hornblenda-biotita tonalito gnaiss com allanita e biotita gnaiss com hornblenda, allanita e hercinita.

Os minerais essenciais são formados pelo quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita. Pode ocorrer, também, microclina e ortoclásio. Os minerais acessórios são constituídos por allanita, apatita, carbonato, clorita, epidoto, opacos, titanita e zircão.

A rocha apresenta coloração cinza, textura granoblástica e lepidoblástica e granulação média a fina. A estrutura é bandada, lenticular, em que se ressalta à alternância de minerais félsicos e máficos.

- **Ortognaisse Granodiorítico:** Formado por biotita-hornblenda granodiorito com allanita, epidoto-hornblenda gnaissse com allanita e titanita-biotita granodiorito gnaissse.

O quartzo, biotita, ortoclásio e plagioclásio são os principais minerais desta fácies litológica. A hornblenda é o mineral mais comum, podendo predominar sobre a biotita. Os minerais secundários são formados pela allanita, apatita, carbonato, clorita, epidoto, monazita, opacos, titanita e zircão.

As rochas exibem granulação média a fina, coloração acinzentada e textura granoblástica a lepidoblástica. Caracteriza-se por apresentar bandamento que é bem similar ao do ortognaisse tonalítico.

- **Ortognaisse Granítico** - Formado por biotita granito gnaissificado com allanita, allanita-hornblenda gnaissse e hornblenda-biotita gnaissse.

Os constituintes principais deste tipo de rocha são quartzo, plagioclásio, ortoclásio, microclina, biotita, hornblenda e mica branca. Granada e clinopiroxênio ocorrem mais raramente. Os minerais acessórios são formados por allanita, apatita, berilo, carbonato, epidoto, opacos, rutilo, titanita, turmalina e zircão.

Caracteriza-se por conter textura granoblástica dominante, bem orientada e, mais raramente, aparece uma textura lepidoblástica. Apresenta variação de granulação de média a fina. As características mesoscópicas são semelhantes ao do ortognaisse granodiorítico. A composição predominante é de monzogranito e, menos freqüente, sienogranito.

## b) Unidade 2

- **Ortognaisse Migmatítico** - Caracteriza-se por apresentar um processo de migmatização bem avançado. Destaca-se um bandamento migmatítico antigo de natureza tectônico/metamórfica, estando dobrado e transposto por episódio deformativo mais recente. As bandas milimétricas a centimétricas destacam-se no material paleossomático, constituído por tonalito-granodiorito-granito.

Sobreposta a esse bandamento, ocorre uma fase migmatítica de injeção mais recente e com acentuado desenvolvimento nesta unidade. Estas injeções estão umas concordantes e outras oblíquas ao bandamento. As injeções oblíquas estão dispostas nos planos de transposição mais novos.

As bandas possuem granulação grosseira e exibe uma coloração branca devido à concentração de minerais félsicos.

## c) Unidade 3

- **Anfibolito** - Compõe-se de bandas lenticulares com espessura na ordem de poucos centímetros até vários metros. Possui cor que oscila de cinza escura a negra, textura granoblástica e nematoblástica, granulação média a

## LEGENDA

### TERCIÁRIO/QUATERNÁRIO

- Qaf Aluviões - Areia, silte, argila e cascalho.
- Qta Terraços Aluviais - Materiais arenosos com níveis cascalhados.
- TQca Coberturas Elúvio - Coluvionares: canga e laterita-ca; coluvião-c
- TQc

### NEOPROTEROZÓICO

- Ngr Granito Tipo Santa Rosa - Biotita granito com e sem granada, localmente porfírico.
- Nb Tonalito Tipo Brasilândia - Hornblenda-biotita tonalito.

### GRUPO RIO DOCE

- Nat1 Formação São Tomé - Unidade 1 - Quartzito médio, puro e recristalizado. Ocorre associado a tipo mais fino, laminado, micáceo e/ou ferruginoso.
- Nat2 Formação São Tomé - Unidade 2 - Quartzito micaxisto, xisto grafitoso, gndito e rocha calciossilicática ocasional.
- Nat3 Formação São Tomé - Unidade 3 - Micaxisto laminado e bandado com granada e sillimanita freqüentes, estauroлита e grafita ocasionais. Freqüentes lentes de rocha calciossilicática.

### PALEOPROTEROZÓICO

- Pr Granito Tipo Jenipapo - Biotita granito gnaisse com magnetita.

### ARQUEANO/PALEOPROTEROZÓICO

#### COMPLEXO MANTIQUEIRA

- Apm Biotita gnaisse com allanita.

### ARQUEANO

- Ab1 Unidade 1 - Ortognaisse de composição tonalítica e granodiorítica dominante.
- Ab2 Unidade 2 - Ortognaisse migmatítico com anfibolito. Lentes de rocha metalultrabásica e anfibolito.
- Ab3 Unidade 3 - Associação de ortognaisse granítico e granodiorítico com anfibolito.

## CONVENÇÕES

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Contato definido</li> <li> Contato aproximado</li> <li> Falha/Fratura aproximada</li> <li> Falha ou zona de cisalhamento</li> <li> Falha de empurrão</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Foliação com mergulho medido</li> <li> Rio</li> <li> Estrada</li> <li> Cidade</li> <li> Lago ou lagoa</li> </ul> |
|---|--|



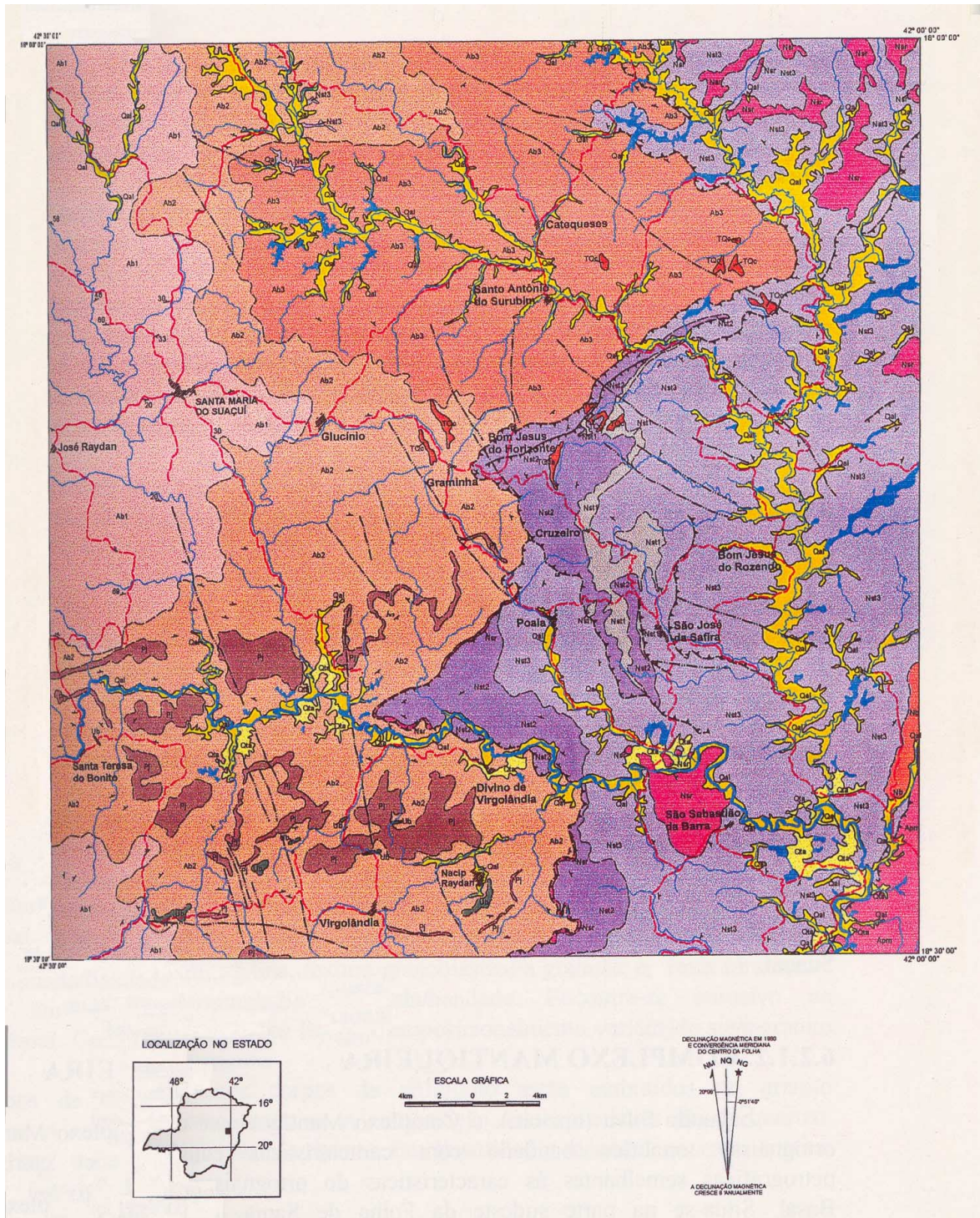


Figura 5 – Mapa Geológico Regional de Santa Maria do Saçu (Folha SE.23-Z-B-III), segundo Silva (1997).

fina e mostra-se bem foliado.

Quartzo, biotita, hornblenda e plagioclásio constituem os minerais essenciais. A mica branca, granada e clinopiroxênio ocorrem mais raramente. A titanita é o mais comum dos minerais acessórios e, em menores proporções, ocorrem apatita, clorita, epidoto, hidróxidos de ferro, opacos e zircão.

O anfíbolito está associado ao ortognaisse e exibe um contato difuso e abrupto, mostrando uma maior distribuição nesta unidade.

- **Metaultramáfico** - Formado por hercinita websterito, hercinita-olivina websterito, clorita-talco xisto e anfíbolito com antofilita e gedrita.

A serpentina, tremolita, talco e carbonato ocorrem no hercinita-olivina websterito. Admite-se pertencer à fácies eclogítica devido à presença da hercinita, ausência de plagioclásio e minerais produtos de sua alteração nas rochas preservadas.

O websterito possui textura granoblástica, com granulação média a grossa e venulações. Associa-se ao anfíbólio piroxenito, anfíbolito com hornblenda, actinolita e tremolita, granada metagabro, granada gabronorito com textura cumalática bem preservada.

- **Formação Ferrífera** – Apresenta-se em forma de corpos tabulares com poucos metros de espessura, encontrando-se associados ao ortognaisse do Complexo Basal.

Os constituintes mineralógicos estão representados pelo quartzo, hornblenda, biotita, magnetita, hidróxido de ferro e cummingtonita/ grunerita.

A formação ferrífera exibe estrutura laminada, milimétrica a centimétrica, em que ocorre alternância de lâminas ricas em magnetita com as de quartzo. Apresenta textura granoblástica, bandada, granulação fina e níveis bem orientados.

Esta formação está associada ao xisto fino intemperizado, quartzito e xisto sericítico/moscovítico, sendo reconhecida na Folha de Santa Maria do Suaçuí.

### 6.2.1.2. COMPLEXO MANTIQUEIRA

Segundo Silva (op. cit.), o Complexo Mantiqueira é constituído por ortognaisse tonalítico bandado com características composicionais e petrográficas semelhantes às características do ortognaisse do Complexo Basal. Situa-se na parte sudeste da Folha de Santa Maria do Suaçuí, apresentando-se com uma distribuição reduzida.

Os minerais essenciais são compostos por quartzo, biotita, plagioclásio, e, em menores quantidades, por ortoclásio e mica branca. Os minerais acessórios são constituídos pelo epidoto, allanita, apatita, clorita, hidróxidos de ferro, leucoxênio, titanita e zircão.

Este ortognaisse possui textura granoblástica a lepidoblástica, granulação média a fina e freqüentes inclusões de quartzo e biotita em plagioclásio. O bandamento é transposto, indicado pelo seu aspecto lenticularizado, pela presença de pequenas dobras isoclinais em níveis félsicos e pelo anastomosado local da foliação. De certo modo, parece conferir uma natureza tectono-metamórfica, denotando um metamorfismo de fácies anfíbolito. Existem bandas porfiroblásticas concordando com o bandamento transposto e que estão, provavelmente, vinculadas às injeções graníticas sin e pré-tectônica de composição monzogranítica.

### **6.2.1.3. GRANITO JENIPAPO**

Segundo Silva (op. cit.), as formas alongadas e dobradas dos corpos do granito Jenipapo e sua posição estrutural no ortognaisse do Complexo Basal sugerem uma geração de granitos sin e pré-tectônicos. A deformação tangencial E-W de provável idade transamazônica acha-se impressa nestes granitos. Os granitos desta unidade distribuem-se essencialmente na parte sudoeste da Folha de Santa Maria do Suaçuí.

O granito apresenta granulação média a fina, contendo quartzo, biotita, K-feldspatos e plagioclásio. A hornblenda é o mineral que está associado às pequenas quantidades de granada. Os minerais acessórios estão representados por allanita, apatita, clorita, opacos, titanita e zircão. Em quantidades mais reduzidas estão os argilo-mineral, carbonato, epidoto, hidróxido de ferro, rutilo e turmalina.

O granito é leucocrático, bem foliado, gnaissificado, com granulação que varia de média a fina, textura granoblástica a granular e, mais raramente, apresenta uma estrutura laminada/bandada. Encontra-se intrusivo no ortognaisse do Complexo Basal. Composicionalmente variam de sienogranito a alcalifeldspato granito.

Os pequenos corpos de anfíbolito estão embutidos no granito gnaissificado como enclaves. A composição desses enclaves são de quartzo, hornblenda, plagioclásio e titanita. Em quantidades menores, ocorrem apatita, allanita e opacos.

### 6.2.1.4. GRUPO RIO DOCE

O Grupo Rio Doce está representado nesta Folha pela Formação São Tomé, sendo constituída por metassedimentos aflorantes no médio rio Doce. O nome teve origem a partir do córrego São Tomé, afluente da margem esquerda do rio Doce, a jusante da cidade de Galiléia, sendo denominado por Barbosa et al. (1964), entre Galiléia e Conselheiro Pena, em Minas Gerais.

#### 6.2.1.4.1. FORMAÇÃO SÃO TOMÉ

Na Folha de Santa Maria do Suaçuí, Silva (op. cit.) dividiu a Formação São Tomé em três unidades:

- a) **Unidade 1** - Quartzito;
- b) **Unidade 2** - Xisto e quartzito;
- c) **Unidade 3** - Xisto, rocha calciossilicática e gnaiss xistoso.

A Formação São Tomé consiste de uma seqüência de metamorfito de fácies anfibolítica. A migmatização nos metassedimentos da Formação São Tomé parece estar relacionada com as injeções sin a tarditectônicas dos pegmatitos e biotita granito fino, este ligado ao granito Santa Rosa.

Os vários litótipos desta formação foram descritos por Silva (op. cit.).

a) **Quartzito** - Existem duas variedades de quartzito na Formação São Tomé. A primeira encontra-se limitada à unidade 1. É constituída basicamente por grãos de quartzo e minúsculas palhetas de moscovita. Encontram-se, também, minerais argilosos, leucóxênio, opacos, rutilo, titanita e zircão. Ocorrem, também, sillimanita, granada e pirita em níveis mais moscovíticos. O quartzito avermelhado ferruginoso é proveniente da alteração da pirita. De modo geral, predomina a cor branca típica do quartzito, com granulação de média a grossa e grau de recristalização bem acentuado. No sudeste da Serra do Cruzeiro, surgem pequenos corpos de talco-cummingtonita xistos com clorita, granulação fina, textura nematoblástica, alterados para talco e serpentina, encaixados no quartzito de modo concordante. César Mendes (1995) sugere que estes xistos ultrabásicos possam ser interpretados como pequenas soleiras.

O segundo tipo de quartzito, restrito à unidade 2, está representado por bancos de quartzito de espessura com poucos centímetros até cinco metros, que está intercalado com xisto, em contato gradacional. Está formado por quartzo, mica branca e opacos, com sillimanita e minerais metálicos subordinados. Apresenta coloração branco-amarelada, textura granoblástica a lepidoblástica e granulação fina a média. Os minerais acessórios são



formados por apatita, epidoto, hidróxidos de ferro, titanita e zircão. Em diversas localidades, esse quartzito está alternado com o xisto, caracterizando uma seqüência turbidítica arenosa (Foto 4).

b) **Xisto** - Predomina moscovita-biotita xisto e subordinadamente moscovita-plagioclásio-quartzo-biotita xisto, quartzo-biotita-feldspato xisto, moscovita-quartzo-plagioclásio-biotita-carbonato xisto e xisto grafitoso.

Estes xistos são constituídos principalmente por quartzo, moscovita e biotita. Em quantidades variáveis contêm carbonato, cianita, cordierita, estauroлита, feldspato, grafita, granada e sillimanita. Destes minerais, a granada e sillimanita são os mais comuns. Os minerais acessórios são constituídos por apatita, carbonato, clorita, leucóxênio, opacos, titanita, turmalina e zircão.

Caracterizam-se pela xistosidade bem desenvolvida causada por micas. Possuem coloração cinza clara a cinza escura, granulação fina a média, textura granoblástica a lepidoblástica e, nas porções mais preservadas, ocorre um nítido bandamento composicional. Nas zonas mais deformadas, ocorrem, freqüentemente, veios e vênulas de quartzo na estrutura planar das micas (Foto 5).

c) **Xisto Grafitoso** - Este xisto situa-se nas unidades 2 e 3, com maior expressão nesta última. Na unidade 2, a espessura varia de poucos centímetros e a rocha apresenta-se com cor cinza-prateada. Na unidade 3, o xisto é mais espesso e chega até a quinze metros de espessura. Possui cor negra e contém bastante sillimanita.

d) **Rocha Calciossilicática** - De aspecto maciço, ocorre na forma de lentes intercalada no xisto.

É constituída pelos seguintes minerais essenciais: anfibólio, carbonato, clinopiroxênio e plagioclásio. Os minerais acessórios são formados por allanita, apatita, opacos, titanita, zircão, epidoto, escapolita e granada.

Apresenta coloração cinza-esverdeada, granulação muito fina, textura granoblástica a nematoblástica e estrutura laminada a bandada.

e) **Gondito** - Ocorre encaixado no xisto com tamanho centimétrico a métrico. Apresenta os seguintes constituintes mineralógicos: granada, quartzo, hidróxidos de ferro, actinolita, cummingtonita/grunerita e plagioclásio. Apatita e opacos ocorrem como minerais acessórios.

O gondito apresenta-se bastante fraturado, pouco foliado, coloração avermelhada, texturas granoblástica e nematoblástica-poiquiloblástica e granulação média a fina.





Foto 4 – Aspecto do afloramento de quartzito da Serra do Cruzeiro. Esses metassedimentos pertencem à unidade 2 da Formação São Tomé, situando-se a 14 km no noroeste de São José da Safira, e estão próximos ao povoado do Cruzeiro.

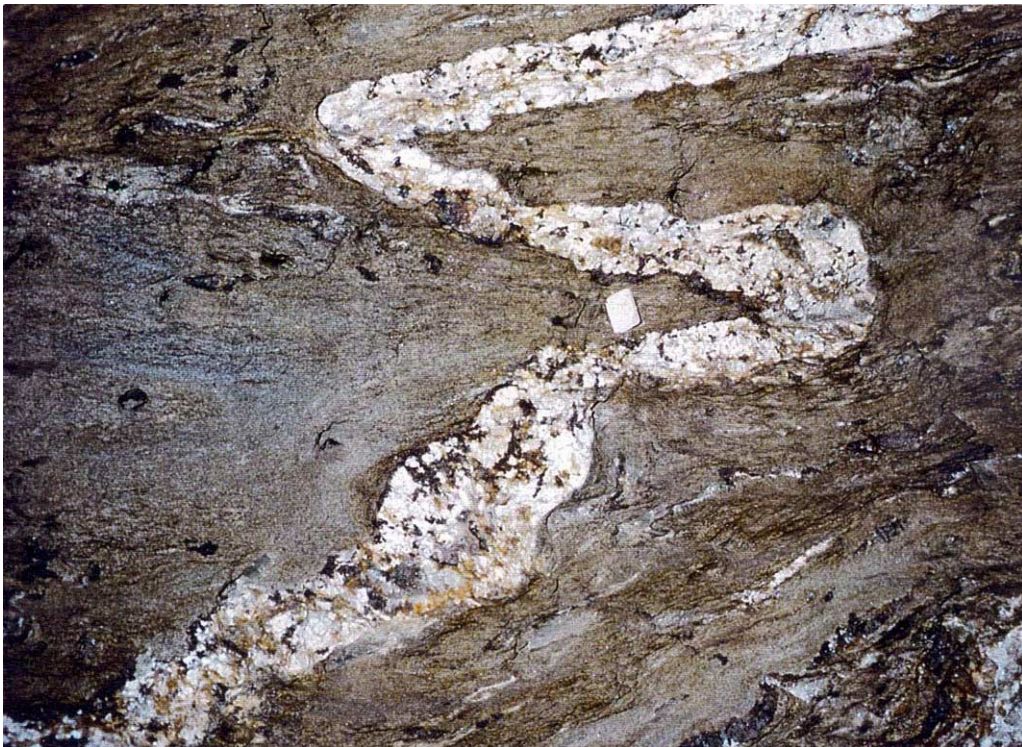


Foto 5 – Veio de quartzo-feldspático, dobrado, encaixado no quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce. Dobra recumbente, apresentando um flanco mais curso em relação ao outro. Concordante ao bandamento do xisto que, também, se apresenta dobrado. Localiza-se na galeria subterrânea da Mina da Pederneira.

f) **Gnaisse xistoso** - De ocorrência restrita, o gnaisse xistoso caracteriza-se por um elevado grau de recristalização, pela deformação acentuada e pela ocorrência de injeções graníticas. Ocorre associado ao quartzito micáceo.

Apresenta a seguinte composição mineralógica: biotita, quartzo, plagioclásio e pouca mica branca. Em quantidades menores, ocorrem apatita, berilo, epidoto, monazita, opacos, titanita e zircão.

g) “**Migmatito**” - O aspecto migmatítico nos metassedimentos da Formação São Tomé parece estar relacionado com as injeções sin a tarditectônicas de granito fino, leucocrático e ligado ao granito Santa Rosa. Ocorrem, também, em grande quantidade, veios e bolsões de pegmatitos, muitos deles mineralizados. Frequentemente, ocorrem veios, vênulas e *boudins* de quartzo e quartzo-feldspato.

O granito injetado (Santa Rosa) apresenta textura granular, hipidiomórfica. Os minerais essenciais são formados por biotita, K-feldspato, quartzo e plagioclásio. A mica branca é o mineral mais comum, que pode estar associada à granada ou hornblenda. Os minerais acessórios são compostos por allanita, apatita, argilo-mineral, carbonato, clorita, epidoto, hidróxidos de ferro, leucoxênio, opacos, rutilo, titanita e zircão.

#### 6.2.1.5. GRANITO BRASILÂNDIA

O Granito Brasilândia (sin e pré-tectônico) ocorre, também, na Folha de Santa Maria do Suaçuí. Consiste de um corpo batólito, restrito a uma estreita faixa no sudeste da área. Conforme Silva (op. cit.), a unidade é composta por rocha de granulação fina, leucocrática, levemente foliada e composição predominantemente tonalítica.

É constituída por biotita, hornblenda, microclina, ortoclásio, quartzo e plagioclásio. Em quantidades menores, ocorrem allanita, apatita, epidoto, opacos, titanita e zircão.

#### 6.2.1.6. GRANITO SANTA ROSA

Conforme Silva (op. cit.), os corpos graníticos de Santa Rosa (sin a tarditectônico) são intrusivos nos metassedimentos da Formação São Tomé. Os granitos mostram formas alongadas segundo as direções estruturais dos metassedimentos encaixantes. Ocorrem vários diques de mesma filiação, dispostos discordantemente daquela estrutura. Os granitos Santa Rosa

distribuem-se, predominantemente, no nordeste da área e, em menor escala, no sudeste.

Os corpos mapeados são isotrópicos nos núcleos e ligeiramente foliados nas bordas. As características de geração são a tardiectônica dos granitos estão impressas nessas litologias, devido à deformação regional tangencial N-S de idade brasileira.

Os principais constituintes são: quartzo, plagioclásio, microclina e biotita e, mais raramente, moscovita. Os minerais acessórios são formados por allanita, apatita, argilo-mineral, carbonato, clorita, epidoto, hidróxidos de ferro, leucocênio, monazita, opacos, rutilo, titanita e zircão.

O granito é leucocrático, apresentando granulação fina a média e textura granular hipidiomórfica/granoblástica a granolepidoblástica. Possui uma composição, predominantemente, sienogranítica a monzogranítica.

### 6.2.1.7. ROCHA BÁSICA NÃO DEFORMADA

Conforme Silva (op. cit.), ocorrem pequenos corpos de rocha básica, em forma de diabásio, sendo não mapeáveis em escala de trabalho. A rocha apresenta coloração verde-escura a negra, estrutura maciça e granulação fina a média. Manifesta-se em forma de diques distribuídos no ortognaisse do Complexo Basal. Em virtude de não estar deformada, esta rocha parece sugerir uma origem mesozóica.

### 6.2.1.8. COBERTURAS SUPERFICIAIS

As coberturas superficiais são formadas por depósitos de idade terciário/quadernária. Silva (op. cit.) observou, na região de Santa Maria do Suaçuí, os seguintes depósitos: canga laterítica, coluvião, terraço aluvial e aluvião.

- **Canga Laterítica** - É constituída por depósitos detrito-lateríticos junto ao solo laterítico vermelho. É formada de material argiloso, podendo observar estruturas de rochas subjacentes como os metassedimentos da Formação São Tomé e os ortognaisses do Complexo Basal.

- **Coluvião** - Constitui-se de material inconsolidado, apresentando variação de granulação de fina até matacões. Desenvolve-se ao longo da meia encosta até a baixa encosta.

- **Terraço Aluvial** – É formado predominantemente por cascalhos grosseiros, distribuídos em matriz areno-argilosa, comumente, laterizada. O terraço forma uma superfície mais ou menos plana, situado em cota de nível

superior da planície aluvial recente. Encontra-se ao longo de todo o curso do rio Suaçuí Grande.

- **Aluvião** – Depósito recente, composto por sedimentos diversos, faz parte da atual rede de drenagem. Estes sedimentos são formados, principalmente, por cascalhos, areias, siltes e argilas. Os depósitos mais expressivos estão relacionados com as bacias dos rios Suaçuí Grande e Urupuca e às várias lagoas existentes na região.

## Capítulo 7

# GEOLOGIA ESTRUTURAL

---

**A** região de Santa Maria do Suaçuí caracteriza-se pela grande complexidade estrutural, marcada por deformações polifásicas associadas aos eventos de gnaissificação, migmatização e intrusões de massas ígneas. Situam-se neste domínio as unidades mais antigas, referentes ao Arqueano e Paleoproterozóico, além das supracrustais do Neoproterozóico, representadas pela Formação São Tomé.

O magmatismo está representado pelo granito Santa Rosa, ocorrendo em forma de vários *stocks*, os quais estão situados, predominantemente, no nordeste da Folha de Santa Maria do Suaçuí. Estes plutonitos possuem uma forma bastante irregular, em grande parte, foram moldados por acidentes tectônicos. Os granitos são, essencialmente, intrusivos nos metassedimentos da Formação São Tomé, podendo existir corpos não aflorantes, sendo responsáveis pela geração de numerosos pegmatitos revestidos de valor econômico.

O padrão estrutural da região está caracterizado por feições lineagênicas, estruturas dobradas e evidências de eventos deformacionais, que estão impressas em suas litologias. É marcante a incidência do evento de transposição nas litologias do embasamento, representado pelo gnaisse bandado do Complexo Basal.

### 7.1. FASE DE DEFORMAÇÃO

No mapeamento do Projeto Leste, Silva (1997) identificou nos ortognaisses do Complexo Basal uma laminação/bandamento de pré-transposição, refletindo uma fase anterior de deformação. O bandamento gnáissico é acentuado pela alternância de bandas ricas em biotita com os leitos quartzo-feldspáticos, resultante da fusão parcial. Destacam-se as dobras intrafoliais de leucossomas, preservadas em foliação de transposição (Sn-1). É difícil a sua identificação por causa da destruição das feições originais causadas pelas deformações subseqüentes. As rochas mostram em suas estruturas evidências de dois episódios deformacionais: um de caráter dúctil (Dn-1) e outro dúctil a dúctil-rúptil (Dn). Estes episódios foram desenvolvidos em eventos deformacionais de prováveis idades transamazônica e brasileira, respectivamente.



O evento de transposição é evidenciado pela presença de dobras intrafoliais com ápices espessados, megacristais de feldspatos e agregados quartzo-feldspáticos com formas estiradas.

Nos afloramentos dos micaxistos da Formação São Tomé, a xistosidade evidencia-se pela orientação das palhetas micáceas, ordenada paralelamente à estrutura do acamamento pretérito. Esta disposição caracteriza um dobramento isoclinal e representa a primeira fase de dobramento dos metassedimentos. A segunda fase de deformação destes metassedimentos corresponde aos dobramentos que produziram crenulações nos leitos mais pelíticos e ondulações nos mais psamíticos. Os corpos tabulares dos pegmatitos da região, em geral, dispõem-se paralelos à xistosidade.

Os eventos deformacionais descritos foram baseados no estudo do Projeto Leste, realizado por Silva (op. cit.).

- **Dn-1** – De acordo com Silva (op. cit.), esta fase de deformação (Dn-1) está relacionada com as rochas gnáissicas do Complexo Basal e, provavelmente, às rochas do Complexo Mantiqueira. A estrutura planar mais típica desta fase deformacional é a de uma foliação de transposição (Sn-1), exibindo uma atitude N75W/30NE e que está superposta a uma laminação/bandamento mais antiga. Esta foliação (Sn-1) resulta do processo de transposição. A sua identificação foi feita através de observações de campo, tais como: estruturas sigmoidais, por vezes de carácter anastomosado, lenticularização e *boudinage* das bandas quartzo-feldspáticas (leucossomas) e dobras intrafoliais. O efeito de *boudinage* manifesta-se nos níveis mais resistentes, sendo frequentes os bolsões gerados pelo espessamento dos leitos leucossomáticos. Estas dobras estão preservadas na foliação pelo bandamento antigo.

Localmente, detectou-se uma lineação mineral (Ln-1), impressa em planos de foliação de transposição (Sn-1), sendo evidenciada pela biotita e por agregados quartzo-feldspáticos estirados. As atitudes das lineações são bastante variadas, sendo influenciada pela superimposição de eventos mais novos.

As segregações de quartzo e/ou quartzo-feldspáticas foram recristalizadas durante o processo de deformação, adquirindo formas sigmoidais. O adelgaçamento das bandas gerou, progressivamente, uma estrutura foliada, tornando-se xistosa com a predominância de minerais micáceos. Os sucessivos eventos tectônicos afetaram esta estrutura, determinando uma superimposição de foliações novas sobre as antigas. Os resultados destas ações culminaram com o desenvolvimento de crenulações, clivagens e *kink bands*.

- **Dn** - Segundo Silva (op. cit.), a fase de deformação (Dn) é a mais destacada e significativa. É a responsável pela estruturação geral da Faixa de Deformação Araçuaí na Folha de Santa Maria do Suaçuí. As estruturas primárias dos metassedimentos do Grupo Rio Doce e as estruturas mais antigas dos Complexos Basal e Mantiqueira estão obliteradas por esta deformação. A estrutura mais típica da região é uma foliação/xistosidade de transposição (Sn) com atitude N30W/22NE. De uma maneira geral, a xistosidade é quase sempre paralela ao acamamento, verificando-se a ocorrência de dobramentos isoclinais.

A estratificação plano-paralela, gradacional, e a sucessão de estratos que ocorrem nos litótipos da Formação São Tomé são consideradas manifestações de estruturas primárias. Elas foram transpostas ao evento deformacional (Dn) e que, ainda, conservam como testemunhas na foliação (Sn). Nas zonas de deformação mais intensa, foi observado o paralelismo da foliação milonítica com a foliação de transposição (Sn). A foliação milonítica ocorre associado às superfícies de empurrão, sigmoides, estruturas S-C e milonitos.

Os lineamentos estruturais são indicados nos mapas e representam os traços da foliação/xistosidade, evidenciando uma tendência geral da estrutura. Ocorre uma lineação mineral (Ln) sobre a superfície (Sn), destacando-se as micas, quartzo e sillimanita nos xistos e quartzitos, biotita e porfiroclastos de feldspato nos ortognaisses.

Silva (op. cit.) destacou a ocorrência de crenulações nas rochas mais incompetentes, como o xisto grafitoso, ocorrendo impressas sobre a foliação (Sn) e dispostas em formas oblíquas ou paralelas à lineação (Ln). É comum a ocorrência de clivagem de fratura, com atitude de N58W/84NE. Trata-se de uma deformação de tipo rúptil, atribuído à fase de deformação (Dn), refletindo uma etapa tardia de deformação progressiva em nível crustal mais superficial.

## 7.2. DOBRAS

As estruturas dobradas associadas à fase de deformação (Dn-1) apresentam formas isoclinais e assimétricas com vergência para sul. Entretanto, as dobras que estão ligadas à fase de deformação (Dn) estão agrupadas em dois conjuntos: (1) o primeiro é formado por dobras assimétricas, abertas e fechadas e isoclinais, tipo intrafolial, com vergência para oeste; (2) o segundo conjunto de dobras é formado por dobras simétricas e abertas, envolvendo tanto o acamamento (So) quanto à foliação/xistosidade (Sn), Silva (op. cit.).

### 7.3. FALHAS

As zonas de falha foram interpretadas por Fontes et al. (1978), admitindo serem produzidas por falhamentos oblíquos que ondularam e truncaram as foliações. Os esforços compressivos foram responsáveis pelo desenvolvimento da tectônica ruptural, em que se destacam os sistemas de falhas e as zonas de cisalhamento. Estes esforços causaram o surgimento de falhas de empurrão de âmbito regional, em formas retilíneas ou levemente sinuosas.

Os falhamentos de empurrão mostram, no mapa geológico, uma concordância com a foliação de transposição (Sn), representando as zonas de mais intensa deformação. Caracterizam-se por apresentar uma pronunciada lineação de estiramento nas faixas de protomilonito e milonito. Na Folha de Santa Maria do Suaçuí, ocorre a falha de empurrão mais expressiva da região e que fica situada entre o Núcleo Antigo de Guanhães e o Cinturão Móvel de Araçuaí, apresentando uma direção geral de NE-SW. O sistema de falhas é responsável pelo cavalgamento das supracrustais sobre o embasamento.

Nesta área ocorrem, também, falhas indiscriminadas, deduzidas por lineamentos discretos em aerofotos e no campo. Silva (op. cit.) as reuniu em dois *trends* principais: o primeiro desenvolve-se nos metassedimentos da Formação São Tomé e estende-se até aos ortognaisses do Núcleo Antigo de Guanhães, exibindo direção geral N20-30W; o segundo está limitado, exclusivamente, aos ortognaisses do Complexo Basal, apresentando direção aproximada de N-S. As juntas estão desenvolvidas em todas as rochas desta área, entretanto, as mais destacadas estão nos quartzitos da Formação São Tomé.

Segundo César Mendes (1995), a direção desses lineamentos nos xistos é dada pela própria orientação das várias minas e garimpos da região, constituindo-se em planos de fraqueza que se estendem por 25 km de extensão e 1 km de largura.

As unidades Cenozóicas exibem estruturas sedimentares primárias, não ocorrendo estruturas tectônicas.



## Capítulo 8

### PEGMATITOS

---

**N**este capítulo foi feita uma abordagem simples sobre os pegmatitos, fundamentando-se na literatura, pois, eles constituem a base principal deste trabalho. Os estudos dos Pegmatitos da Pederneira foram baseados, de certo modo, nas concepções gerais que se têm sobre os pegmatitos, segundo as suas características químicas, mineralógicas, texturais e estruturais. Apoiando-se nesses fatores, procurou-se sugerir uma possível gênese para os Pegmatitos da Pederneira, bem como, enquadrá-los nas diferentes classificações existentes.

O relacionamento genético entre pegmatitos e granitos não foi estabelecido devido à ausência de granitos aflorantes na localidade. Entretanto, existe a possibilidade desses corpos graníticos estarem localizados em níveis subjacentes, pertencentes à geração dos granitos Santa Rosa.

#### 8.1. GENERALIDADE

O termo pegmatito foi criado por Haüy, em 1822, para designar o feldspato com quartzo encravado, denominando de granito gráfico. Atualmente, considera-se como pegmatito uma rocha com minerais desenvolvidos em grandes cristais. O termo foi ampliado para englobar outros tipos de rochas, além do pegmatito gráfico, Souza (1985).

Fersman (1931) e Landes (1933) definiram o pegmatito como uma rocha holocristalina, intrusiva, composta essencialmente por minerais de granulometria grossa. Achavam que as soluções hidrotermais teriam um papel ativo sobre a mineralogia primária.

Os pegmatitos encontram-se no interior e/ou ao redor de maciços graníticos, dos quais constituem, em geral, os seus prolongamentos. Apresentam-se, geralmente, sob formas de filões, *pipes*, diques e corpos de formas irregulares. No exterior dos maciços graníticos, essas formações pegmatíticas sobressaem-se e prolongam-se em ramificações filonares, cortando as rochas encaixantes.

As massas pegmatíticas individuais ocorrem, freqüentemente, em formas tabulares ou lenticulares e variam de poucos centímetros até centenas de metros de comprimento. Em alguns casos, esses corpos mais maciços, em formas de dique e *pipe* irregular, apresentam-se com vários quilômetros de comprimento e, localmente, com 200 ou 300 metros de espessura.

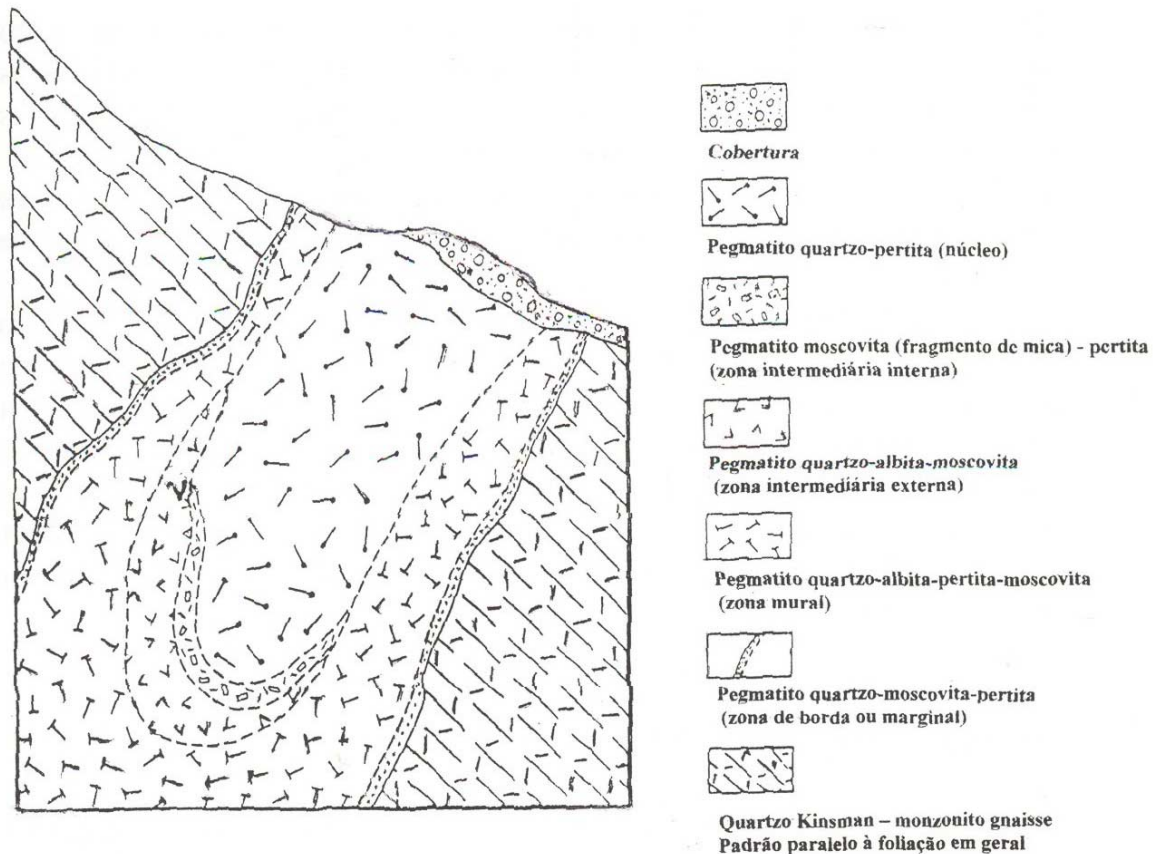


Figura 6 – Secção transversal de um pegmatito complexo, mostrando a estrutura zonada da mina de mica de Pattuck em Alexandria, N.H., segundo Stewart & Flint (1954) in Riley (1967).

Os pegmatitos são classificados em simples (quartzo, feldspato, moscovita e/ou biotita) ou complexos (com minerais acessórios de lítio, rubídio, céσιο, berílio, sódio e potássio). Os pegmatitos simples exibem uma estrutura homogênea, pois não têm um zoneamento definido; os pegmatitos complexos têm os seus minerais organizados numa seqüência zonal, ou seja, com uma estrutura heterogênea e muitos ocorrem em assembléias de minerais raros. A Figura 6 ilustra um pegmatito complexo, mostrando as várias zonas de sua estrutura.

## 8.2. GEODOS

Os geodos são cavidades de ocorrência de minerais-gemas nos pegmatitos. As maiores estão parcial ou totalmente preenchidas com minerais argilosos, agregados de feldspatos parcialmente decompostos, cristais ou fragmentos de quartzo, turmalina, berilo e outros minerais. Os minerais carbonáticos (calcita, dolomita, ankerita, rodocrosita e fluorcarbonato)

costumam ocorrer como vênulas, massas de origem secundária ou como produtos intersticiais dos minerais de pegmatitos, preenchendo parte dessas cavidades. Atribui-se, freqüentemente, às influências de fluidos hidrotermais nas formações pegmatíticas durante os últimos estágios de cristalização. Admite-se que os conteúdos dos geodos foram originados por processos diversos, seja por resíduos de minerais primários ou seja como produtos de substituição, representados pelos minerais mais jovens, Jahns (1955).

Os geodos são denominados de caldeirões na linguagem garimpeira do leste de Minas Gerais. Os geodos possuem dimensões variadas, indo de centímetros até alguns metros de diâmetro, com formas arredondadas a elípticas irregulares. No interior dos geodos, ocorrem minerais de coleção e minerais de elementos raros como a turmalina e berilo. Nesses caldeirões, estão armazenados os melhores minerais gemológicos, os quais podem estar soltos num ambiente fluido aquoso, contendo material amorfo, argiloso, de cor branca a creme, sendo denominado de “sabonete” pelos garimpeiros.

### 8.3. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A maior parte dos minerais encontrados nos pegmatitos pertencem a três classes predominantes: silicatos, fosfatos e óxidos. Os minerais fundamentais na formação do pegmatito são relativamente simples, sendo denominados de minerais essenciais. Entretanto, a paragénese de um pegmatito altamente fracionado de um subtipo complexo pode exceder a centenas de minerais. Esta diversidade é realçada pelas fases enriquecidas em componentes voláteis de grande mobilidade ( $F_2$ ,  $B_2O_3$ ,  $H_2O$ ) e álcalis raros (Li, Rb, Cs) e uma ampla variedade de minerais acessórios, portadores de elementos traços, litófilos, caracterizando os chamados pegmatitos de elementos raros, Černý (1993a).

Os pegmatitos compõem-se dos seguintes minerais principais:

**1) minerais essenciais:** quartzo, feldspato potássico (ortoclásio e microclina), plagioclásio albítico (albita, oligoclásio e cleavelandita), mica (quase sempre mica branca ou pouco colorida, tais como, moscovita, lepidolita, roscoelita e zinnwaldita). A biotita aparece apenas raramente.

**2) minerais acessórios:** minerais de lítio (lepidolita, zinnwaldita, espodumênio, ambligonita, petalita, eucryptita, trifilita e litiofilita); minerais de berílio (berilo, crisoberilo e fenaquita); minerais de céσιο (pollucita e allanita); minerais de boro (turmalina); minerais de fósforo (apatita, arrojadita e triplita); minerais de nióbio e tântalo (columbita, tantalita e microlita); minerais de estanho (cassiterita); minerais de zircônio (zircão); minerais de sulfetos (galena, esfalerita, calcosita associada à malaquita e azurita);

minerais de urânio (uraninita, pechblenda e gummita); minerais de terras raras (monazita, xenotima, fergusonita, samarskita, policrasita e itrocrasita).

Cameron et al. (1949) estabeleceram uma seqüência de cristalização e uma associação mineralógica em vários níveis dos pegmatitos. Grande parte desses corpos exibem zonas concêntricas, diferenciando-se pela textura e mineralogia. A seqüência dessas zonas, da parte mais externa para o núcleo, compreende onze associações mineralógicas, que estão descritas na Tabela 1. Esta tabela mostra que as associações mineralógicas mais comuns são compostas, basicamente, por plagioclásio, feldspato e quartzo ou combinações desses minerais com biotita, moscovita, ambligonita, espodumênio e lepidolita. Os minerais acessórios estão omitidos por razão de simplicidade. A seqüência da tabela, raramente, encontra-se integralmente representada num único pegmatito.

Tabela 1 – Associações mineralógicas encontradas nas zonas pegmatíticas, segundo Cameron et al. (1949).

ZONAS	ASSOCIAÇÕES MINERALÓGICAS
1	<b>Plagioclásio + quartzo + moscovita;</b>
2	<b>Plagioclásio + quartzo;</b>
3	<b>Quartzo + pertita + plagioclásio (<math>\pm</math> moscovita, <math>\pm</math> biotita);</b>
4	<b>Pertita + quartzo;</b>
5	<b>Pertita + quartzo + plagioclásio + ambligonita + espodumênio;</b>
6	<b>Albita + quartzo + espodumênio;</b>
7	<b>Quartzo + espodumênio;</b>
8	<b>Lepidolita + albita + quartzo;</b>
9	<b>Quartzo + microclina;</b>
10	<b>Microclina + albita + quartzo + micas litiníferas;</b>
11	<b>Núcleo de quartzo.</b>

## 8.4. ESTRUTURA PEGMATÍTICA E ZONEAMENTO

Segundo Guimarães (1965), o conceito estrutural de zoneamento foi adotado por Johnston Jr., em 1945, quando descrevera os pegmatitos do Nordeste do Brasil, classificando-os em homogêneos (pegmatitos com textura acentuadamente uniforme) e heterogêneos (pegmatitos com elevado grau de

diferenciação mineralógica). Cameron et al. (1949) sistematizaram, em obra clássica, as noções de estruturas obtidas nos estudos dos pegmatitos norte-americanos.

A complexidade estrutural dos pegmatitos levaram vários pesquisadores a estabelecerem os conceitos fundamentais de zoneamento interno relacionado com os corpos pegmatíticos, de acordo com as suas fases minerais.

Baseada nessa concepção clássica, os pegmatitos foram classificados em zonados e não zonados, conforme os grupamentos dos diferentes minerais encontrados no interior dos corpos e as suas diferentes características texturais. De acordo com Cameron et al. (1949) e Heinrich (1953), a estrutura interna dos pegmatitos zonados foi subdividida em três partes principais:

**1) Zonas de Cristalização Primária** – Formadas por sucessivas camadas concêntricas em relação ao núcleo, diferenciando-se pela composição mineralógica, textural ou ambos. As zonas são denominadas de marginal, mural, intermediária (externa, média e interna) e núcleo;

**2) Corpos de Substituição** – Formados predominantemente pelas substituições mineralógicas de unidades pré-existentes;

**3) Preenchimentos de Fraturas** – Consistem dos preenchimentos de minerais nas fraturas em unidades pré-existentes, apresentando-se, geralmente, em formas tabulares.

Cameron et al. (op. cit.), baseando-se nas paragêneses minerais e nos aspectos texturais, classificaram a estrutura interna dos pegmatitos em homogêneos ou simples e heterogêneos ou complexos.

**a) Pegmatitos Homogêneos ou Simples** – Os pegmatitos homogêneos ou simples contêm todos os elementos normais de formação dos pegmatitos, estando dispostos, uniformemente, em toda a sua massa constituinte. Não têm estrutura zonada e os corpos são constituídos, essencialmente, por quartzo, feldspato e micas (moscovita e/ou biotita). Geralmente, não apresentam interesse econômico para elementos raros, entretanto, podem ser lavrados para caulim, feldspato e/ou micas e, excepcionalmente, minerais de lítio podem ser explorados.

**b) Pegmatitos Heterogêneos ou Complexos** – Os pegmatitos heterogêneos ou complexos contêm uma grande variedade de características (textural, estrutural e mineralógica), apresentando uma estrutura zonada como uma feição em comum.

Conforme Černý (1993a), os padrões mais zonados são encontrados em intrusões de alto fracionamento com mineralizações complexas. De acordo com o modelo clássico, encontram-se, frequentemente, dois padrões de estruturas zonadas:

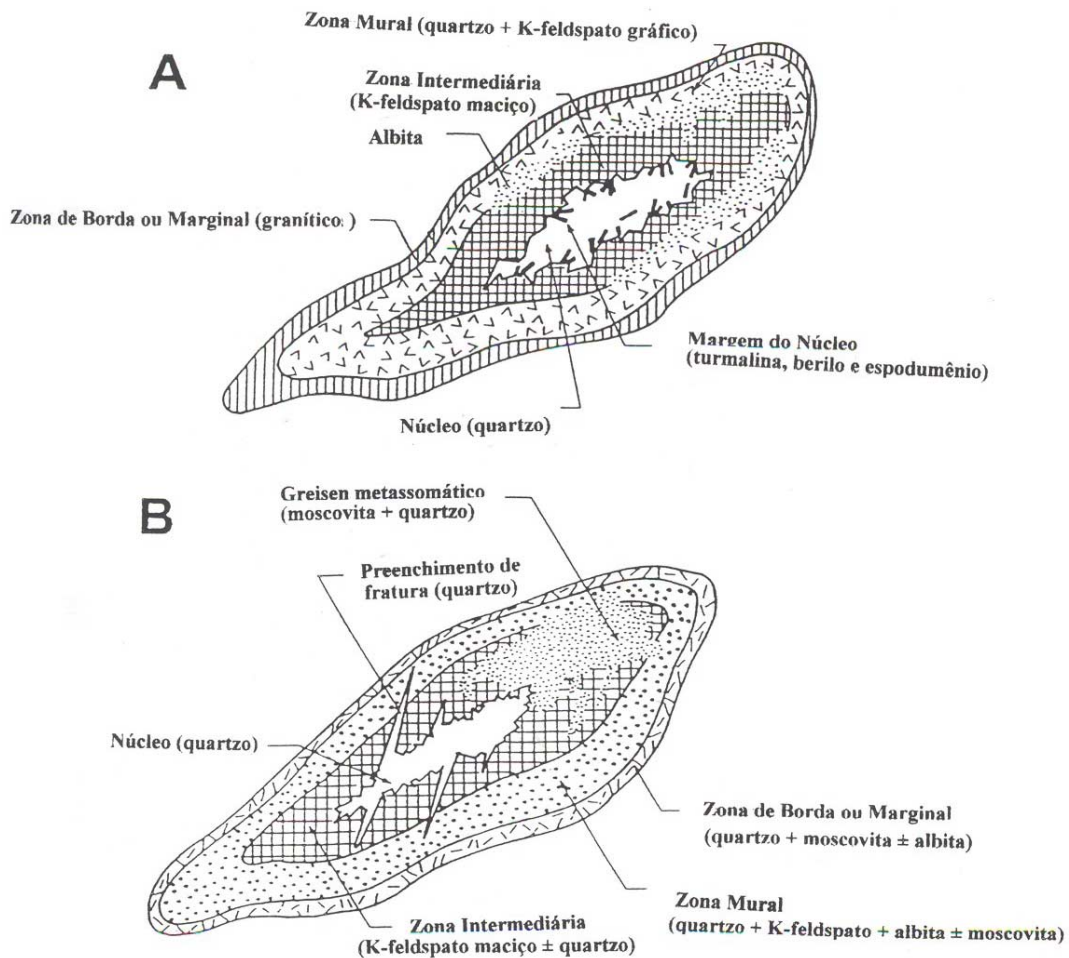


Figura 7 – Estrutura interna de pegmatitos zonados, esquematizados em secções horizontais, segundo Cerny (1993).

a) padrão concêntrico de zonas primárias, com controle zonal de unidades de albita (unidades tardias) e das mineralizações marginais ao núcleo;

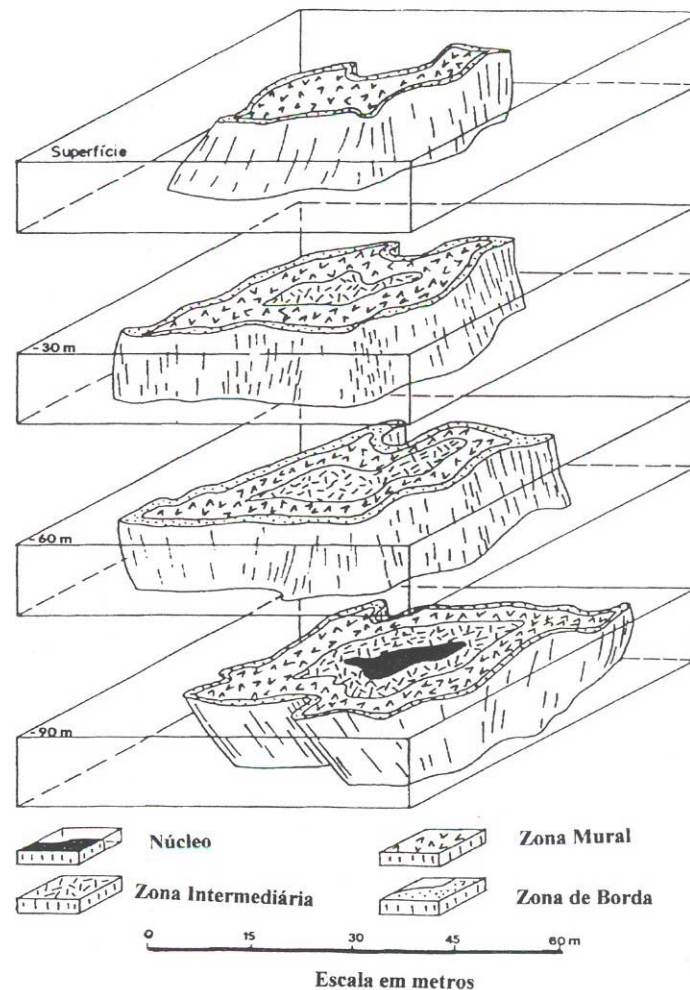
b) padrão concêntrico de zonas primárias, cortadas por preenchimentos de fraturas e com controle litológico das unidades metassomáticas.

Esses padrões estruturais zonados estão ilustrados na Figura 7.

Os contatos entre as zonas são geralmente gradacionais, embora que haja lugares em que os contatos são abruptos. Idealmente, há quatro zonas, designadas de fora para dentro como: zona de borda ou marginal, zona mural, zona intermediária e núcleo. Todas as quatro zonas são relativamente raras de estar presentes nos pegmatitos, mas em condições especiais, as zonas têm sido mapeadas. Os zonados são os mais importantes economicamente e têm os padrões mais evoluídos em intrusões altamente fracionadas com mineralizações complexas.

Cameron et al. (op. cit.) propuseram a seguinte classificação para as estruturas zonadas (Figura 8):





**a) Zona de Borda ou Marginal** – Caracteriza-se pela espessura fina (poucos centímetros ou menos) e pela textura aplítica na maioria dos pegmatitos. Em alguns depósitos, não é reconhecida. A mineralogia essencial desta zona inclui feldspato, quartzo e moscovita de granulação fina. Os minerais acessórios são constituídos pelo berilo, turmalina, granada ou alguns minerais de espécies raras. Os constituintes metálicos estão ausentes nesta zona;

**b) Zona Mural** – Caracteriza-se pela granulação grossa e maior espessura do que a zona de borda. É bem desenvolvida em muitos pegmatitos e ausente em outros. A zona mural é, por sua vez, geralmente, de granulação mais fina do que a zona intermediária e o núcleo. A mineralogia presente nesta zona é constituída por plagioclásio, pertita, quartzo, moscovita e turmalina. Biotita, apatita (e outros fosfatos), columbita-tantalita, granada e berilo são menos comuns. Ocorre intercrescimento gráfico entre feldspato (microclina) e quartzo, apresentando-se em canalículos sinuosos em forma de desenhos cuneiformes. Constituintes metálicos de valor econômico podem estar presentes em poucos depósitos. Mica e berilo são os principais minerais

econômicos da zona mural. Essa zona, geralmente, marca o local mais interno de ocorrência de granada;

**c) Zona Intermediária** – A zona intermediária fica localizada entre a zona mural e o núcleo. Costuma ser a mais desenvolvida parte do pegmatito, não se comportando como uma unidade homogênea. Inclui a maior concentração de minerais metálicos. A maioria dos pegmatitos não apresentam

zona intermediária, enquanto que, em outros, possuem cinco ou seis subdivisões da zona intermediária.

As subzonas intermediárias são observadas por suas variedades mineralógicas e, ocasionalmente, por cristais gigantes (berilo, apatita, turmalina etc), contudo, os minerais dominantes são: quartzo, plagioclásio, pertita e mica. Nesta zona, os minerais de urânio, tório, lítio, céso, nióbio, tântalo e metais de terras raras costumam a acumular-se. Normalmente, o berilo é encontrado nas porções mais externas dessa zona, enquanto que, os minerais de lítio ocorrem entre a porção interna e o núcleo;

**d) Núcleo** – É localizado na parte central do corpo pegmatítico e pode ser descontínuo em relação ao eixo central. É freqüentemente constituído por uma massa sólida de quartzo branco, estéril; quartzo com plagioclásio e pertita com granulação grosseira; quartzo com grandes cristais de turmalina e espodumênio; e quartzo de alta pureza. Ordinariamente, o núcleo é estéril de minerais metálicos, embora haja pouca exceção.

Nos **Corpos de Substituição**, ocorrem os minerais provenientes da substituição metassomática. Estes corpos são formados por albita lamelar (cleavelandita), mica muitas vezes microcristalina, lepidolita, espodumênio, petalita, pollucita, pedras preciosas e semipreciosas (turmalinas coradas, kunzita, hiddenita, topázio etc).

## 8.5. GÊNESE DOS PEGMATITOS

Segundo Turner & Verhoogen (1960), os batólitos e *stocks* de granitos são formados pelas intrusões de magmas ácidos, cujos pegmatitos estão associados e devem ter sido originados da última fase magmática.

Os pegmatitos têm sido interpretados como um produto de fracionamento ígneo de fusões graníticas e, mais recentemente, está acrescido da hipótese que implica numa origem anatética-metamórfica, acreditando-se que o material pegmatítico seja proveniente de uma fusão parcial, Černý (1982a).

Os principais pontos dessas hipóteses foram considerados a seguir:



### 8.5.1. ORIGEM ANATÉTICA

A maioria dos pegmatitos formados em grande profundidade são de origem anatética, sendo gerados por remobilização crustal. Os pegmatitos estão vinculados aos processos geradores de leucossomas em terrenos migmatíticos, dominados pela fácies metamórfica granulítica. Em geral, são relativamente notáveis os teores altos de cálcio, bário e estrôncio, embora que, seja incipiente o fracionamento de álcalis raros, Černý (1982a).

Os corpos pegmatíticos correspondem, em sua composição global, à composição dos granitos alcalinos, supersaturados em SiO<sub>2</sub>. Portanto, nos processos de remobilização crustal por anatexia, o material pegmatítico é um dos primeiros a ser formado. Segundo Fersman (1931), a palingênese de sedimentos pode produzir uma fusão correspondente, quimicamente, à mistura de quartzo, feldspato potássico e moscovita, sendo provável que muitos pegmatitos simples tenham essa origem.

### 8.5.2. ORIGEM POR FUSÃO MAGMÁTICA RESIDUAL

O modelo de Fersman (op. cit.) consistia em que os pegmatitos seriam produtos de solidificação de um magma residual, ocorrendo o processo de cristalização fracionada com eventos subseqüentes de transformação parcial por meio dos fluidos mineralizantes. Para consecução dessa hipótese, é fundamental a existência de uma fusão magmática residual, altamente mineralizada por componentes voláteis e elementos raros. O líquido residual seria gerado durante a cristalização da massa granítica e, posteriormente, migraria em direção ascendente através das rochas sobrejacentes, preenchendo locais de descontinuidade. O início do processo ocorreria entre 700 a 800° C e a evolução completa se efetuará em condições de um sistema físico-químico fechado com a água presente na fusão silicatada.

Jahns (1955) in Mason (1971) resumiu os dados sobre a origem dos pegmatitos, considerando a fusão residual proveniente da cristalização fracionada do magma. O líquido silicoso é rico em álcalis e alumina, contendo água, componentes voláteis e elementos menores, os quais não se incorporam nos minerais comuns das rochas ígneas. A pressão dos voláteis forneceu a força impulsora para injetar o líquido ao longo das superfícies de menor resistência nas rochas circunvizinhas.

Ginsburg (1971) destacou a evolução geoquímica no processo pegmatítico, dando ênfase à mudança de composição química e à importância dos álcalis nas sucessivas etapas do processo. Os elementos cálcio e sódio predominam no início do processo, entrando na estrutura cristalina para

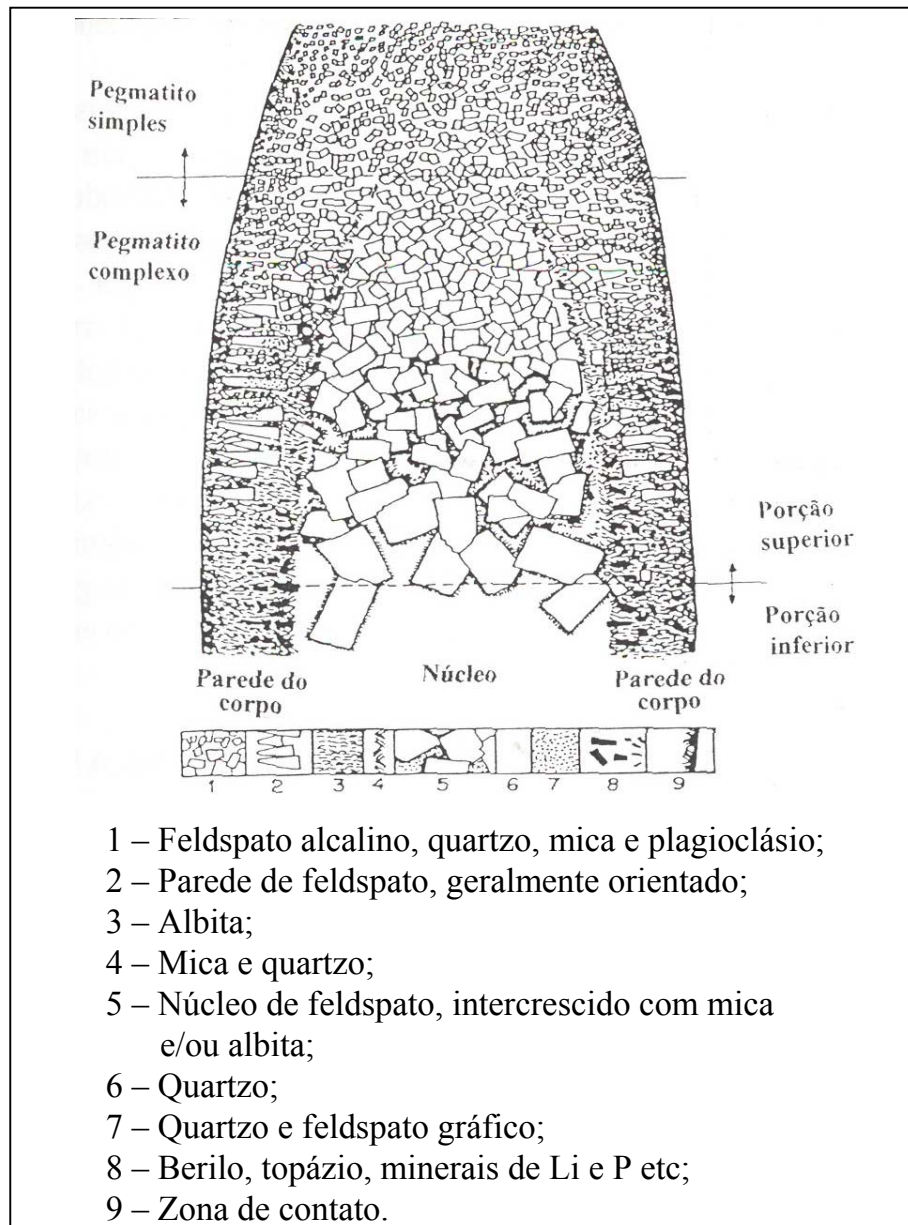


Figura 9 – Modelo petrográfico de estrutura do corpo pegmatítico, zonado e verticalizado, idealizado por Üebel (1977).

formar os minerais de plagioclásios. No decorrer da evolução do processo geoquímico, os elementos alcalinos (sódio e potássio) vão crescendo de importância em relação aos elementos cálcio e sódio, resultando na formação dos feldspatos potássico-sódicos (pertíticos). Quando termina o processo de cristalização, os elementos sódio e potássio estão separados. O sódio entra na estrutura da albita, enquanto que o potássio incorpora-se nas micas claras tardias (moscovita rica em lítio e/ou lepidolita). Estes minerais fazem parte da composição mineralógica dos corpos de substituição.

Üebel (1977) mostra na Figura 9 as suas idéias com relação à estrutura petrográfica do corpo pegmatítico. O crescimento cristalino orientado é produzido a partir das paredes externas do pegmatito por

cristalização centrípeta. Por outro lado, desenvolve-se uma cristalização independente e não orientada em sua parte mais interna.

De uma maneira geral, os autores reconhecem dois estágios de evolução na formação dos pegmatitos: o estágio magmático (as soluções pegmatíticas seriam alojadas e cristalizadas em sistema fechado) e o estágio hidrotermal, durante o qual as soluções reagiriam com as assembléias primárias, provocando sucessivas substituições num sistema aberto. Esses sistemas seriam formados através da fusão parcial de material crustal ou como um líquido final, produzido durante o resfriamento de um batólito, no qual o líquido silicatado granítico coexistiria com um fluido aquoso salino de baixa densidade. Atualmente, os pesquisadores reconhecem a importância dos processos metassomáticos (por fase fluida aquosa) nas rochas silicáticas, sem os quais é impossível a formação de pegmatitos de valor econômico.

A gênese dos corpos pegmatíticos zonados, apesar do grande volume de trabalhos sobre o tema, ainda permanece como uma questão em discussão.

### **8.5.2.1. MORFOLOGIA E GÊNESE DO ZONEAMENTO PEGMATÍTICO PRIMÁRIO**

Alguns pesquisadores admitiram três possibilidades principais para explicar a origem das zonas nos corpos pegmatíticos:

1) De acordo com Cameron et al. (1949), a gênese dos pegmatitos pode-se ser reconhecida em dois momentos importantes: i) a origem do zoneamento primário; ii) a formação de corpos tardios de substituição.

Admitiram, também, que os pegmatitos tenham sido originados por cristalização da fusão pegmatítica *in loco*. O processo de cristalização fracionada ocorreria numa câmara onde o líquido pegmatítico teria migrado. Portanto, o zoneamento seria desenvolvido a partir das paredes externas para o núcleo num sistema magmático-hidrotermal confinado. Os cristais previamente formados reagiriam com o líquido residual dando origem a uma sucessão de cristais, cuja deposição se daria no sentido da parede externa para o centro da câmara magmática. Conseqüentemente, o resultado final seria a formação de zonas, cuja mineralogia e textura seriam diferentes. Portanto, os pegmatitos zonados podem desenvolver-se em dois estágios:

a) formação de um pegmatito zonado de mineralogia simples por cristalização de uma fusão pegmatítica, num sistema semi-aberto;

b) segue-se uma substituição parcial ou completa do pegmatito já cristalizado, quando soluções hidrotermais percolam através dele num sistema aberto, formando minerais de substituição como albita, moscovita e minerais raros;

2) Pesquisadores como Andersen (1931) e Quirke & Kremers (1943) in Correia Neves (1981) advogaram que o desenvolvimento dos pegmatitos teria ocorrido através de deposições sucessivas feitas num sistema aberto. O espaço ocupado por um pegmatito zonado representaria parte de um canal através do qual o material pegmatítico se moveria. Variações progressivas nas condições de pressão, temperatura e composição do material pegmatítico teriam originado a deposição de sucessivas camadas de composição e textura contrastantes;

3) Esta hipótese é uma adaptação e extensão de teorias genéticas dos pegmatitos, sendo defendida por vários pesquisadores, Correia Neves (op. cit.). O desenvolvimento se daria em dois momentos:

a) uma fase magmática ou epimagmática durante a qual o material pegmatítico é injetado e cristalizado, originando um pegmatito maciço (ou aplito) em condições de sistema restrito;

b) um estágio hidrotermal durante o qual as soluções passariam através do pegmatito, efetuando substituições sucessivas num sistema aberto. Ondas posteriores de substituição poderiam conduzir a um pegmatito com várias camadas.

Jahns (1955), também, formulou quatro hipóteses principais com relação ao posicionamento e processo de consolidação: 1) cristalização numa câmara fechada em sistema fechado; 2) deposição de fluidos migrantes através de canais em sistema aberto; 3) recristalização ou metassomatismo de precursores não pegmatíticos; 4) combinações dos mecanismos anteriores, com substituição metassomática por fluidos gerados no interior do pegmatito ou introduzidos a partir de uma fonte externa.

Conforme Jahns (1982), os atributos texturais e estruturais dos corpos pegmatíticos refletem a sua evolução interna. Alguns atributos podem ser observados, tais como: zoneografia morfológica dos corpos, zoneografia mineralógica e/ou geoquímica (revelada, às vezes, por características tipológicas dos minerais, tais como, forma, cor e densidade) e crescimento orientado dos minerais.

Segundo Correia Neves (1989), o estudo do zoneamento primário dos corpos pegmatíticos deve levar em consideração: à distribuição das zonas; ao tipo de contato entre as zonas (gradativo ou brusco); ao relacionamento de metassomatismo entre as zonas (o metassomatismo se verifica sempre no sentido de que as zonas mais externas podem ser substituídas pelas internas, não ocorrendo o inverso); à caracterização textural das zonas; à determinação da composição modal do material pegmatítico; ao enriquecimento progressivo em sódio, à medida que se dirige para o núcleo dos corpos; à consistência paragenética e às associações mineralógicas das zonas pegmatíticas.

## 8.6. CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITOS

A classificação de pegmatitos é muito numerosa e complicada, pois depende de uma grande variação de fatores como composição química e mineralógica, textura, estrutura interna, forma e tamanho do corpo pegmatítico, relações com a rocha encaixante e gênese dos pegmatitos. O esquema de classificação é muito variado e alguns conservam apenas o interesse histórico. Neste trabalho foram apresentados alguns dos sistemas de classificação, encontrados na literatura. No capítulo 10, os Pegmatitos da Pederneira foram enquadrados em cada categoria de classificação que está descrito a seguir.

### 8.6.1. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA MINERALOGIA E ESTRUTURA INTERNA (Fersman-Cameron et al.)

A classificação baseada na mineralogia e estrutura interna dos corpos pegmatíticos foi elaborada por Fersman (1931) e sistematizada em estrutura zonada por Cameron et al. (1949). Os pegmatitos foram classificados em:

**a) Pegmatitos Homogêneos ou Simples** - São os corpos constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos alcalinos (microclina e plagioclásio sódico) e micas (moscovita e/ou biotita). Exibem uma textura uniforme que vai desde à zona marginal até ao núcleo. Portanto, possuem estrutura zonada e, geralmente, não têm interesse econômico para elementos raros. Os pegmatitos são lavrados, às vezes, para feldspato e/ou micas e, em poucos casos, este tipo de pegmatito é explorado para minerais de lítio;

**b) Pegmatitos Heterogêneos ou Complexos** – São constituídos por quartzo, feldspatos, micas e minerais raros em considerável quantidade, apresentando as seguintes variedades: lepidolita, espodumênio, turmalina, topázio, cassiterita, berilo, tantalita, columbita, zircão, uraninita, torita, apatita, ambligonita etc. Caracterizam-se por apresentar estrutura zonada, mostrando um elevado grau de diferenciação mineralógica. Cada zona é tipificada por uma assembléia mineralógica bem definida, ligada a uma textura particular. As zonas foram divididas em quatro tipos principais: zona de borda ou marginal, zona mural, zona intermediária e núcleo. Uma característica especial de alguns complexos pegmatíticos é a presença de cristais grandes dentro da zona interna como ocorrem com os minerais, anormalmente, compridos de quartzo, feldspatos, micas, berilo, apatita, turmalina e outros.

### 8.6.2. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA GLOBAL (Landes)

A classificação baseada na composição mineralógica global dos pegmatitos foi proposta por Landes (1933). Segundo o citado autor, os pegmatitos são distinguidos em: pegmatitos ácidos, pegmatitos básicos e pegmatitos intermediários.

a) **Pegmatitos Ácidos** – Compreendem a maioria dos pegmatitos em que desperte interesse econômico, sendo geralmente denominados de pegmatitos graníticos. Os principais minerais constituintes são: quartzo, feldspatos alcalinos (microclínio e/ou albita), micas (moscovita e/ou biotita) e um número considerável de minerais raros de lítio, rubídio, berílio, céσιο, nióbio, tântalo e terras raras;

b) **Pegmatitos Básicos** – São pegmatitos máficos de natureza ferromagnésiana, formados por corpos lenticulares de olivina, piroxênio e plagioclásio cálcico em peridotitos, gabros e outras rochas máficas. São razoavelmente comuns, sendo raros de conterem minerais econômicos;

c) **Pegmatitos Intermediários** – São os pegmatitos que contêm uma mineralogia comum aos dois tipos descritos acima.

### 8.6.3. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA RELAÇÃO DE DISTÂNCIA COM A ROCHA FONTE (Gevers)

Gevers (1936) in Heinrich (1953) concebeu esta classificação baseado nos pegmatitos da África do Sul. Trata-se de uma classificação que indica a posição dos pegmatitos em relação ao batólito granítico (rocha fonte). Alguns geólogos russos, a partir da década de 60, retomaram à classificação de Gevers, acreditando que as associações mineralógicas (compreendendo tipo de alteração e importância econômica) estejam correlacionadas com a profundidade e com a distância das cúpulas graníticas.

Segundo Černý (1993b), a distância dos pegmatitos à sua origem está diretamente relacionada com a estabilidade térmica de sua composição, à pressão litostática, aos limites de temperatura *liquidus* da fusão, à concentração das fases voláteis e à reologia da rocha encaixante.

Os campos pegmatíticos formados por uma determinada injeção foram divididos em três tipos de pegmatitos (Figura 10):

a) **Pegmatitos Interiores** – Pegmatitos situados dentro do batólito ou massa granítica fonte;

**b) Pegmatitos Marginais** – Pegmatitos agrupados na periferia do batólito ou massa granítica fonte;

**c) Pegmatitos Exteriores** – Pegmatitos localizados fora do batólito ou massa granítica fonte. (Estes têm maiores possibilidades de se encontrar minerais gemas e outros minerais raros).

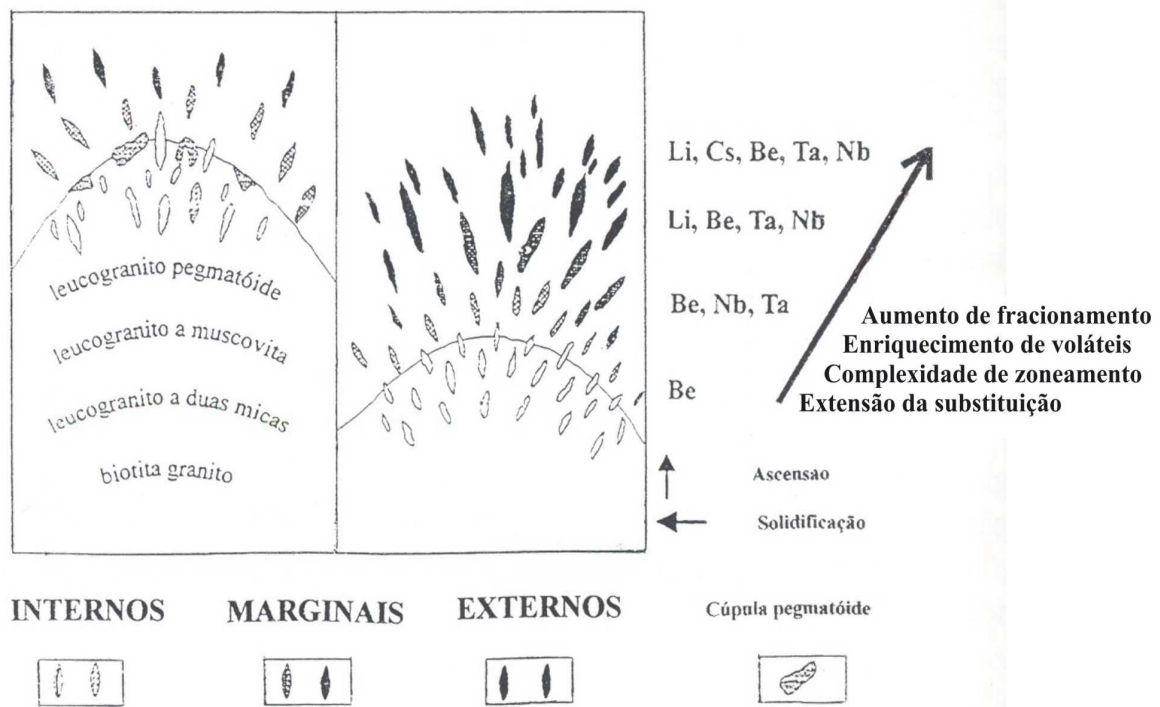


Figura 10 – Representação do zonamento regional de grupos de Pegmatitos relacionados com granito cogenético, modificado de Varlamoff (1972) in Cerný (1991b).

### 8.6.4. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA PETROGÊNESE E GEOQUÍMICA (Ginsburg et al.)

Esta classificação repousa em teorias genéticas mais modernas. Os pegmatitos graníticos de elementos raros foram divididos por Ginsburg et al. (1979, 1984) em quatro classes, caracterizando quatro ambientes crustais de formação, baseando-se na petrogênese e geoquímica das formações pegmatíticas:

**a) Pegmatitos abissais** – Estão inseridos em ambientes metamórficos de alto grau (fácies anfibolito alto a granulito). São corpos autóctones e derivam-se por fusão parcial dos metamorfitos, sob condições de temperatura variando de 700 a 800°C, pressão entre 4 a 9 kbars e profundidade em torno de 17 a 27 km. Estes pegmatitos não têm relacionamentos com granitos e representam os primeiros mobilizados da anatexia crustal. Localmente estão

enriquecidos em urânio, tório, titânio, nióbio, molibdênio, zircônio e elementos de terras raras;

**b) Pegmatitos Moscovíticos** – Estes corpos são típicos de ambiente de metamorfismo barrowiano de alta pressão, sendo encaixados nos micaxistos de fácies almandina-anfibolito, subfácies cianita-almandina de Winkler (1977). Originaram-se por processos anatéticos e/ou fracionamento restrito de granitos primitivos, mais ou menos autóctones, sob condições de temperatura entre 580 a 650°C, pressão variando de 5 a 8 kbars e profundidade de 13 a 20 km. Estes pegmatitos localizam-se nas proximidades do foco da sua geração por anatexia crustal. Contêm depósitos econômicos de moscovita e feldspato potássico e apresentam minerais acessórios portadores de lítio, berílio, urânio, tório, titânio, nióbio, tântalo e elementos de terras raras;

**c) Pegmatitos Portadores de Elementos Raros** – Situam-se nas formações com metamorfismo do tipo abukuma de baixa pressão, gerados por fracionamento de granitos alóctones diferenciados. Os pegmatitos estão encaixados em rochas de fácies xisto verde a anfibolito, subfácies andaluzita + cordierita + moscovita de Winkler (op. cit.), sob condição de temperatura entre 500 a 650°C, pressão variando de 2 a 4 kbars e profundidade de 7 a 13 km. Os elementos raros característicos desta classe de pegmatitos são lítio, rubídio, célio, berílio, gálio, estanho, háfnio, nióbio, tântalo, zircônio, urânio, tório, titânio, bismuto e molibdênio, com ou sem quantidades significativas de boro, fósforo e/ou flúor. São subdivididos em classes do seguinte modo:

- 1) tipo gadolinita - enriquecido em Be, Y, ETR, Nb, Ta, Ti, U e Th;
- 2) tipo berilo-columbita - enriquecido em Be, Nb, Ta, Sn, ETR, P e B;
- 3) tipo complexo - enriquecido em Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn, B e P;
- 4) tipo espodumênio - enriquecido em Li, Be, Nb, Ta e Sn;
- 5) tipo lepidolita - enriquecido em F, Li, Rb, Be, Ta, Nb, Sn e Cs;

**d) Pegmatitos Miarolíticos** – Estes pegmatitos estão localizados em ambientes epizonais a subvulcânicos, confinados às cúpulas de granitos alóctones, ocasionalmente do tipo *hipersolvus*, ou então, encaixados nas rochas de baixo grau metamórfico, onde estes granitos estão intrudidos. Ocorrem em forma de veios, preenchendo as fraturas ou em bolsões situados dentro dos granitos geradores, consolidando-se num ambiente de pressão entre 1 a 2 kbars e profundidade variando entre 3 a 6 km. Em suas cavidades, pode cristalizar o quartzo piezoelétrico, fluorita óptica, minerais gemológicos e minerais enriquecidos de elementos raros, tais como: urânio, tório, berílio, titânio, zircônio, nióbio, tântalo, flúor e terras raras.

Černý (1982a, b) modificou esta classificação para uma versão mais atualizada, tentando uma interpretação genética uniforme para o processo de formação de pegmatitos. Os pegmatitos portadores de elementos raros foram subdivididos em três famílias: LCT, NYF e mistos, com a finalidade de



Tabela 2 - Tipos de pegmatitos graníticos, segundo Černý (1990).										
MINERALIZAÇÃO				AMBIENTE METAMÓRFICO			RELAÇÃO COM GRANITOS		FEIÇÕES ESTRUTURAIS	
CLASSES	Elementos Menores	Concentrações	Minerais	Fácies	Pressão (kbars)	Temperatura (°C)	Tipo	Característica	Encaixante	Ambiente Tectónico
Abissal	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, ETR, Mo	pobre ou moderada		anfíbolo de alta pressão a granulito de baixa a alta pressão	~ 4 a 9	~ 700 a 800	nenhuma relação	pegmatitos de segregação, leucossomas anatóticos	veios concordantes a mobilizados discordantes em gnaisses, migmatitos, granulitos e charnoquitos	faixas colisionais
Moscovita	Li, Be, Y, ETR, Ti, U, TH, Nb > Ta	pobre ou moderada	micas e minerais cerâmicos	tipo barrowiano: anfíbolo de alta pressão, (sillimanita - cianita)	~ 5 a 8	~ 580 a 650	nenhuma relação	corpos anatóticos	quase concordantes a discordantes em gnaisses, migmatitos, xistos e quartzitos	faixas colisionais
El. Raros/Mosc.	MISTO (entre os tipos moscovita e elementos raros)		mineralizações também mistas	tipo barrowiano: anfíbolo de média pressão (cianita - sillimanita)	~ 4 a 6	~ 550 a 650	externos a marginais	corpos residuais	quase concordantes a discordantes em xistos e quartzitos	faixas colisionais
Elementos Raros	Família LTC: Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, B, P, F, Nb > Ta	pobre a abundante	gemíferos, minerais de Li, Be etc	tipo abukuma: anfíbolo de baixa pressão (andaluzita - sillimanita)	~ 2 a 4	~ 500 a 650	externos, internos a marginais	granitos tipo-S principalment	quase concordantes a discordantes em xistos e quartzitos	faixas colisionais
	Família NYF: Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, F, Nb > Ta	pobre a abundante	minerais cerâmicos	variável	variável	variável	internos a marginais	granitos tipo-A principalment	<i>pods</i> internos em corpos marginais, discordantes ou concordantes em rochas diversas	ambientes extensionais, incluindo <i>rifts</i> abortados
Miarolítico	Família NYF: Be, Y, F, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb > Ta	pobres em gemas		rasos a subvulcânicos	~ 2 a 4		internos a marginais		<i>pods</i> internos e diques	

ênfatizar as diferenças litoquímicas. Essa subdivisão é utilizada para estudo petrogenético, indicando diferentes fontes e seus conteúdos de elementos raros.

A Tabela 2 ilustra essa classificação, reunindo os diversos fatores que influenciaram na formação dos pegmatitos, agrupando mineralização, feições estruturais, relacionamento com a rocha fonte granítica e os diversos ambientes crustais.

### 8.6.5. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA PROFUNDIDADE DA CROSTA (Ginsburg et al.)

Ginsburg et al. (1979) elaboraram uma classificação em que se distinguem quatro tipos de pegmatitos, sendo caracterizados por diferentes níveis de profundidades de consolidação na crosta, mineralizações e tipos de relacionamentos que vão desde aos processos ígneos até aos ambientes metamórficos. Destacam-se os seguintes tipos:

a) **Pegmatitos de Profundidade Superficial** – Os pegmatitos alcançam profundidades entre 1,5 a 3 km. Trata-se de pegmatitos miarolíticos confinados às partes superiores dos granitos intrusivos, epizonais, sob pressão de 1 a 2 kbars e encaixados em rochas de baixo grau de metamorfismo. As suas cavidades podem ser preenchidas por quartzo piezoelétrico, fluorita óptica e minerais gemas como berilo gemológico e topázio etc;

b) **Pegmatitos de Profundidade Intermediária** – Os pegmatitos atingem profundidades entre 3,5 a 7 km, preenchendo fraturas em rochas da fácies anfibolito superior de baixa pressão (tipo abukuma), sendo gerados por fracionamento de granitos alóctones, diferenciados. Estes pegmatitos são portadores de minerais raros, ocorrendo mineralizações de lítio, rubídio, céσιο, berílio, tântalo, nióbio e estanho;

c) **Pegmatitos de Grande Profundidade** – Estes pegmatitos chegam a profundidades entre 7 a 11 km, estando hospedados em rochas metamórficas de fácies anfibolito de alto grau e pressão intermediária (tipo barrowiano). Representam produtos de anatexia ou granitos autóctones anatóéticos. Compõem-se, predominantemente, de mineralização de mica e contêm pouca ou nenhuma mineralização de elementos raros;

d) **Pegmatitos de Profundidade Máxima** – Os pegmatitos alcançam profundidades superiores a 11 km, estando localizados em terrenos de fácies granulito, comumente, encaixados nos migmatitos. Geralmente, sem nenhuma vinculação com mineralização de valor econômico, porém, constituído por allanita, monazita e corindon.

### 8.6.6. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA MINERALOGIA E GEOQUÍMICA (Solodov)

A classificação de Solodov (1962, 1964, 1971) in Černý (1982a) reconheceu três tipos principais de pegmatitos graníticos com seus subtipos. A sua classificação paragenética é baseada, principalmente, em minerais formadores de rocha em geral e feldspato em particular.

A classificação de Solodov foi feita com base numa extensa pesquisa nas províncias pegmatíticas da antiga URSS, estabelecendo uma classificação baseada em critérios geoquímico e mineralógico, Biondi (1986):

**a) Pegmatitos portadores de mica e cerâmica :**

- tipo oligoclásio com moscovita e/ou U, ETR;
- tipo oligoclásio + microclina com moscovita e/ou U, Th, ETR, Nb, Ta;

**b) Pegmatitos principais de elementos raros:**

- tipo microclina com Be, Nb;
- tipo microclina + albita com Be, Ta ou Be, Ta, Li, Cs;
- tipo albita com Be, Ta, Nb ou Be, Ta, Nb, Li;
- tipo albita + espodumênio com Be, Nb, Sn;

**c) Pegmatitos exóticos de elementos raros:**

- tipo amazonita + albita com Be, ETR;
- tipo microclina + petalita;
- tipo moscovita + albita com Sn;
- tipo lepidolita + albita com Ta, Cs, Be.

### 8.6.7. CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA PETROGÊNESE E GEOQUÍMICA (Rudenko et al.)

As mais avançadas classificações disponíveis na atualidade são aquelas baseadas sobre os conceitos geológicos e petrogenéticos das formações pegmatíticas. Foram inicialmente desenvolvidas por Ginsburg, em que combinou características textural, paragenética e geoquímica de formações individuais conhecidas e definidas por pesquisas de uma ampla variedade de pegmatitos. A classificação de Rudenko, Rudenko et al. (1975) in Černý (1982a), está na Tabela 3, demonstrando o encaixamento de diversas características que contribuíram para a definição do tipo e formação específica do pegmatito: mineralogia, geoquímica, característica de relacionamento granítico, profundidade de formação e grau de metamorfismo de rochas hospedeiras.

**Tabela 3 – Classificação de pegmatitos, segundo Rudenko et al. (1975).**

Formação do pegmatito	Subformação do pegmatito	Tipo de pegmatito	Mineralização	Relação de granitos	Nível de emplacement	Grau de metamorfismo da encaixante	
	cerâmico	Cerâmico	cerâmico; U, ETR	normal biotita (?); leucocrático e alaskito	muito profundo	granulito; sillimanita-almandina anfibolito	
	portador de mica	portador de moscovita	moscovita; U, ETR, Be		profundo	cianita-almandina anfibolito	
metal raro	Portador de berilo	Be, Ta, Nb, (Sn)	Be, (Ta, Nb)	leucocrático, alaskito	intermediário (raramente superficial)	estauroлита-almandina anfibolito; epidoto anfibolito; xisto verde	
	portador de lítio	pollucita (Li, Cs)	Ta, Cs, Be, Li Rb, (Sn)	Be, Li, Cs, Ta, Rb			
		espodumênio (Li)	Li, Be, Ta, Nb (Sn)	Li, Ta, Be, (Nb)			portador de F, Li
		lepidolita (F, Li)	Li, Ta, Be, (Sn)	(Ta, Li, Cs, Be)			
	portador de elementos de terras raras	ETR, U, Th, Ni	(ETR, Nb)	alcalino			
	portador de cristal de rocha	quartzo porfiroblasto (sem cavidade)	cristal de rocha	leucocrático, alaskito	superficial (intermediário)		
		Tipo Murzinka com cavidades					
		Tipo Kazakhstan com cavidades					

### 8.6.8. CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM CRITÉRIO DE ELEMENTOS RAROS (Černý)

A classificação de pegmatitos enriquecidos por elementos raros está sumarizada na Tabela 4, sendo revisada e subdividida por Černý (1990). Ele definiu cinco tipos de pegmatitos, utilizando os relacionamentos de abundância entre feldspato potássico, plagioclásio, albita, biotita, moscovita e lepidolita. Os cinco tipos foram, por sua vez, subdivididos em dez subtipos de pegmatitos, tendo por base as suas assinaturas geoquímicas. Os minerais típicos que ocorrem nestes vários tipos são: allanita, monazita, berilo, gadolinita, fergusonita, euxinita, topázio, columbita, tantalita, triplita, trifilita, espodumênio, lepidolita, pollucita, petalita, microlita e cassiterita.

Conforme Černý (op. cit.), os pegmatitos a terras raras, principalmente, o subtipo gadolinita, relacionam-se com os granitos derivados da crosta inferior depletada, sendo comumente anorogênicos. Por outro lado, os outros tipos de pegmatitos foram gerados a partir de granitos peraluminosos, tardi-tectônicos, mobilizados da crosta superior não depletada.

Tabela 4 – Classificação dos pegmatitos graníticos da classe dos elementos raros, segundo Černý (1990).

TIPO DE PEGMATITO (feldspato + mica)	SUBTIPO DE PEGMATITO (assinatura geoquímica)	MINERAIS TÍPICOS	POTENCIAL ECONÔMICO	ZONEAMENTO INTERNO	EXTENSÃO DA SUBSTITUIÇÃO
TERRAS RARAS K-feldspato > plagioclásio a albita biotita ≥ moscovita	allanita – monazita ETR, U, Th, (P, Be, Nb>Ta)	allanita, monazita	ETR	incipiente a avançado	incipiente
	gadolinita Y, (H), ETR, Be, Nb>Ta, F, (U, Th, Ti, Zr)	gadolinita, fergusonita, euxinita, (topázio), (berilo)	Y, ETR, U, (Be, Nb-Ta)		
BERILO K-feldspato > albita; moscovita > biotita	berilo – columbita Be, Nb > ou < Ta, (±Sn, B)	berilo, columbita, tantalita	Be (Nb-Ta)	incipiente a avançado	incipiente a avançado
	berilo – columbita – fosfato Be, Nb > ou < Ta, P, (Li, F, ±Sn, B)	berilo, columbita, tantalita, triplita, trifilita			
COMPLEXO K-feldspato > ou < albita; moscovita > ou < lepidolita	espodumênio Li, Rb, Cs, Be, Nb > ou < Ta, (Sn, P, F, ±B)	espodumênio, berilo, tantalita, (ambligonita), (lepidolita), (pollucita)	Li, Rb, Cs, Be,	avançado, complexo, parcialmente mascarado pelas unidades metassomáticas	avançado
	petalita Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb, (Sn, Ga, P, F, ±B)	petalita, berilo, tantalita, (ambligonita), (lepidolita), (pollucita)	Ta, (Sn, Ga, Hf)		
	lepidolita F, Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb, (Sn, P, ±B)	lepidolita, topázio, berilo, microlita, (pollucita)	Li, Rb, Cs, Ta, Be, (Sn, Ga)		
	ambligonita P, F, Li, Rb, Cs, Be, Ta > Nb, (Sn, ±B)	ambligonita, berilo, tantalita, (lepidolita), (pollucita)	Li, Rb, Cs, Ta, Be, (Sn, Ga)		
ALBITA-ESPODUMÊNIO [albita > K-feldspato; (moscovita)]	Li, (Sn, Be, Ta > ou < Nb, ±B)	espodumênio, (cassiterita), (berilo), (tantalita)	Li, Sn, (Be, Ta)	incipiente, quase homogêneo	incipiente a moderado
ALBITA [albita > K-feldspato; (moscovita, lepidolita)]	Ta > ou < Nb, Be, (Li, ±Sn, B)	tantalita, berilo, (cassiterita)	Ta, (Sn)	incipiente a avançado	moderado

## Capítulo 9

# PROVÍNCIAS PEGMATÍTICAS BRASILEIRAS

---

**A**s formações pegmatíticas destas províncias foram constituídas, em sua maior parte, no final do Proterozóico como consequência de processos orogênicos e geossinclinais, tendo como produto final a consolidação da plataforma da América do Sul, Almeida et al. (1976).

As Províncias Pegmatíticas do Brasil foram divididas por Paiva (1946), de acordo com o posicionamento geográfico, em três Províncias principais: Nordeste, Oriental e Meridional (Figura 11).

Atualmente, existem outras como a Província Pegmatítica do Amapá, Província Pegmatítica de Goiás-Tocantins e Província Pegmatítica do Sul da Bahia ou Itambé. Esta última corresponde a porção setentrional da Província Pegmatítica Oriental.

No sul do Amapá, Kloosterman (1970) descrevera uma faixa de 200 km de extensão, de direção N-S, cujas ocorrências de pegmatitos estão localizadas na margem oriental do escudo da Guiana. Segundo Amaral (1984), as faixas pegmatíticas, associadas às rochas graníticas, exibem mineralizações de cassiterita, columbita-tantalita e berilo. Na região entre os rios Amapari e Araguari, esses minerais são extraídos como subprodutos da garimpagem do ouro. Atribuem-se aos corpos de rochas graníticas do tipo Mapuera como os responsáveis pelas mineralizações de estanho.

Na região de Goiás-Tocantins, destacam-se os corpos graníticos do tipo Serra Dourada, Serra do Encosto, Serra da Mesa, Serra Branca, Serra do Mocambo, Serra Pedra Branca, Serra do Mendes e Granito Nova Roma, caracterizados pela forma oval e estrutura branquianticlinal, conforme Braun (1980, 1981). Relacionados com estes corpos graníticos, encontram-se pegmatitos, greisens e veios de quartzo, onde provêm as mineralizações de cassiterita, wolframita, columbita-tantalita e berilo. Marini et al. (1977) e Andrade & Danni (1978) referiram-se a uma província pegmatítica situada no centro do antigo estado de Goiás. Godoy (1968) menciona a garimpagem da monazita, em épocas passadas, cujos cristais bem formados estavam associados aos pegmatitos caulinizados na região de Xambioá, e a garimpagem do rutilo nos pegmatitos da região de Porto Nacional e Pium, no atual estado do Tocantins.

A Província Meridional é formada pelos pegmatitos de Paranapiacaba e do alto vale do Paraíba.

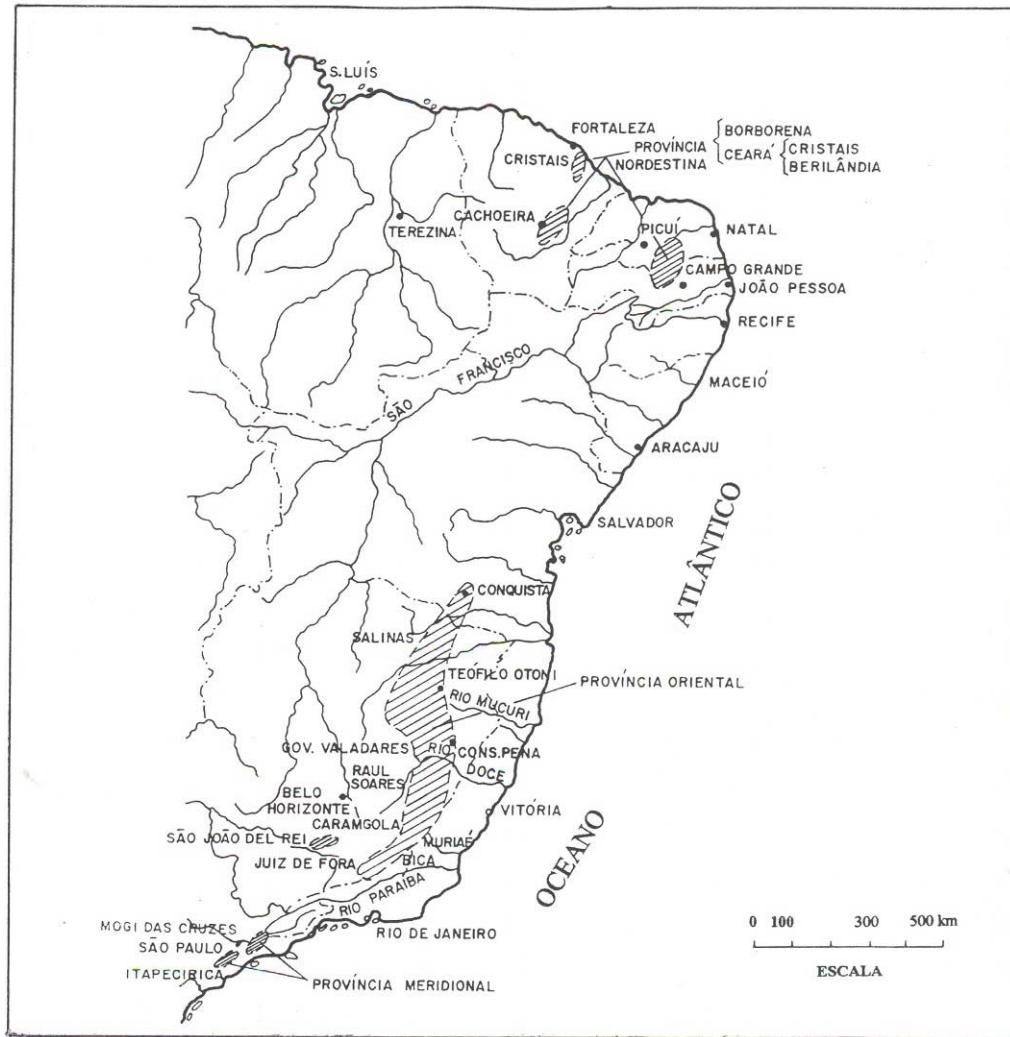


Figura 11 – Províncias Pegmatíticas do Brasil, segundo Paiva (1946).

Do ponto de vista econômico, as Províncias Pegmatíticas do Nordeste e Oriental são as mais importantes e foram, durante a segunda guerra mundial, década de quarenta, ativamente mineradas.

### 9.1. PEGMATITOS DA PROVÍNCIA DO NORDESTE

A Província Pegmatítica Nordestina localiza-se na Faixa de Dobramentos Nordeste ou Faixa Caririana, Almeida et al. (1976). A região do Nordeste brasileiro desponta no cenário das mineralizações pegmatíticas, principalmente, nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará.

Almeida et al. (1977) introduziram o conceito de Província Borborema para designar a porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, representada por uma entidade geotectônica que se estabilizou no Proterozóico Superior.

A Província Pegmatítica da Borborema ocupa uma área de, aproximadamente, 200 km de comprimento por 35 km de largura, compreendendo os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Pela quantidade de corpos mineralizados e variedades de minerais raros, esta província é considerada a segunda maior Província Pegmatítica do Brasil.

Johnston Jr. (1945) estudou os pegmatitos desta região e identificou os pegmatitos zonados (heterogêneos) e não zonados (homogêneos), citando nos primeiros a presença de importantes mineralizações de tantalita, berilo e amblygonita, comumente, em formas de minerais de grande tamanho.

Os pegmatitos do Nordeste, estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, afloram aos milhares e, devido ao núcleo de quartzo resistir à erosão, a paisagem geológica caracteriza-se, regionalmente, em forma de um alto relevo. Uma parte destes pegmatitos encontram-se mineralizados em estanho, tântalo, nióbio, lítio e berílio. Os denominados pegmatitos produtivos situam-se numa faixa relativamente estreita, com orientação NNE, passando pelas cidades de Equador, Parelhas e Picuí, Correia Neves (1981).

Conforme Almeida et al. (1967), o magmatismo da Província Borborema é caracterizado, principalmente, pelo desenvolvimento de um plutonismo granítico, desencadeado no final do Ciclo Brasileiro, gerando grande quantidade de complexos batolíticos e intrusões menores. No início do Paleozóico, no fechamento do ciclo, desenvolveram intrusões de pequenas profundidades e corpos filonéanos.

Ebert (1970) salientou que a rocha encaixante desses pegmatitos é quase sempre o micaxisto Seridó. A pesquisa de Oliveira (1996) confirmara, também, segundo o cadastramento de pegmatitos da CDM/RN (1989), a preferência dos pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema de se alojarem nos micaxistos da Formação Seridó.

Segundo Roy et al. (1964), estes pegmatitos foram explorados para a extração de micas, principalmente a moscovita, durante a primeira guerra mundial. A exploração desses corpos foi acelerada, durante a segunda guerra mundial, visando a obtenção de minerais estratégicos para a indústria bélica, principalmente, tântalo e nióbio.

Conforme Oliveira (op. cit.), a província possui, aproximadamente, 1.500 corpos mineralizados, dentre os quais, 664 foram cadastrados pela CDM/RN (op. cit.). Nesses pegmatitos foram lavrados milhares de toneladas de minerais, tais como, berilo, columbita-tantalita, cassiterita, espodumênio e pedras coradas. São particularmente importantes os minerais de Li, Be, U, ETR, Sn, Nb e Ta.

Na Província do Ceará, os pegmatitos encaixam-se, também, em formações do Pré-Cambriano Superior e associam-se, igualmente, a granitos da fase final da orogénia brasileira, Brito Neves et al. (1974). Os pegmatitos



cortam os metamorfitos da série Ceará, os quais são representados pelos micaxistos, quartzitos, dolomitos e migmatitos, Guimarães (1965).

Os pegmatitos cearenses afloram em duas áreas, uma situada em volta de Cachoeira e outra em torno de Cristais. Na área de Cristais, a rocha encaixante é um micaxisto, comumente, muito alterado e na região de Cachoeira, as rochas encaixantes são micaxistos quartzíticos, xistos hornblêndicos e migmatitos. Os pegmatitos caracterizam-se pelas mineralizações de Be-Li-Ta (berilo, ambligonita e tantalita), Correia Neves (op. cit.).

Costa (1973) referiu às ocorrências pegmatíticas mineralizadas nos distritos de Solonópole, Araçoiaba, Cascavel e Icó-icosinho, sendo pertencentes à Província do Ceará.

## 9.2. PEGMATITOS DA PROVÍNCIA ORIENTAL

A Província Pegmatítica Oriental é a maior das províncias conhecidas, ocorrendo numa faixa enorme com cerca de 800 km de extensão por 100 a 150 km de largura, estendendo-se de NNE para SSW ao longo da parte oriental do estado de Minas Gerais e sul do estado da Bahia, Correia Neves (1981), Correia Neves, Pedrosa Soares & Marciano (1986). Esta província foi delimitada na década de 40 por Paiva (op. cit.) e está representada na Figura 12, segundo Putzer (1976) in Correia Neves, Pedrosa Soares & Marciano (1986).

A Província Pegmatítica Oriental, em sua extremidade nordeste, no estado da Bahia, recebeu a denominação de Província Pegmatítica de Itambé, Misi & Azevedo (1971).

Suszczynski (1975) incluíra os pegmatitos dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro nesta província e denominara de Província Pegmatítica Atlântica, dispondo-se numa extensão de 950 km e largura de 270 km.

A Província Pegmatítica Oriental começara a ser cobiçada, desde 1550, pelas expedições das Entradas e Bandeiras que procuravam encontrar a tão sonhada Serra das Esmeraldas, atual Serra do Cruzeiro. Esta província tornara-se uma fonte de grande importância econômica, constituída pelos corpos pegmatíticos das bacias do rio Doce, Jequitinhonha, Mucuri, Pardo e Paraíba. Os pegmatitos com maior potencial econômico estão localizados na parte média do rio Jequitinhonha e nas partes média e alta do rio Doce. Esta província pegmatítica envolve um grande potencial econômico, que é representado pela grande diversidade de bens minerais.

Os minerais mais explorados foram as micas, turmalinas (verdelitas, rubelitas e indicolitas), feldspatos (albita, microclina etc), espodumênio,

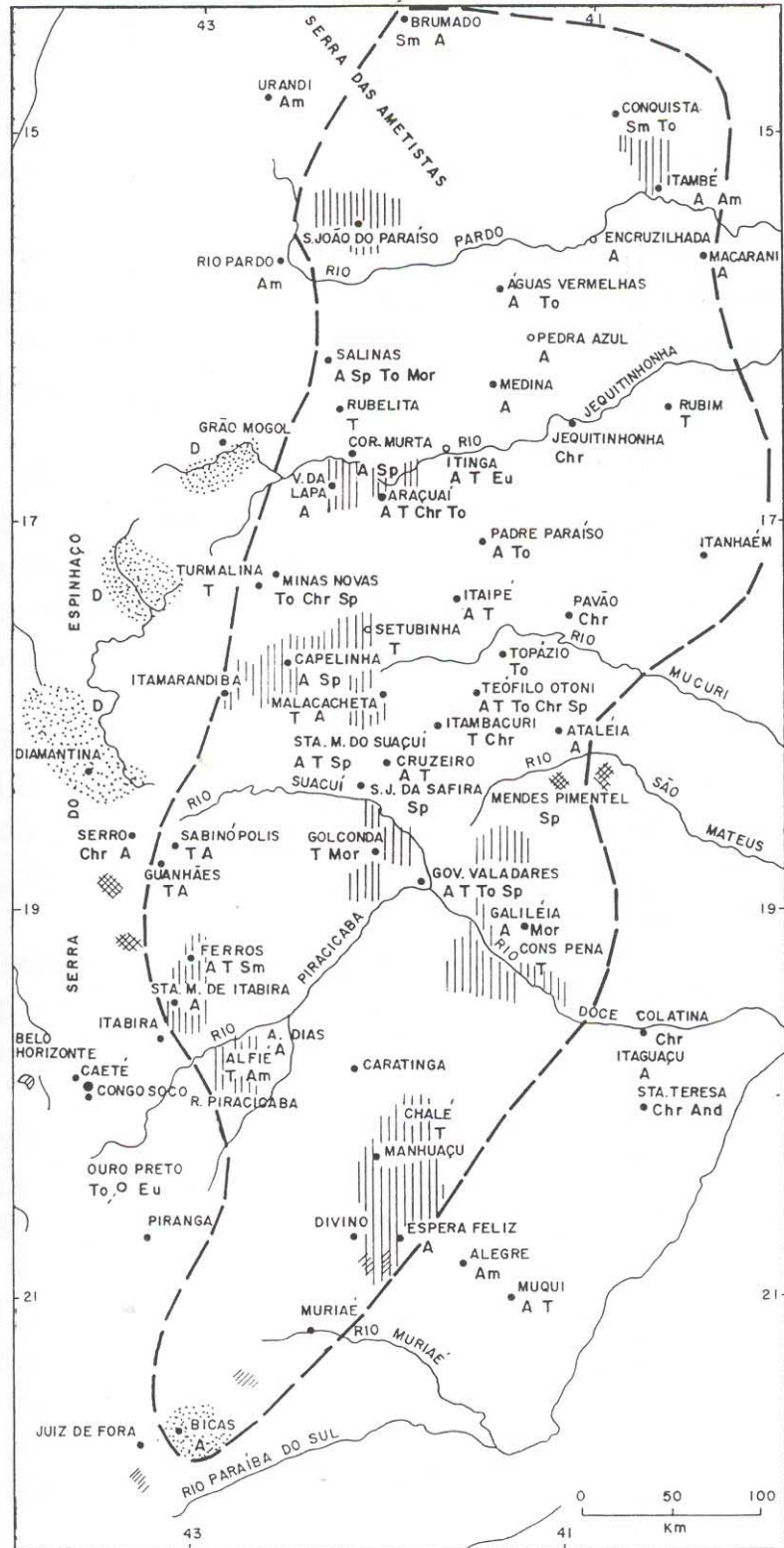


Figura 12 – Província Pegmatítica Oriental, segundo Putzer (1976).

(Traços verticais: pegmatitos ricos em micas; traços inclinados: aluviões Au; ponteados: diamante; linhas cruzadas: aluviões, Pt; A: berilo; Sm: esmeralda; Mor: morganita; T: turmalina; To: topázio; Sp: espodumênico; Chr: crisoberilo; And andalusita; Am: ametista; Eu: euclásio).

quartzos (hialino, róseo e biterminado), caulins para fins cerâmicos, berilogramas (morganita, água-marinha, heliodoro e berilo azul), berilo industrial, columbita-tantalita, cassiterita, pedras semipreciosas e as peças mineralógicas de coleção que se encontram pelos museus e coleções particulares do mundo inteiro.

Grande parte dos pegmatitos de Coronel Murta-Virgem da Lapa estão encaixados nos quartzitos da Formação Chapada Acauã e xistos da Formação Salinas. Pertencem à classe de elementos raros, destacando-se os minerais de lítio (espodumênio, petalita, ambligonita e lepidolita) e de estanho (cassiterita), Pedrosa Soares et al. (1994).

Castañeda (1997) estudou, em sua dissertação de mestrado, as turmalinas em vários campos pegmatíticos de Araçuaí, podendo-se citar: Coronel Murta, Virgem da Lapa, Rubelita (berilífero e turmalinífero), Itinga (estanífero-litinífero), Ribeirão da Folha (turmalinífero rico em rubelita) e Capelinha (berilífero). No Campo de Itinga, foram estudadas as lavras do Piauí, Santa Clara, Laranjeiras e Urubu e no Campo Virgem da Lapa–Coronel Murta, as lavras do Morro Redondo, Carlaço, Limoeiro e Pau Alto.

Os Pegmatitos do Ferreirinha, Olho de Gato, Farias e Boi do Campo Pegmatítico de Marilac estão encaixados em biotita xistos, destacando-se os minerais de berilo, granada e columbita-tantalita. Estes pegmatitos foram estudados por Marciano (1985).

Quéméneur et al. (1993) descreveu o Pegmatito Urubu do Campo de Itinga como um corpo muito diferenciado, forma lenticular e que, no contato com o micaxisto encaixante, forma uma auréola metamórfica constituída por turmalina negra e zinnwaldita acastanhada.

Na região de Itinga, Sá (1977) determinou a idade dos granitos pelo método Rb-Sr e das micas de pegmatitos pelo método de K-Ar. Baseado nas idades obtidas, Sá admitiu a possibilidade de haver contemporaneidade entre os granitos e os pegmatitos.

Segundo Correia Neves, Pedrosa Soares & Marciano (1986), os dados geocronológicos obtidos nas porções setentrional, centro-oriental, oriental e meridional da província indicam que houve geração de grande quantidade de material pegmatítico no final do Ciclo Brasileiro. A idade da Província Pegmatítica Oriental parece estar vinculada às manifestações pós-tectônicas tardias da Orogenia Brasileira.

Marciano (1985) concluiu que os pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental foram formados entre 450 a 650 m.a., exceção feita aos pegmatitos de São João del Rei, possivelmente, relacionados com um evento orogênico anterior ao Brasileiro.

Sá (op. cit.) considerara como intrusivos os granitóides da região de Itinga-Araçuaí, respaldado em suas datações. Os metassedimentos encaixantes desses granitóides são constituídos, predominantemente, pelos micaxistos da

fácies anfibolítica, apresentando, às vezes, intercalações de níveis ou lentes mais quartzíticas.

Nas partes média e alta do rio Doce, ocorrem numerosos corpos pegmatíticos como nas localidades de São José da Safira, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Galiléia, Divino das Laranjeiras e outros, Pecora et al. (1949), Marciano (1985).

Quéméneur et al. (1987) destacaram os pegmatitos de Volta Grande de idade transamazônica, perto da região de Nazareno, considerando ser uma jazida para lítio, sendo lavrados somente os minérios de estanho e titânio. A cassiterita concentra-se na periferia dos corpos pegmatíticos e a tantalita ocorre, irregularmente, disseminada em todo o pegmatito. A microlita está associada à lepidolita em Volta Grande, sendo o principal minério de tântalo do pegmatito da fazenda Monjolo. Os corpos pegmatíticos são numerosos, entre Volta Grande e Ritópolis, estando os maiores corpos encaixados nos anfibolitos, enquanto que nos granitos, ocorrem, somente, pegmatitos pequenos em forma de veios.

O panorama mais amplo e integrado da Província Pegmatítica Oriental está contido na Figura 13, conforme Correia Neves, Pedrosa Soares & Marciano (1986). Neste trabalho, existe o condensamento de informações geológicas da Província Oriental, dando um sentido melhor de definição ao enquadramento geológico dos pegmatitos desta província. Os autores respaldaram em trabalhos anteriores como a delimitação da província, segundo Paiva (1946) e Putzer (1976); geologia segundo Schobbenhaus et al. (1984); simplificação da geologia e modificações na Unidade Proterozóica gerada ou retrabalhada no Ciclo Brasileiro, segundo Pedrosa Soares et al. (1994).

A Província Pegmatítica Oriental, porções Setentrional e Centro-Oriental, está dividida em dois distritos: Distrito Pegmatítico de Araçuaí e Distrito Pegmatítico de Governador Valadares. O Distrito Pegmatítico Araçuaí está individualizado por dois campos distintos: Campo Pegmatítico de Itinga e Campo Pegmatítico Coronel Murta-Virgem da Lapa. O Distrito Pegmatítico de Itinga está caracterizado por dois campos: Campo Pegmatítico de Galiléia-Conselheiro Pena e Campo Pegmatítico de Marilac, Correia Neves, Pedrosa Soares & Marciano (op. cit.).

O Projeto Leste realizou, na Província Pegmatítica Oriental, um cadastramento de minerais associados aos pegmatitos, envolvendo as mineralizações primárias (pegmatitos) e os depósitos secundários (elúvio, colúvio e aluviões). Este trabalho foi desenvolvido por Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998) e teve como base o critério geológico e a distribuição geográfica para discriminar os distritos e campos pegmatíticos.

Na divisão da província em distritos e campos, foram adotados parâmetros segundo os conceitos de Černý e Ginsburg, sendo adaptados às condições da região, Černý (1982a, 1993a), Ginsburg et al. (1979).

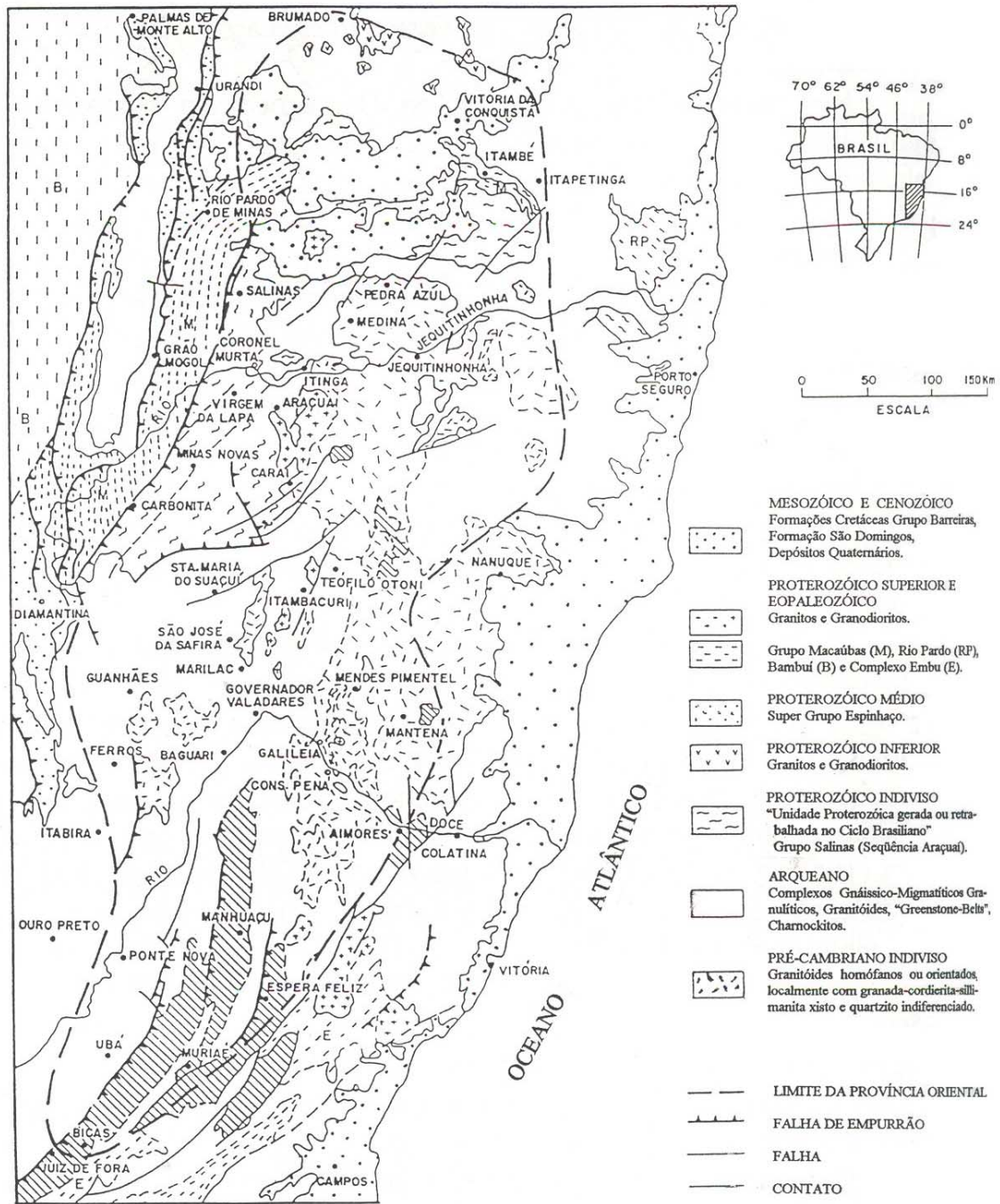


Figura 13 – A Província Pegmatítica Oriental em seu contexto geológico.. Delimitação da província, segundo Paiva (1946) e Putzer (1976). Geologia, segundo Schobbenhaus et al. (1981), simplificada, modificações na unidade proterozóica gerada ou retrabalhada no ciclo brasileiro, segundo Pedrosa Soares et al. (1984-1986).

**a) Grupo Pegmatítico** – É uma porção territorial constituída por um conjunto de corpos pegmatíticos de um único tipo, estreitamente espaçados, tendo em comum um mesmo posicionamento geológico-estrutural. Černý et al. (1993a) utilizaram o termo grupo para os pegmatitos derivados de um único corpo granítico intrusivo;

**b) Campo Pegmatítico** – Formado por um território, geralmente, inferior a 10 km<sup>2</sup>, sendo composto por grupos de pegmatitos que apresentam, em comum, um grande ambiente estrutural e geológico, sendo gerados durante um único estágio termo-magmático de evolução regional. Os pegmatitos são oriundos do mesmo tipo de fonte granítica e apresentam idades semelhantes;

**c) Distrito Pegmatítico** – É uma porção de uma província que engloba diversos campos pegmatíticos associados, separados uns dos outros territorial ou geologicamente;

**d) Cinturão Pegmatítico** – Compõe-se de campos pegmatíticos que estão vinculados às estruturas lineares de grande escala, tais como: lineamento de falha profunda, margem cratônica mobilizada, calha geossinclinal mobilizada num escudo estável, zona de contato de um amplo corpo granítico, eixo de anticlinório etc;

**e) Província Pegmatítica** – Trata-se de uma unidade geológica ampla, que apresenta feições comuns de evolução geológica e de estilo de mineralização. É formada pelo agrupamento de vários distritos, campos e cinturões pegmatíticos numa única província metalogenética.

A região cadastrada pelo Projeto Leste, por Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998), compreende até o momento uma parte da Província Pegmatítica Oriental (área situada entre os paralelos 17° a 19°S e os meridianos 42° a 42°30'W), onde foram cadastrados 662 pegmatitos, sendo agrupados em 7 distritos e 21 campos pegmatíticos, assim denominados:

1. Distrito São José da Safira (Campos Pegmatíticos da Serra do Cruzeiro, Santa Rosa, Poté – Ladainha, Golconda, Marilac e Nacip Raydan);
2. Distrito Conselheiro Pena (Campos Pegmatíticos de Itatiaia – Barra do Cuieté, Alvarenga – Itanhomi, Resplendor, Goiabeira e Galiléia – Mendes Pimentel);
3. Distrito Araçuaí (Campos Pegmatíticos de Lufa e Neves);
4. Distrito Padre Paraíso (Campos Pegmatíticos de Padre Paraíso, Faisca e Novo Oriente);
5. Distrito Ataléia (Campo Pegmatítico de Ataléia – Fidelândia);
6. Distrito Santa Maria de Itabira (Campos Pegmatíticos de Itabira–Ferros e São Domingos do Prata);
7. Distrito Caratinga–Vargem Alegre (Campos Pegmatíticos de Caratinga e Vargem Alegre).

No presente trabalho, somente será abordado o Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, pois nele estão incorporados os Pegmatitos da Pederneira, objeto específico deste estudo.

### **9.2.1. CAMPO PEGMATÍTICO SERRA DO CRUZEIRO**

A denominação de Campo do Cruzeiro foi, inicialmente, usada por Moura, Fanton & Arioli (1978) para agrupar uma série de pegmatitos que ocorrem nesta região.

Os pegmatitos pertencentes ao Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro estão situados na Folha de Santa Maria do Suaçuí, escala 1:100.000, e estão distribuídos nos municípios de São José da Safira, Santa Maria do Suaçuí e Água Boa. Os pegmatitos de São José da Safira são os mais abundantes neste campo, chegando aproximadamente a 75% em quantidade. A cidade de São José da Safira, por apresentar uma posição geográfica mais centralizada, tornou-se o principal pólo mineral deste campo, sendo denominada de “Cidade das Pedras Coradas”. Seu nome decorreu da turmalina azul que foi encontrada na área e confundida com safira. O nome deste campo deve-se à Serra do Cruzeiro (antiga Resplandecente ou Safira Grande), um imponente relevo geográfico com 1.060 metros, onde ocorre a mais importante e famosa mina da região, denominada de Mina do Cruzeiro. O antigo nome de Resplandecente deve-se ao brilho que proporcionavam as escarpas da serra, por conter numerosos minerais de mica que, ao refletir ao sol, reluziam num formidável espetáculo de cores.

Os vários corpos pegmatíticos deste campo estão distribuídos em dois tipos principais de morfologia. O primeiro tipo corresponde ao relevo acidentado, onde está representado pela Serra do Cruzeiro, de direção aproximada N-S, sendo formado por quartzitos, xistos quartzosos e quartzo-biotita xistos da Formação São Tomé (unidades 2 e 3), constituindo-se nas principais rochas encaixantes desses corpos pegmatíticos. Nesta região montanhosa, estão instaladas várias Minas e Garimpos como Cruzeiro, Aricanga, Pederneira, Cavalo Morto, Sexta-Feira, Rolador e Chiar, entre outros. Estes pegmatitos, comumente, são de tamanho médio a grande, com formas tabulares predominantes e secundadas pelas lenticulares. Os pegmatitos encaixados em quartzitos, geralmente, preenchem as fraturas subverticais, sendo bastante diferenciados, zonados e complexos.

O segundo tipo está constituído por um conjunto de morros relativamente suaves, com elevações aplainadas, chegando-se a cotas de 600 metros, aproximadamente. Também, representam este domínio, as grandes áreas das planícies aluvionares, em que se destacam os morros em forma de meia-laranja de coloração avermelhada. Nessas planícies aluviais várias



lagoas destacam-se na paisagem, como as lagoas Dourada, Vapabuçu, Urupuca, Aranã, Carniça, Barro Preto e Tiro Grosso. As lavras desta região estão alojadas, predominantemente, nos micaxistos e gnaisses e destacam-se as Minas e Garimpos do Benedito, Terra Branca, Marcelo I, Safirinha, Colônião, Alair, Palmeira e Lava-Pés, entre outras. Estes pegmatitos estão localizados, essencialmente, na unidade 3 da Formação São Tomé, apresentando-se bem intemperizados a parcialmente decompostos, com predomínio da forma tabular.

Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998) cadastraram detalhadamente o Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, obtendo-se dados da forma do pegmatito, tamanho da espessura do jazimento mineral, *status*, rocha encaixante, minerais econômicos e outras informações de caráter local. As coordenadas de cada lavra foram registradas, utilizando-se o GPS Garmin 45, com erro inferior a 100 metros.

Nas Tabelas 5a e 5b (anexo I), estão condensados os dados desta pesquisa neste campo pegmatítico. As localizações das diversas minas e garimpos estão representados no mapa geológico da área do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro (Figura 14).

Em quase todas as lavras desse campo, a exploração de gemas é um fator de prioridade. Quanto aos minerais industriais, a extração está limitada às poucas minas e garimpos, sendo explorados, principalmente, feldspato, berilo, cristal de rocha e columbita-tantalita. As amostras de coleção e exemplares de minerais raros (variedades de fosfato) são destinadas, especialmente, para colecionadores e mineralogistas.

Em geral, a atividade garimpeira desenvolve-se intensamente num corpo pegmatítico, onde estoura um “bamburro” e, em seguida, após a extração das pedras gemológicas, este garimpo esvazia-se, sendo parcialmente ou totalmente abandonado. O termo “bamburro” é comum na linguagem garimpeira, significando “bom pra burro” em referência ao fato da descoberta de jazimento de minerais de valor econômico.

No Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro há diversas minas, lavras, garimpos e ocorrências. Várias minas e garimpos estão em atividades e outras paralisadas ou funcionando parcialmente.

Segundo Netto & Araújo (op. cit.), os corpos pegmatíticos foram classificados e separados em intervalos de tamanho relativo às suas espessuras. As variações de tamanho dependem, em muitos casos, da rocha encaixante (xistos, gnaisses, granitos, quartzitos etc) ou, também, das estruturas dessas rochas (xistosidade, acamamento e fraturas) em que se acondicionam os pegmatitos. As dimensões dos pegmatitos obedeceram aos critérios adotados por Issa Filho, Moura & Fanton (1980). A variação é a seguinte:

1. Pegmatito muito pequeno - espessura menor que 0,5 m;
2. Pegmatito pequeno - espessura entre 0,5 a 5 m;



3. Pegmatito médio - espessura entre 5 a 15 m;
4. Pegmatito grande - espessura entre 15 a 50 m;
5. Pegmatito muito grande - espessura maior que 50 m.

De acordo com o cadastramento mineral executado por Netto & Araújo (op. cit.), podem ser citados os seguintes pegmatitos, levando-se em consideração os tamanhos da espessura dos jazimentos:

**a) Tamanho Grande a Muito Grande** – Aricanga, Cruzeiro, Lava-Pés, Marcelo I, Pederneira I, Rolador, Alair, Benedito, Cavalo Morto, Chinha, Lincoln, Marcelo II, Pederneira II, Safirão, Sexta-Feira II, Terra Branca, Toá, Valdivino e Zé Alemão;

**b) Tamanho Médio** - VT 1, Brejo, Cabeceira do Safirinha, Chafic, Chiar, Criminoso, Guiazinho, Palmeira, Palmeirão, Pitimba, Sexta-Feira I, Bandeira, Cassiano, Colonião, Esmeralda, Goiabeira, Mula Morta e Valdivino II;

**c) Tamanho Pequeno** - Córrego do Barro I, Córrego do Barro II, Córrego do Barro III, Beira Rio, Cutia, José Gonçalves, Milton Godinho e Molhado;

**d) Elúvio** - Amuro, São Pedrão, Morcego, Pedregal, Perdido I e Perdido II.

No texto a seguir estão descritos alguns pegmatitos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, ressaltando as características de cada jazimento.

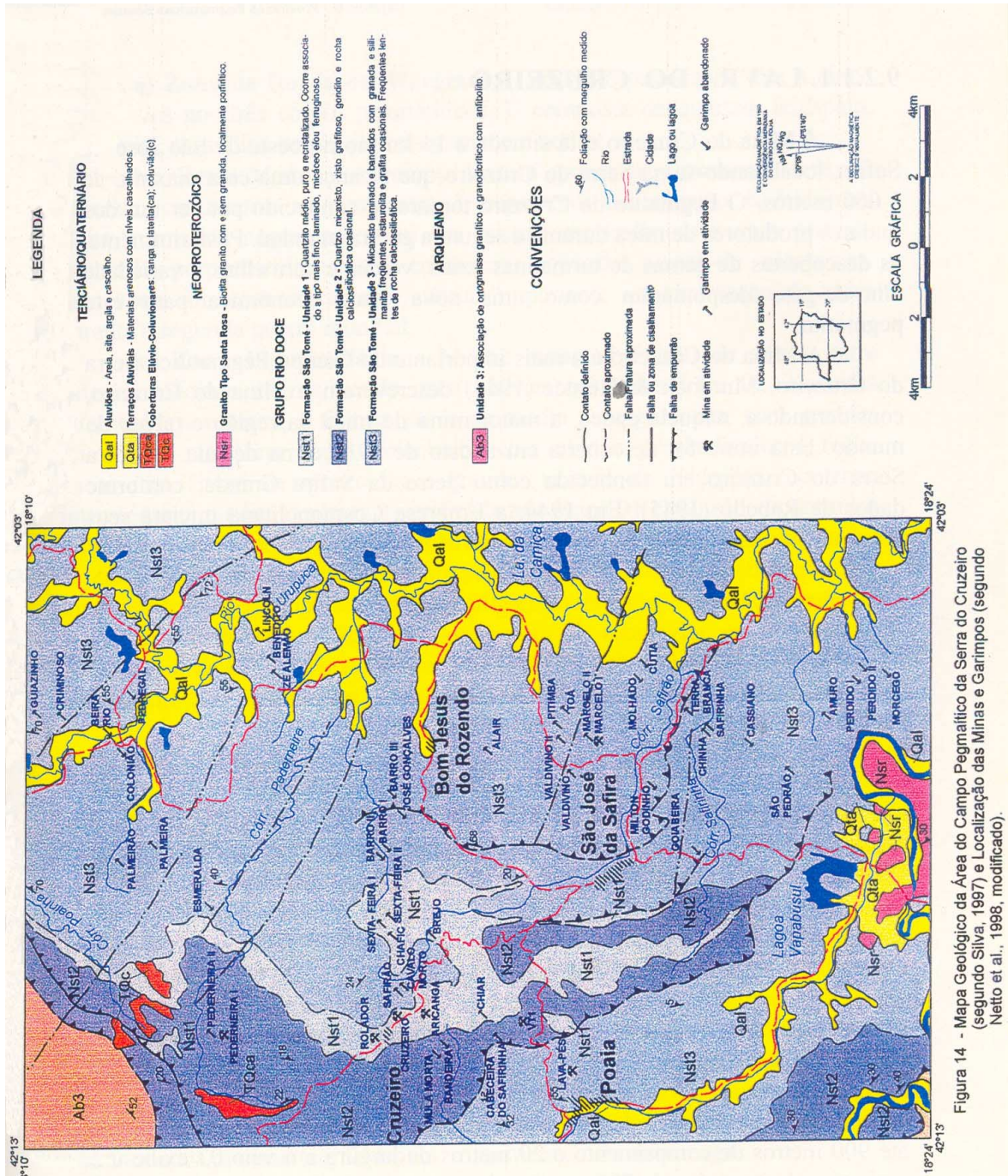


Figura 14 - Mapa Geológico da Área do Campo Pegmatítico da Serra do Cruzeiro (segundo Silva, 1997) e Localização das Minas e Garimpos (segundo Netto et al., 1998, modificado).

### 9.2.1.1. LAVRA DO CRUZEIRO

A Mina do Cruzeiro está situada a 14 km no noroeste de São José da Safira, localizando-se na Serra do Cruzeiro que alcança uma cota máxima de 1.060 metros. O Pegmatito do Cruzeiro tornara-se conhecido por ser um dos maiores produtores de mica durante a segunda guerra mundial. Posteriormente, as descobertas de gemas de turmalinas azuis, verdes e vermelhas e variedade olho-de-gato despontaram como uma nova fonte econômica para este pegmatito.

A Mina do Cruzeiro é a mais importante do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. Murdock & Hunter (1944) descreveram a Mina do Cruzeiro, considerando-a, naquela época, a maior mina de mica da região e talvez do mundo. Esta mina foi descoberta em agosto de 1915 e, na década de 40, a Serra do Cruzeiro era conhecida como Serra da Safira Grande, conforme dados de Rabello (1945). Em 1944, a Empresa Cosmopolitana iniciara seus trabalhos nesta mina, sendo a maior exploradora de mica do país.

Após o término da guerra, houve praticamente uma paralisação das atividades de lavra nos diversos pegmatitos, salvo algumas exceções. Na década de 50, as atividades de mineração do Cruzeiro tiveram um grande incentivo após a descoberta de cristais de turmalina. Em 1979, a jazida do Cruzeiro passou a pertencer à família Neves, proprietária da Empresa Nevestones, que explora esta lavra até os dias de hoje.

César Mendes (1995) contribuiu para um estudo mais aprofundado da Mina do Cruzeiro através da sua tese de doutoramento. Este autor afirmara que devido à grande competência do espesso pacote de quartzito, formadora da Serra do Cruzeiro, houve a ruptura da rocha, implicando na formação de várias fraturas paralelas. Após esse evento, aconteceu a intrusão dos magmas e fluidos pegmatíticos nesses planos de fraqueza, discordantes da rocha encaixante e de forma tabular, quando observada numa seção vertical, e ameboidal, numa seção horizontal. A jazida do Cruzeiro é constituída por três veios de pegmatitos, paralelos entre si, de direção N20W e mergulho subvertical, em torno de 80SW, denominados de veios 01, 02 e 03. Estão predominantemente encaixados nos quartzitos, com algumas ramificações nos xistos quartzosos, cujo contato é sempre nítido. O veio 01 tem cerca de 1.300 metros de comprimento e largura variável de até 60 metros; o veio 02 atinge até 900 metros de comprimento e 20 metros de largura e o veio 03 exhibe um comprimento em torno de 700 metros e largura máxima de 8 metros.

Segundo César Mendes (op. cit.), os pegmatitos apresentam uma grande variedade mineralógica e textural, possibilitando caracterizá-los em estruturas zonadas. Apresenta o seguinte zoneamento clássico:

**a) Zona de Borda ou Marginal** - Possui espessura de três a cinco centímetros nos três corpos pegmatíticos. É composta de quartzo, feldspato, moscovita, turmalina negra, alguma granada e berilo;

**b) Zona Mural** - Apresenta textura grosseira, espessuras variáveis entre dez centímetros até um metro. É constituída por quartzo, K-feldspato, albita, turmalina negra (schorlita) em cristais centimétricos e com prismas orientados perpendicularmente à encaixante e grandes placas de moscovita. Esta zona foi, economicamente, muito importante na exploração de mica durante a segunda guerra mundial;

**c) Zona Intermediária** - Mostra uma subdivisão de zonas entre externa, média e interna, sendo mais visíveis nos veios 01 e 02. Na zona intermediária externa, a textura passa de média para grosseira, com grandes cristais de turmalina negra, orientados com eixo c perpendicular à rocha encaixante, livros de moscovita e grandes cristais de feldspato; Na zona intermediária média, facilmente verificado nos veios 01 e 02, são encontrados feldspato potássico, localmente albitizado, ou albita pura, podendo estar contidos em bolsões com evidências de substituição metassomática. A zona intermediária interna é caracterizada pela presença de cristais de espodumênio, feldspato e massas de ambligonita;

**d) Núcleo** - Constitui-se na porção central dos veios 01, 02 e 03 da Mina do Cruzeiro, onde predomina o quartzo leitoso, com variações locais de quartzo hialino, forma descontínua, dando um aspecto de estrutura do tipo de “salsicha”. Além disso, o núcleo contém grandes cristais de feldspato e bolsões de substituição, formando cavidades atapetadas por minerais de cleavelandita, quartzo hialino piramidado, ripas de espodumênio, turmalinas multicoloridas e micas róseas;

**e) Corpos de Substituição** – Encontram-se nos três veios que formam a lavra do Cruzeiro. O veio 01 contém turmalina de coloração avermelhada (rubelita), esverdeada (verdelita) e olho-de-gato; no veio 02 destacam-se as turmalinas esverdeadas e no veio 03, as belas turmalinas azuis (indicolitas) e esverdeadas (verdelitas). Elas são, comumente, encontradas nos geodos, associadas aos quartzo leitoso e hialino, cleavelandita, micas róseas, turmalinas coradas, turmalinas negras, morganita e outros minerais raros;

**f) Preenchimentos de Fraturas** – São constituídos por pequenos corpos de granulometria média. Na lavra do Cruzeiro, esses preenchimentos são formados por quartzo, feldspato, moscovita e turmalina negra.

Garibaldi (1994), cita os seguintes fatos de produção gemológica da Mina do Cruzeiro:

1. Em 1966, foi retirado num bolsão, apenas um cristal gema de rubelita que pesava 14 kg, sendo cortado e lapidado para obter pedras limpas de cor vermelha forte;

2. Em 1968, um “caldeirão” fornecera 2.000 kg de cristais opacos que foram utilizados no mundo inteiro como material de artesanato (entalhes, esculturas) e peças de coleção;

3. Em 1971, encontraram 400 cristais de rubelita de bolsões, sendo o motivo da fama que passou a ter a Mina do Cruzeiro como uma das principais produtoras de rubelita do Brasil.

Atualmente, esta mina continua em plena atividade, produzindo quantidades consideráveis de material gemológico.

### 9.2.1.2. LAVRA DA ARICANGA

As atividades da mineração da Aricanga começara na década de quarenta e os trabalhos eram direcionados para extração de mica. Murdock & Hunter (1944) foram os primeiros pesquisadores desse jazimento, denominada na época de Jazida Forattini, nome devido ao titular da pesquisa Sr. Armando Forattini. Eles observaram o paralelismo do dique com os Pegmatitos do Cruzeiro, cuja direção é de N20W. O nome de Aricanga deve-se a uma palmeira que era típica nessa região.

O Pegmatito da Mina da Aricanga fica próximo ao povoado e à Mina do Cruzeiro, deslocado cerca de 500 metros do veio 01 do Cruzeiro. Fica a 14 km a noroeste de São José da Safira. Está inserido em fraturas dos quartzitos da Serra do Cruzeiro, sendo heterogêneo e complexo. O tamanho do jazimento é de grande porte e sua forma é tabular e ameboidal.

César Mendes (op. cit.) observou o encaixamento do Pegmatito da Aricanga ao longo de uma fratura no quartzito, mostrando direção de N20W e mergulho entre 80-85SW. Também, notou nas galerias, o zoneamento do pegmatito que é bem diferenciado, contendo zona de borda ou marginal, zona mural, zona intermediária, núcleo e corpos de substituição.

**a) Zona de Borda ou Marginal** – Está representada por uma faixa estreita e descontínua com granulometria fina, bordejando o corpo pegmatítico e sendo composta por quartzo, feldspato, moscovita e alguma granada;

**b) Zona Mural** – Caracterizada por apresentar uma variedade de minerais de granulometria média, predominando placas de mica clara, quartzo, K-feldspato e turmalina negra (schorlita);

**c) Zona Intermediária** - Caracterizada por conter uma granulometria grosseira, formada por quartzo hialino e leitoso, feldspato potássico, moscovita e turmalina negra em prismas centimétricos, com secção basal de até dez centímetros de diâmetro;

**d) Núcleo** – Representado por uma faixa descontínua, sendo composto essencialmente por quartzo leitoso;

**e) Corpos de Substituição** – Encontram-se próximos ao contato do núcleo do pegmatito e caracterizam-se pela presença de quartzo hialino e leitoso, micas claras e róseas, cleavelandita (albita lamelar) e turmalinas coloridas (rubelitas e verdelitas). Em quantidades menores, acham-se columbita-tantalita, lepidolita, espodumênio e apatita. Nesses corpos, estão associados grande número de geodos (caldeirões). Estes geodos estão sempre enriquecidos com turmalinas coloridas (verdes e vermelhas) e peças de coleção de alta qualidade.

A Mina da Aricanga é explorada, subterraneamente, através de várias galerias. Atualmente, a exploração da mina tem-se concentrado na extração de minerais gemológicos (turmalinas multicoloridas).

### 9.2.1.3. LAVRA DO LAVA-PÉS

A lavra do Lava-Pés localiza-se no nordeste de Poaia. O pegmatito está encaixado no xisto (unidade 3) da Formação São Tomé, contendo enclaves da rocha encaixante.

Netto & Araújo (op. cit.) cadastrara este pegmatito, caracterizando por apresentar muitas apófises, tamanho médio a grande, forma tabular, com direção NE-SW e mergulho para sudeste. Apresenta zoneamento nítido, mostrando enclaves da rocha encaixante na zona mural do pegmatito. Na zona intermediária observam-se grandes cristais de granada. O núcleo é composto por quartzo leitoso. O corpo pegmatítico consta, principalmente, dos seguintes minerais: quartzo, feldspato potássico, albita, mica, turmalina e granada (almandina-espessartita). Encontram-se, também, variedades de apatita, berilo e quartzo morion. A granada forma nódulos de até 60 centímetros de diâmetro e os prismas de turmalina negra encontram-se envolvidos por quartzo e feldspato albitizado, estando próximos ao contato com o núcleo de quartzo.

A lavra do Lava-Pés está voltada para a extração de granada, tanto industrial quanto gemológica, e amostras de coleção de quartzo, mica, feldspato e turmalina negra.

Atualmente, as escavações estão sendo feitas de maneira rudimentar, em precárias condições de funcionamento, acessos difíceis às galerias e extrações de minerais feitas manualmente.

### 9.2.1.4. LAVRA DO MARCELO I

O Pegmatito do Marcelo I localiza-se no leste de São José da Safira, distando 7 km desta cidade, e situando-se na encosta do morro em forma de



meia-laranja, estando próximo ao córrego Gameleira. Na década de 60, a mina tornara-se conhecida por ser uma tradicional produtora de turmalinas gemológicas (verdes e azuis).

A mina é subterrânea e as várias galerias foram construídas na encosta do morro do Marcelo. Encaixado nos xistos da unidade 3 da Formação São Tomé, o pegmatito é de tamanho grande e a sua forma tabular, porém, apresenta complexidade. O contato com a rocha encaixante é bem nítido e sinuoso.

César Mendes (op. cit.) observou grandes xenólitos de xisto no meio do pegmatito e delineou um zoneamento da rocha encaixante até ao núcleo deste corpo. Portanto, o corpo apresenta a seguinte distribuição por zonas:

**a) Contato com a rocha encaixante (Zona de Borda)** – Faixa constituída por mica, quartzo e feldspato potássico;

**b) Zona Mural** - Faixa pegmatítica com textura granítica constituída por quartzo e feldspato com pequenas manchas gráficas. Localmente, os garimpeiros denominam de “sal grosso”;

**c) Zona Intermediária Externa** – Zona rica em livros de moscovita e com textura de granulação mais grosseira do que a anterior;

**d) Zona Intermediária Média** - Formada de feldspato potássico e localmente albitizado;

**e) Zona Intermediária Interna** - Constituída por grandes cristais de quartzo, albita, feldspato potássico, espodumênio e lepidolita;

**f) Núcleo** - Composto por quartzo e apresentando-se em formato descontínuo.

Atualmente, na Mina do Marcelo I explora-se a turmalina azul, encontrada em pequenos geodos, desenvolvida nas lamelas de cleavelandita que atapetam as drusas. A turmalina gemológica ocorre na zona intermediária interna do pegmatito, associada à albita, espodumênio e lepidolita.

### 9.2.1.5. LAVRA DO BENEDITO

A lavra do Benedito fica a nordeste do povoado de Bom Jesus do Rozendo, situando-se no município de Água Boa, na região do vale do Urupuca. Esta lavra foi descoberta em 1962 e, no início, era denominada de fazenda Anglo - Rio Urupuca.

O Pegmatito do Benedito está encaixado no xisto de coloração verde escura e granulometria média da Formação São Tomé. O pegmatito possui tamanho grande e forma lenticular com ramificações. Caracteriza-se por conter uma associação mineral composta por albita, quartzo, moscovita, feldspato, granada, biotita, apatita, berilo, lepidolita, turmalina, epidoto,

columbita-tantalita e caulim. Ocorrem, também, feldspato gráfico e estauroлита em forma de porfiroblasto de até cinco centímetros.

O Pegmatito do Benedito mostra uma estrutura típica com zoneamento. Segundo Netto & Araújo (op. cit.), a estrutura deste pegmatito é constituída pelas seguintes zonas:

**a) Zona Marginal** - É pouco definida em várias partes do corpo, entretanto, nela encontram-se finos níveis de quartzo, turmalina e mica de tamanhos milimétricos;

**b) Zona Mural** – Mostra espessura variável de até três metros e contém quartzo hialino muito fraturado, feldspato potássico, turmalina negra, granada em cristais dispersos de coloração avermelhada e livros de moscovita, onde as placas atingem tamanhos de até 40 centímetros de diâmetro;

**c) Zona Intermediária** - Possui espessuras variáveis de até dez metros ou mais, com concentrações de turmalina negra, feldspato, albita, quartzo hialino e leitoso, ocasionalmente facetado, e moscovita em formato de livros ou formando agregados (buchos) junto do feldspato e quartzo. Em menor quantidade, ocorrem minerais de berilo, às vezes, com caráter gemológico (morganita e água-marinha), apatita de cor verde, columbita-tantalita e cassiterita.

**d) Corpos de Substituição** - As massas de substituição são constituídas por cleavelandita, micas claras e róseas e turmalinas coradas. Os geodos (caldeirões) apresentam-se atapetados por lepidolita, cristais de quartzo hialino e turmalinas coloridas (verdelitas, indicolitas e rubelitas), morganita, apatita e columbita-tantalita. As turmalinas gemológicas, atualmente, são consideradas como os principais minerais deste jazimento.

**e) Núcleo** - O núcleo é composto por uma massa de quartzo leitoso que se destaca ao longo do corpo pegmatítico.

No ápice de sua produção ativa, este pegmatito produziu mais de dez toneladas de kunzita de excelente qualidade. Em quantidades consideráveis, extraíram-se outros tipos de gemas como morganita, turmalinas coloridas, hiddenita e trifana. Atualmente, este jazimento é explorado para obtenção de gemas de turmalinas coloridas, morganita, água-marinha e amostras de coleção.

### 9.2.1.6. LAVRA DO COLONIÃO

A lavra do Colonião fica a 35 km ao norte de São José da Safira, estando próxima ao rio Surubim, na fazenda Colonião. Esta lavra era conhecida com o nome de Grota do Chambá quando tornou-se famosa na região, em virtude da extração de uma placa de moscovita de três metros de



diâmetro, aproximadamente. Essa raridade mineralógica encontra-se na casa de um político, constituindo-se numa grande mesa.

Castañeda & Carvalho (1992) observaram que este pegmatito possui forma ameboidal em seção horizontal e cônica em seção vertical. O Pegmatito do Colonião está alojado, concordantemente, nos xistos da Formação São Tomé. A xistosidade exibe uma direção de N20E e mergulho entre 40-50SE. Localmente, a rocha encaixante está representada por um biotita xisto com coloração verde escura e granulometria fina a média. A estrutura do Pegmatito do Colonião caracteriza-se por ser zonada, segundo o padrão de Cameron et al. (1949). A mineralogia básica compõe-se de quartzo, feldspato, moscovita e biotita; os minerais acessórios são constituídos pelo espodumênio, berilo, turmalina, columbita-tantalita e granada. Nos corpos de substituição destacam-se os seguintes minerais: lepidolita, cleavelandita (albita lamelar), quartzo hialino, morganita e turmalina corada. Esta variedade mineralógica confere a esse pegmatito uma tipologia diversificada e complexa, dando-lhe uma importância econômica.

Atualmente, exploram-se nesta lavra berilo industrial, água-marinha, amostras de coleção de quartzo hialino e turmalinas verdes para lapidação.

### **9.2.1.7. LAVRA DO CHIAR**

A lavra do Chiar está situada a 6 km no sudeste da Mina do Cruzeiro, nas nascentes do córrego Safirinha, encostas da Serra do Cruzeiro.

Segundo César Mendes (op. cit.), a lavra do Chiar corresponde a um veio, aproximadamente, concordante com a xistosidade das rochas encaixantes, com direção N10W, mergulho entre 60-70SW e espessura média entre 10 a 15 metros. A rocha encaixante desse pegmatito corresponde ao moscovita-biotita xistos que ocorrem na forma de intercalações nos quartzitos da Serra do Cruzeiro.

A zonalidade desse pegmatito mostra-se de difícil distinção. Compõe-se de zona mural, zona intermediária e núcleo. Na zona mural, existe uma grande concentração de livros de mica. Os corpos de substituição bordejam o núcleo e o interior da zona intermediária.

O corpo pegmatítico possui um jazimento de tamanho médio e exibe forma tabular. Esta lavra caracteriza-se pela produção de gemas de turmalinas verdes (verdelitas) e vermelhas (rubelitas), ocorrendo, mais raramente, espodumênio incolor e róseo, esta última denominada de kunzita.

### 9.2.1.8. LAVRA DA SAFIRINHA

A lavra da Safirinha está localizada no sudeste de São José da Safira, a 7 km de distância, ficando próxima ao córrego Safirinha.

O pegmatito possui forma tabular e tamanho grande, estando alojado nos estaurolita-mica xistos da Formação São Tomé. Caracteriza-se por conter estaurolita, biotita e intensa turmalinização na vizinhança do contato com a apófise pegmatítica.

César Mendes (op. cit.) refere-se ao Pegmatito da Safirinha como um corpo com mais de 500 metros de comprimento e espessura máxima de 40 metros, apresentando direção geral N10E e mergulho subvertical de 60SE. O zoneamento é bem nítido, ocorrendo na zona mural, cristais gigantes de feldspato e espodumênio em ripas que alcançam até mais de dois metros de comprimento. Ocorrem também nesta zona, cristais métricos de turmalina negra, grandes livros de moscovita e cristal alongado de berilo. No núcleo do corpo pegmatítico, observa-se quartzo leitoso. A lepidolita e albita estão disseminadas nos corpos de substituição, imersos na zona de cristais gigantes.

Em épocas passadas, a Mina da Safirinha foi lavrada para mica, berilo e turmalina corada. Nos geodos deste pegmatito, foram encontrados morganita tabular e grandes cristais de turmalina verde.

### 9.2.1.9. LAVRA DA TERRA BRANCA

A lavra da Terra Branca fica a sudeste de São José da Safira e está localizada próxima ao córrego do Safirão.

Segundo Netto & Araújo (op. cit.), o pegmatito apresenta um corpo grande e forma tabular, com direção NNW-SSE e mergulho subvertical, sendo concordante com a foliação do xisto encaixante (unidade 3 da Formação São Tomé). Trata-se de um corpo cujo zoneamento é pouco nítido. O pegmatito é composto por minerais de feldspato, mica clara, quartzo, berilo e granada. O núcleo de quartzo é descontínuo.

O aproveitamento econômico do jazimento da Terra Branca é feito pela exploração de berilo industrial, água-marinha e columbita-tantalita. A variedade gemológica de água-marinha era sempre obtida durante a desagregação dos grandes cristais de berilo industrial. Era encontrada em forma de olhos límpidos e azulados. As turmalinas negras e coloridas não são comuns neste garimpo.

## Capítulo 10

# GEOLOGIA DA ÁREA DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA

---

**A** geologia da área está ilustrada na Figura 14. Os Pegmatitos da Pederneira estão encaixados na unidade 2 (Nst2) da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce, classificação adotada pelo Projeto Leste, Folha de Santa Maria do Suaçuí, Silva (1997).

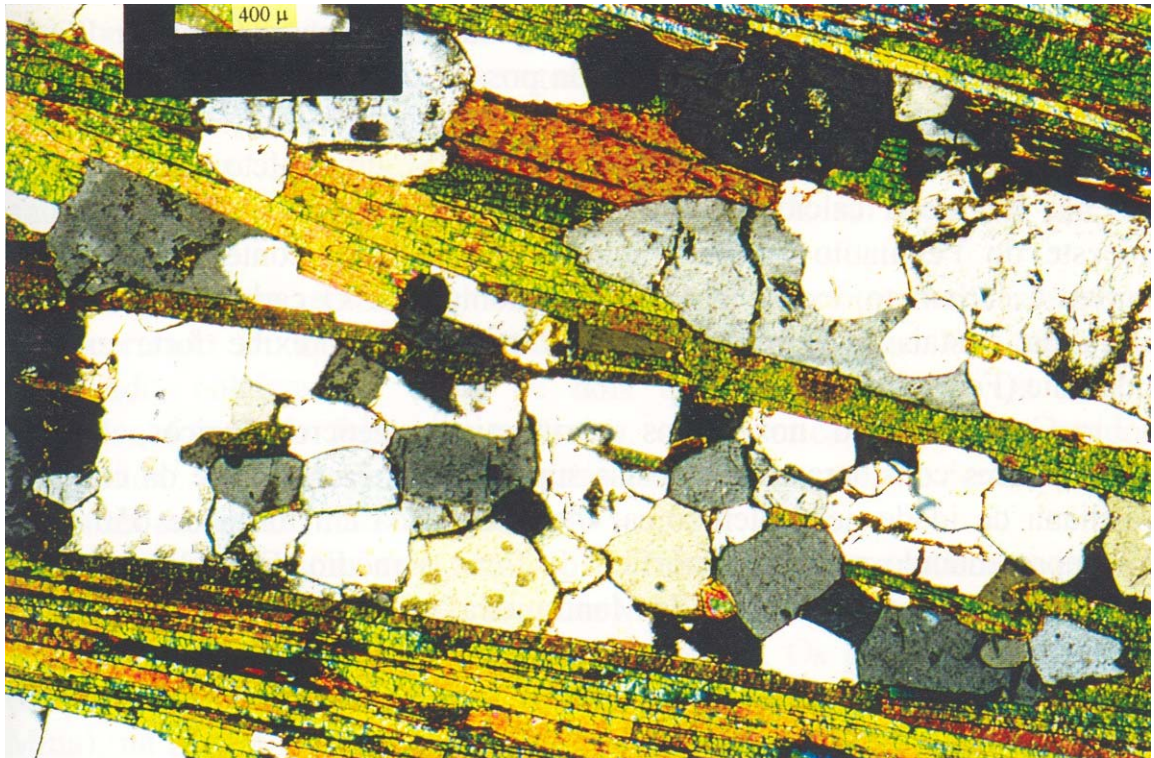
Esta unidade geológica é constituída por quartzito micaxisto, xisto grafitoso, gondito e rochas calciossilicáticas. Próximos à área estudada, ocorrem os quartzitos da Serra do Cruzeiro, sobressaindo-se morfologicamente as íngremes escarpas com altitudes acentuadas. Estes quartzitos estão enquadrados na unidade 1 (Nst1) da Formação São Tomé. De acordo com Silva (op. cit.), os quartzitos da unidade 2 formam bancos com poucos centímetros até cinco metros de espessura, intercalados com xistos, em contato gradacional, caracterizando uma seqüência turbidítica arenosa.

### 10.1. ROCHA ENCAIXANTE

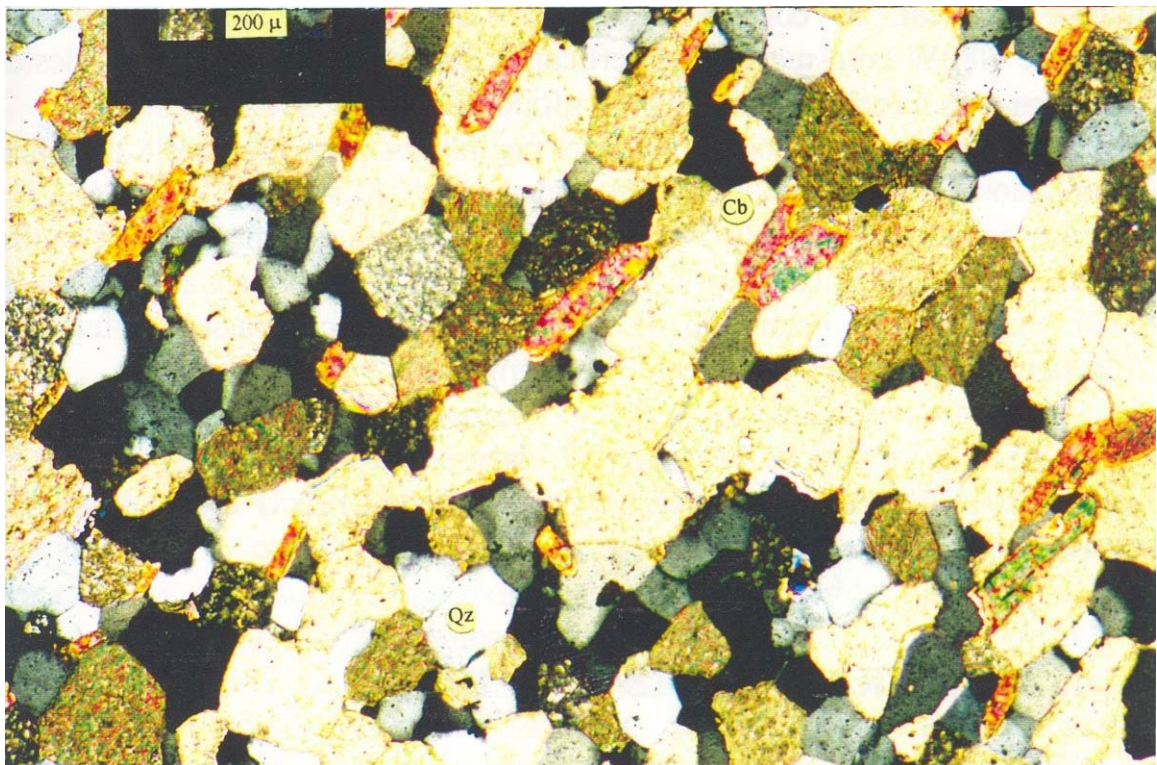
Os pegmatitos da área estudada estão encaixados no quartzito-biotita xisto. Localmente, os xistos apresentam-se parcialmente intemperizados, sendo caracterizados pela coloração cinza esbranquiçada a cinza escura, granulação variando de fina a grosseira e foliação em que se destacam as palhetas de biotita. A foliação da encaixante apresenta direção de N80W e mergulho de 25° SW. Entretanto, a xistosidade próxima ao corpo pegmatítico é bem acentuada, apresentando direções variadas entre norte e noroeste com mergulhos verticais a subverticais. As atitudes variam por causa da deformação originada pela intrusão do corpo.

Freqüentemente, ocorrem lentes e pequenos veios de cor branca, compostos por quartzito e quartzito-feldspático. Estes veios, geralmente, são concordantes com a rocha xistosa hospedeira. Apresentam-se com poucos centímetros de espessura e alguns decímetros de comprimento. Alguns são de formato tortuoso, podendo exibir pequenos dobramentos (Foto 5). As amostras descritivas da rocha encaixante estão na Tabela 11 (anexo II).

Microscopicamente, a rocha encaixante compõe-se de quartzito e biotita. O quartzito apresenta textura granoblástica com grãos irregulares, formando camadas paralelas às camadas da biotita. O quartzito apresenta forte extinção ondulante e fraturamento. A biotita exibe textura lepidoblástica, ocorrendo



Fotomicrografia 1 – Quartzo-biotita xisto, mostrando textura granoblástica do quartzo em associação com cristais orientados de biotita.. Amostra PD-13. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 2 – Aspecto textural da rocha calciossilicática, mostrando cristais de carbonato (Cb) e quartzo (Qz) com textura granoblástica. Amostra SS.251. Nicóis cruzados.



palhetas estreitas e longas, alinhadas segundo a foliação (amostra PD-13, Fotomicrografia 1). Esta lâmina delgada possui, em proporção menor, mica clara e feldspato potássico.

A lâmina petrográfica da amostra SS-251 do Projeto Leste revela a presença de rocha calciossilicática, cujo afloramento está a 500 metros a sudoeste do Pegmatito da Pederneira. Nesta lâmina, contêm minerais de quartzo e carbonato, exibindo textura granoblástica. O carbonato ocorre em forma de cristais isolados e agregados e o quartzo exibe forte extinção ondulante (Fotomicrografia 2).

Com respaldo nos dados estruturais e geocronológicos, diversos pesquisadores consideraram que estas supracrustais façam parte da cobertura brasileira de idade neoproterozóica, metamorfisada em torno de 650 a 750 m.a., apresentando grau metamórfico de fraco a médio. Esta cobertura está inserida na Província Estrutural da Mantiqueira.

## **10.2. PEGMATITOS DA PEDERNEIRA**

Os Pegmatitos da Pederneira ocorrem em forma tabular com ramificações, concordantes com a foliação xistosa. Seguindo a direção da foliação do local, os corpos pegmatíticos apresentam, aproximadamente, direção de N80W com mergulhos verticais a subverticais. Os contatos destes pegmatitos com a rocha encaixante são nítidos e bastante irregulares.

Na área de estudo, ocorrem dois pegmatitos, que são, neste trabalho, denominados de Pederneira I (Mina) e Pederneira II (Garimpo).

O corpo principal do Pegmatito da Pederneira I apresenta estrutura zonada e corpos de substituição, segundo a classificação de Cameron et al. (1949). Entretanto, o Pegmatito da Pederneira II caracteriza-se por ter uma estrutura mais simples, sem zoneamento complexo.

A área de pesquisa da Pederneira, atualmente, está dividida em três frentes de serviço: Lavra da Pederneira I (correspondente ao corpo principal da mina), Galeria do Venâncio (galeria nova da Pederneira I) e o Garimpo da Pederneira II.

### **10.2.1. AMOSTRAGEM DAS GALERIAS**

Para execução deste trabalho, as amostras de minerais e rochas foram coletadas através de galerias subterrâneas, construídas dentro dos pegmatitos. A amostragem do Pegmatito da Pederneira I realizou-se nos quatro níveis superiores. Entretanto, uma parte do nível quatro, o nível cinco e o nível seis

não foram amostrados, pois, as galerias estavam totalmente inundadas. Na Galeria do Venâncio, a amostragem foi feita no pegmatito e na rocha encaixante, próxima ao contato, enquanto que, na Pederneira II, a amostragem foi efetuada em dois níveis (nível superior e nível inferior) do pegmatito. A amostragem da rocha encaixante na Pederneira II foi excluída por estar intemperizada.

Com uma amostragem do tipo simples, obteve-se material não intemperizado ao longo das paredes e tetos das galerias. Em cada ponto amostrado, coletaram-se cerca de dois quilos de material. Os minerais coletados foram de feldspato potássico, albita, mica, turmalina, lepidolita (mica lilás), berilo e granada. Amostras de rocha encaixante foram coletadas próximas ao contato com o pegmatito.

As 69 amostras relacionadas na Tabela 6 correspondem ao material coletado na Pederneira I (47 amostras), no Garimpo da Pederneira II (15 amostras) e na Galeria do Venâncio (7 amostras). Os pontos de amostragem estão representados nas Figuras 16, 17 e 18 (Pegmatito da Pederneira I – Mina), na Figura 22 (Galeria do Venâncio) e Figuras 23 e 24 (Pegmatito da Pederneira II - Garimpo).

### **10.2.2. PEGMATITO DA PEDERNEIRA I**

O corpo pegmatítico da Pederneira aflora na encosta da serra onde se localiza a entrada principal da mina, que está posicionada numa altitude de 800 metros. A lavra da mina é totalmente subterrânea. O Pegmatito da Pederneira I está encaixado no quartzo-biotita xisto, aproximadamente, concordante com a direção da foliação geral, ou seja, N80W, porém com mergulho quase verticalizado.

O Pegmatito da Pederneira I é um corpo bastante irregular, complexo, zonado, com forma tabular, ramificado, contendo uma grande variedade mineralógica. Vários xenólitos de xisto encontram-se dentro do pegmatito, apresentando deformações originadas pelo posicionamento forçado do material pegmatítico. O corpo principal possui cerca de 150 metros de extensão, 20 metros de espessura e, aproximadamente, 40 metros de largura, sendo enquadrado como um jazimento de tamanho grande.

A mineralogia essencial é composta por quartzo, feldspato potássico (microclina), albita (cleavelandita) e moscovita, tendo como acessórios: turmalinas negras e coloridas, granada, berilo (morganita), espodumênio, ambligonita-montebrasita, lepidolita, micas intermediárias, zinnwaldita, columbita-tantalita e fosfato (apatita).

O pegmatito pode ser diferenciado em quatro zonas: zona de borda ou

**Tabela 6 – Localização das amostras da Pederneira**

<b>AMOSTRA</b>	<b>NOME</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>NÍVEL DA GALERIA</b>
PD-1	Microclina	Pederneira I	3
PD-2	Albita	Pederneira I	3
PD-3	Moscovita	Pederneira I	3
PD-4	Albita	Pederneira I	3
PD-5	Moscovita	Pederneira I	3
PD-6	Microclina	Pederneira I	3
PD-13	Xisto	Pederneira I	2
PD-14	Lepidolita	Pederneira I	2
PD-25	Xisto	Pederneira I	3
PD-26	Lepidolita	Pederneira I	3
PD-27	Turmalina	Pederneira I	1
PD-28	Moscovita	Pederneira I	1
PD-29	Microclina	Pederneira I	1
PD-30	Moscovita	Pederneira I	1
PD-31	Microclina	Pederneira I	1
PD-32	Turmalina	Pederneira I	1
PD-33	Turmalina	Pederneira I	1
PD-34	Microclina	Pederneira I	1
PD-35	Moscovita	Pederneira I	1
PD-36	Microclina	Pederneira I	1
PD-37	Turmalina	Pederneira I	1
PD-38	Microclina	Pederneira I	2
PD-39	Turmalina	Pederneira I	2
PD-40	Moscovita	Pederneira I	2
PD-41	Microclina	Pederneira I	2
PD-42	Moscovita	Pederneira I	3
PD-43	Microclina	Pederneira I	3
PD-44	Microclina	Pederneira I	3
PD-45	Turmalina	Pederneira I	3
PD-46	Lepidolita	Pederneira I	3
PD-47	Moscovita	Pederneira I	3
PD-48	Albita	Pederneira I	3
PD-49	Turmalina	Pederneira I	3
PD-50	Moscovita	Pederneira I	4

**Tabela 6 – Localização das amostras da Pederneira. (continuação)**

AMOSTRA	NOME	LOCALIZAÇÃO	NÍVEL DA GALERIA
PD-51	Albita	Pederneira I	4
PD-52	Moscovita	Pederneira I	4
PD-53	Lepidolita	Pederneira I	4
PD-54	Albita	Pederneira I	4
PD-62	Moscovita	Pederneira I	3
PD-63	Microclina	Pederneira I	3
PD-65A	Turmalina	Pederneira I	3
PD-65B	Moscovita rósea	Pederneira I	3
PD-66	Albita	Pederneira I	3
PD-67	Albita	Pederneira I	3
PD-68	Granada	Pederneira I	3
PD-69	Microclina	Pederneira I	4
PD-70	Microclina	Pederneira I	4
PD-7	Turmalina	Galeria do Venâncio	2
PD-8	Albita	Galeria do Venâncio	2
PD-9	Moscovita	Galeria do Venâncio	2
PD-10	Xisto	Galeria do Venâncio	2
PD-11	Moscovita	Galeria do Venâncio	2
PD-12	Microclina	Galeria do Venâncio	2
PD-64	Turmalina	Galeria do Venâncio	2
PD-15	Albita	Pederneira II	Superior
PD-16	Moscovita	Pederneira II	Superior
PD-17	Microclina	Pederneira II	Superior
PD-18	Turmalina	Pederneira II	Superior
PD-19	Berilo	Pederneira II	Superior
PD-20	Turmalina	Pederneira II	Inferior
PD-21	Moscovita	Pederneira II	Inferior
PD-22	Microclina	Pederneira II	Inferior
PD-55	Turmalina	Pederneira II	Inferior
PD-56	Moscovita	Pederneira II	Inferior
PD-57	Moscovita	Pederneira II	Inferior
PD-58	Moscovita	Pederneira II	Inferior
PD-59	Moscovita	Pederneira II	Inferior
PD-60	Turmalina	Pederneira II	Superior
PD-61	Microclina	Pederneira II	Inferior

OBS.: A mica lilás foi identificada pelas análises de microsonda eletrônica, difração de raios X e espectroscopia de absorção no infravermelho como um conjunto de micas: lepidolita, micas intermediárias e moscovita.



marginal, zona mural, zona intermediária e núcleo, além dos corpos de substituição.

**a) Zona de Borda ou Marginal** - É caracterizada pela pouca espessura, em torno de dez centímetros. Mineralogicamente, compõe-se de feldspato potássico, moscovita e quartzo;

**b) Zona Mural** - É bem homogênea e composta por feldspato potássico, quartzo e mica clara. O feldspato potássico possui aspecto branco leitoso e foi identificado como microclina pelas análises de espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Em locais restritos desta zona, observa-se textura gráfica de quartzo e feldspato (Foto 6). Ainda nesta zona, notam-se algumas segregações de quartzo com turmalina negra, disseminadas na massa feldspática. A turmalina negra forma grandes cristais que chegam a atingir até 40 cm de comprimento. A direção do eixo c da turmalina negra, quase sempre, está indicando uma posição perpendicular ao contato. É comum a existência de xenólitos de xisto que são, às vezes, cortados por microapófises pegmatíticas;

**c) Zona Intermediária** - Destacam-se essencialmente feldspato potássico, albita e quartzo. O feldspato potássico (microclina) exibe textura de grãos mais grossos do que as zonas anteriores descritas. Em lâminas delgadas observam-se as pertitas. Nesta zona, ocorrem as micas marrons em formato de livro, que se distribuem, erráticamente, na massa feldspática. Observa-se, também, turmalina negra e granada vermelha escura. A turmalina apresenta-se em cristais prismáticos com tamanhos diversos. A granada está distribuída em pequenas massas granulares, associada ao quartzo, feldspato e turmalina negra;

**d) Núcleo** - É constituído essencialmente por quartzo leitoso, com espessura máxima de um metro. Caracteriza-se pela forma irregular, descontinuidade e disposição assimétrica em relação às outras zonas do corpo pegmatítico. Na superfície do núcleo, ocorrem inclusões de feldspato e turmalina negra;

**e) Corpos de Substituição** - Apresentam uma mineralogia peculiar, diversificada, onde predomina a albita verde-azulada, tipo cleavelandita. Outros minerais observados: micas lilás (lepidolita, moscovita e micas mistas), espodumênio, microclina, quartzo, turmalina corada (verde-rosa). Na Foto 7, encontram-se associados os minerais de espodumênio, lepidolita, albita e quartzo.

César Mendes (1995) enumera, também, os minerais de ambligonita, berilo róseo, columbita-tantalita e fosfato (apatita). Esta unidade é caracterizada pela presença de geodos, conhecidos por caldeirões na linguagem garimpeira. Estes geodos apresentam formas variadas, geralmente, arredondadas com diâmetros variando desde centímetros até algumas dezenas de metros.

Conforme informação oral do proprietário da mina, no nível 4 deste corpo, encontram-se muitos geodos, deles sendo retiradas as turmalinas gemológicas (verdes, rosas e azuis), albita azul e belos conjuntos de cristais de minerais pegmatíticos.

### **10.2.2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MINA**

A Mina da Pederneira está localizada em terreno de propriedade do Sr. José de Oliveira Rocha (Deca) no município de Santa Maria do Suaçuí. Esta mina é uma jazida subterrânea que foi lavrada através de poços e galerias, produzindo uma grande quantidade de amostras de coleção.

A Mina da Pederneira alcançou o seu auge na exploração, entre 1985 a 1993, quando os direitos minerários pertenciam à Empresa Geometa Ltda, cujo dono era o Sr. Dilermando Rodrigues de Melo. Segundo informações locais, nesta época, a mineração era bem equipada e contava com aparelhagem de última linha, uma excelente infra-estrutura e garimpeiros experientes. Desta jazida, foram retiradas para coleção, toneladas de turmalinas coloridas (verdes, rosas e azuis) e amostras de albita branca e verde-azulada, lepidolita, quartzo hialino, turmalina negra e morganita. As amostras de coleção apresentavam combinações harmoniosas de minerais, os quais formavam um conjunto de peças de rara beleza, tornando-se mundialmente conhecida.

Os trabalhos de lavra na mina foram desenvolvidos nas galerias e poços, distribuídos em seis níveis de altitude, perfazendo, aproximadamente, um total de 300 metros, formando um desnível em torno de 45 metros dentro do pegmatito.

As plantas e perfis do corpo pegmatítico da Mina da Pederneira foram obtidos através do relatório de pesquisa, elaborado por Ribeiro (1995). Algumas modificações foram introduzidas para efeito de atualização e adaptação deste trabalho.

O mapa de localização dos corpos pegmatíticos da Pederneira pode ser visto na Figura 15. Os pegmatitos ocorrem relativamente próximos ao córrego do Ouro, que deságua no Córrego da Pederneira.

Os pontos de amostragem e os dados geológicos estão representados nas plantas de detalhes da mina, sendo configurados em diferentes níveis. Portanto, os detalhamentos da mina estão representados, em planta, no nível 1 e nível 2 (Figura 16), no nível 3 (Figura 17), no nível 4 e nível 5 (Figura 18). As amostras foram coletadas nas diferentes zonas dos pegmatitos, através das galerias, que estão localizadas no nível 1, nível 2, nível 3 e nível 4.

As galerias, que compõem o nível 4 (uma grande parte), o nível 5 e o nível 6 (totalmente), encontram-se inundadas pela falta de bombeamento da

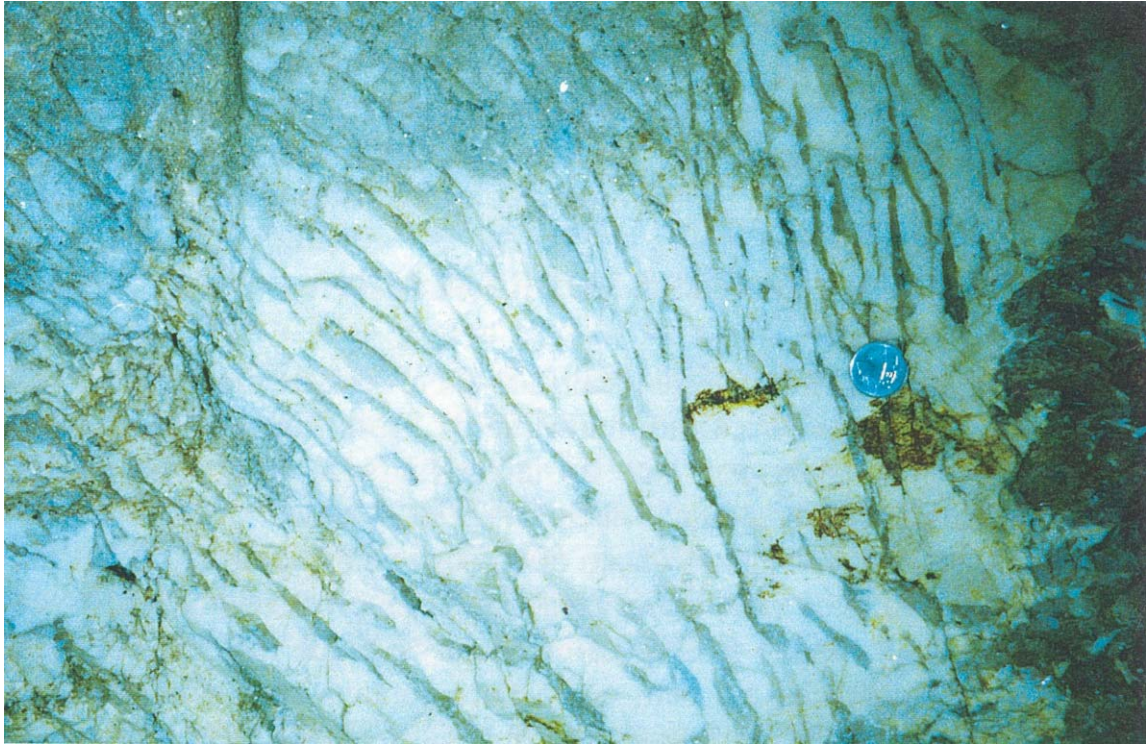


Foto 6 – Detalhe do intercrescimento gráfico de quartzo e K-feldspato da zona mural no Pegmatito da Pederneira I.



Foto 7 – Associação mineralógica composta por lepidolita (Lp), espodumênio (Es), albita (Ab) e quartzo (Qz) dos corpos de substituição no Pegmatito da Pederneira I.



água do nível freático. Algumas galerias estão desativadas devido ao entulhamento de materiais do pegmatito e outras alagadas e com ameaças de desabamento, tornando-se inacessíveis, nestas partes, para realização de estudos. Atualmente, o serviço do garimpo foi retomado e está concentrado no nível 3 do corpo pegmatítico principal.

As galerias subterrâneas e poços foram construídos cortando o corpo pegmatítico e a rocha encaixante em seis diferentes níveis (Figuras 19 e 20). Cada galeria horizontal corresponde a um determinado nível de altitude. A diferença entre as galerias do nível 1 (superior) e as galerias do nível 6 (inferior) atinge uma profundidade de mais ou menos 45 metros. O nível 6 corresponde ao poço com 15 metros de profundidade.

A Figura 19 ilustra um corte longitudinal do pegmatito (A-A'), orientado no sentido NW-SE, mostrando os diferentes níveis, as galerias, os poços, os locais do desenvolvimento da lavra, os equipamentos da mina como o guincho para remoção do material pegmatítico, os tubos de canalização de ar comprimido e os tubos de canalização do ar exaustor.

O corte transversal deste corpo pegmatítico (B-B'), posicionado no sentido NE-SW, está indicado na Figura 20. As galerias do Pegmatito da Pederneira I atingiram uma extensão de 300 metros e as galerias situadas no nível 4 e nível 5 foram as mais importantes do ponto de vista econômico.

O aspecto geral da área da Mina da Pederneira está ilustrado na Figura 21. A parte do pegmatito, mostrado no desenho em planta, corresponde ao nível 4, que foi o local mais importante da exploração da mina nos antigos trabalhos de lavra. A parte da superfície da mina está equipada com compressores, paióis de explosivos e geradores de energia elétrica. O desenho indica, também, o acampamento, a área de rejeitos, os antigos trilhos de vagonetes (atualmente desativados) e relíquias de antigas tubulações onde funcionava o sistema de ventilação da mina.

### **10.2.3. GALERIA DO VENÂNCIO**

A Galeria do Venâncio é uma galeria construída por Domingos Ribeiro da Rocha (Venâncio) no Pegmatito da Pederneira I, na tentativa de encontrar novos minerais econômicos. Esta galeria é de construção recente e corresponde ao nível 2 do Pegmatito da Pederneira I. Possui 88 metros de extensão e 0,80 m de largura. A partir da entrada da galeria até, aproximadamente, dez metros ocorre um solo avermelhado, proveniente da alteração do xisto. Depois de oitenta metros de percurso, existe uma descida escalonada de oito metros, onde se encontra o núcleo do pegmatito.

A rocha xistosa, encaixante, encontra-se bastante intemperizada e grande parte transformada em solo vermelho. O pegmatito apresenta-se de

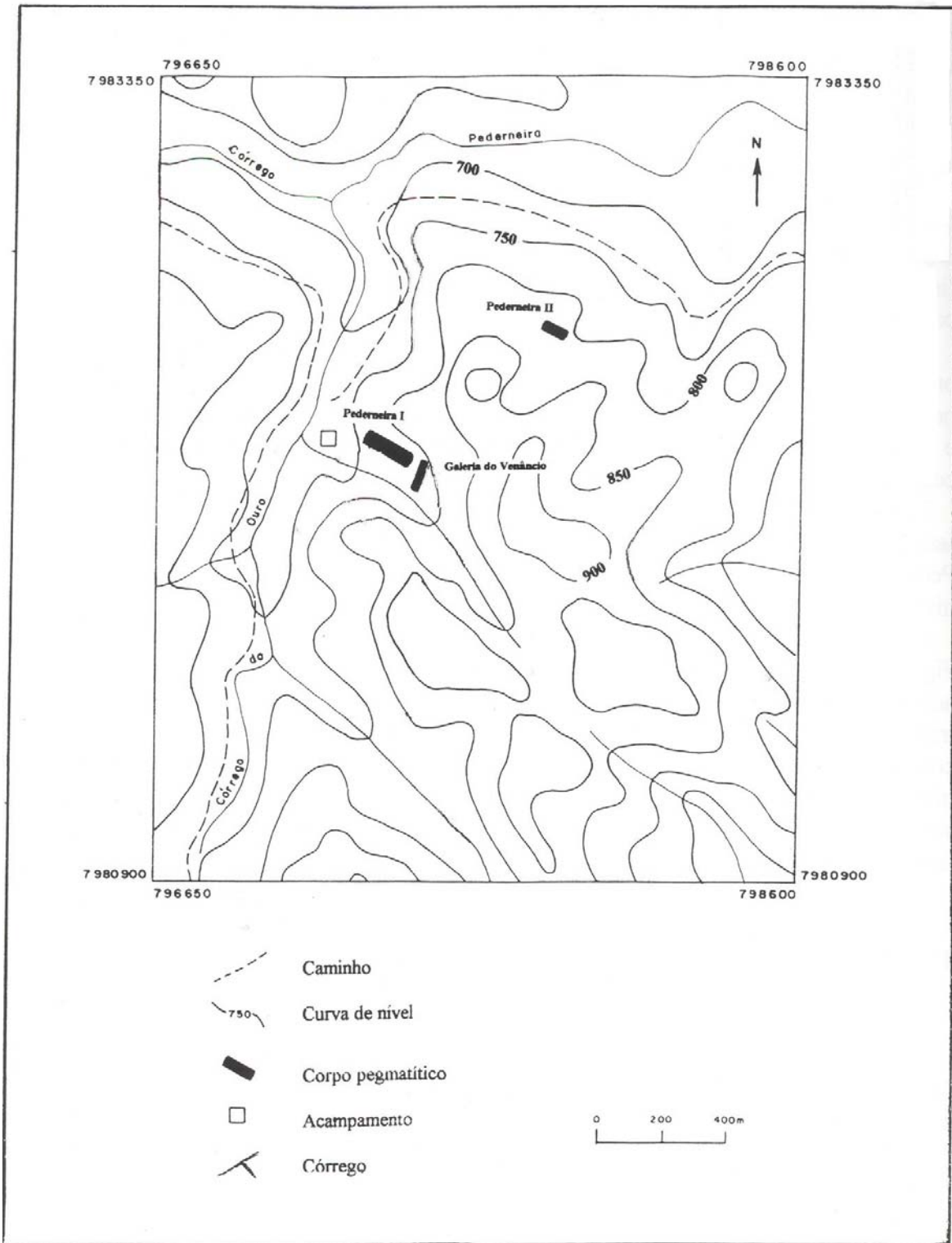


Figura 15 – Mapa de localização dos corpos pegmatíticos da Pederneira, Ribeiro (1995), modificado.

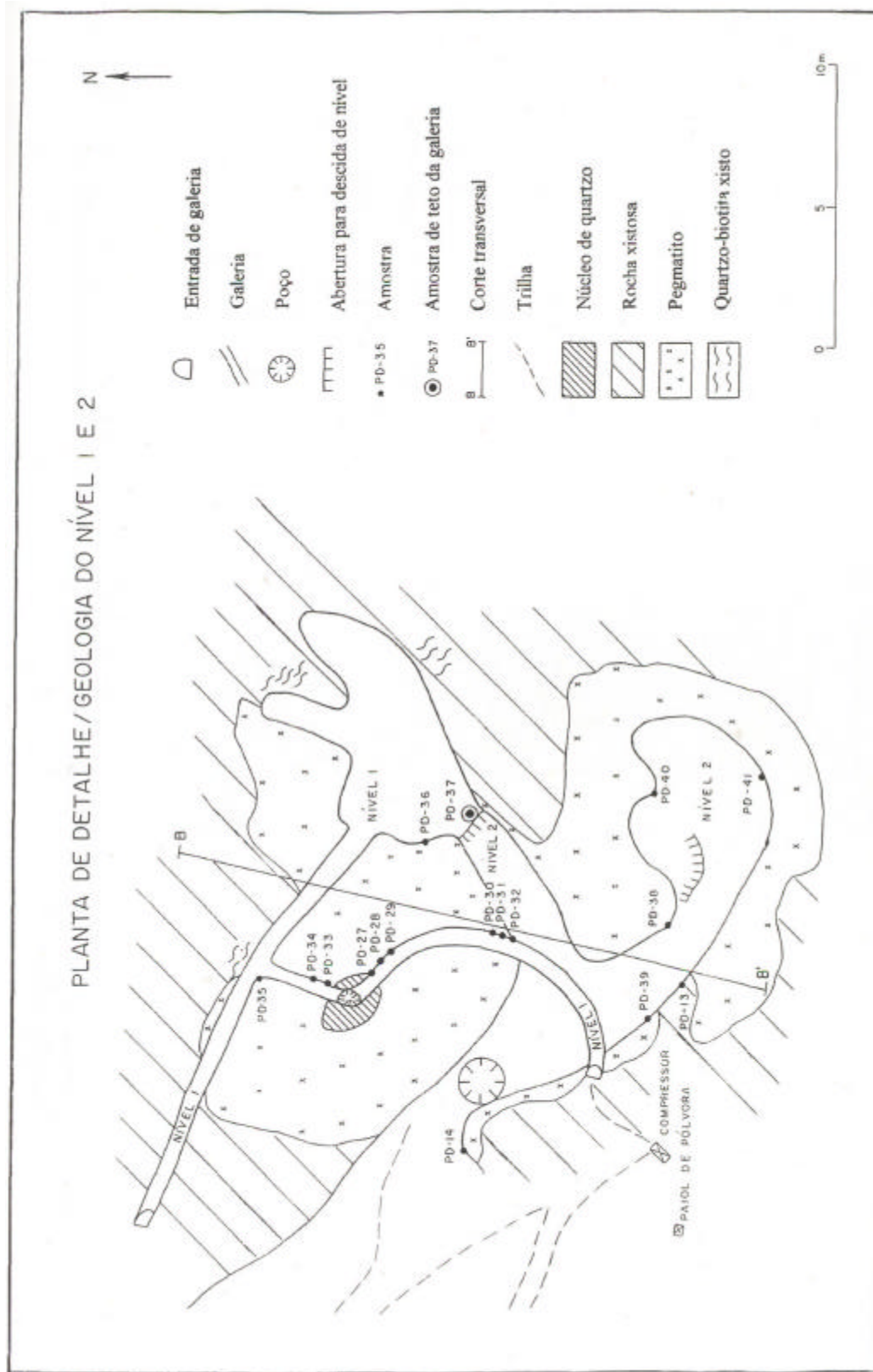


Figura 16 – Mapa de geologia e amostragem do nível 1 e 2 da Mina da Pederneira, Ribeiro (1995), modificado.

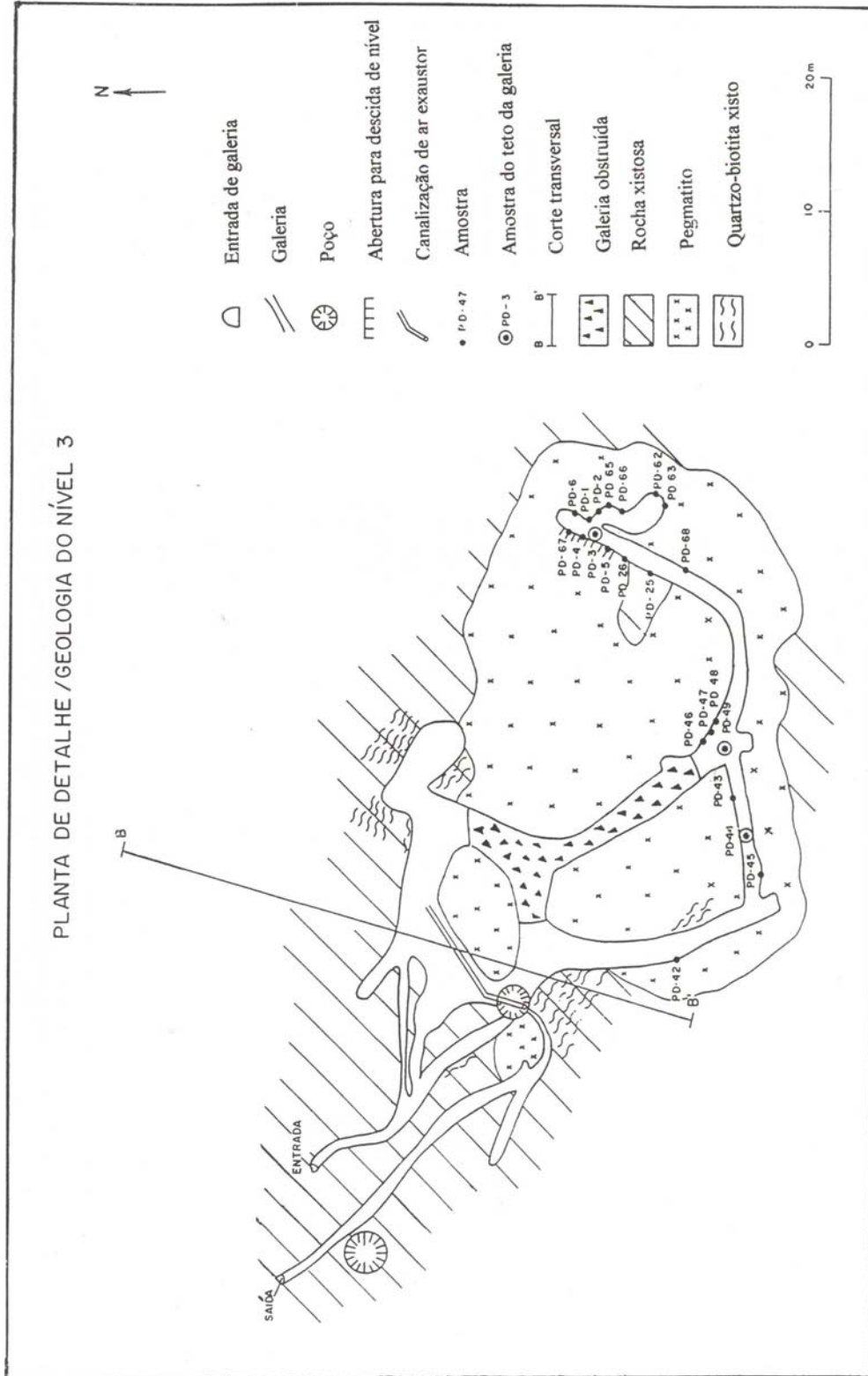


Figura 17, Mapa de geologia e amostragem do nível 3 da Mina Pedemeira, Ribeiro (1995), modificado

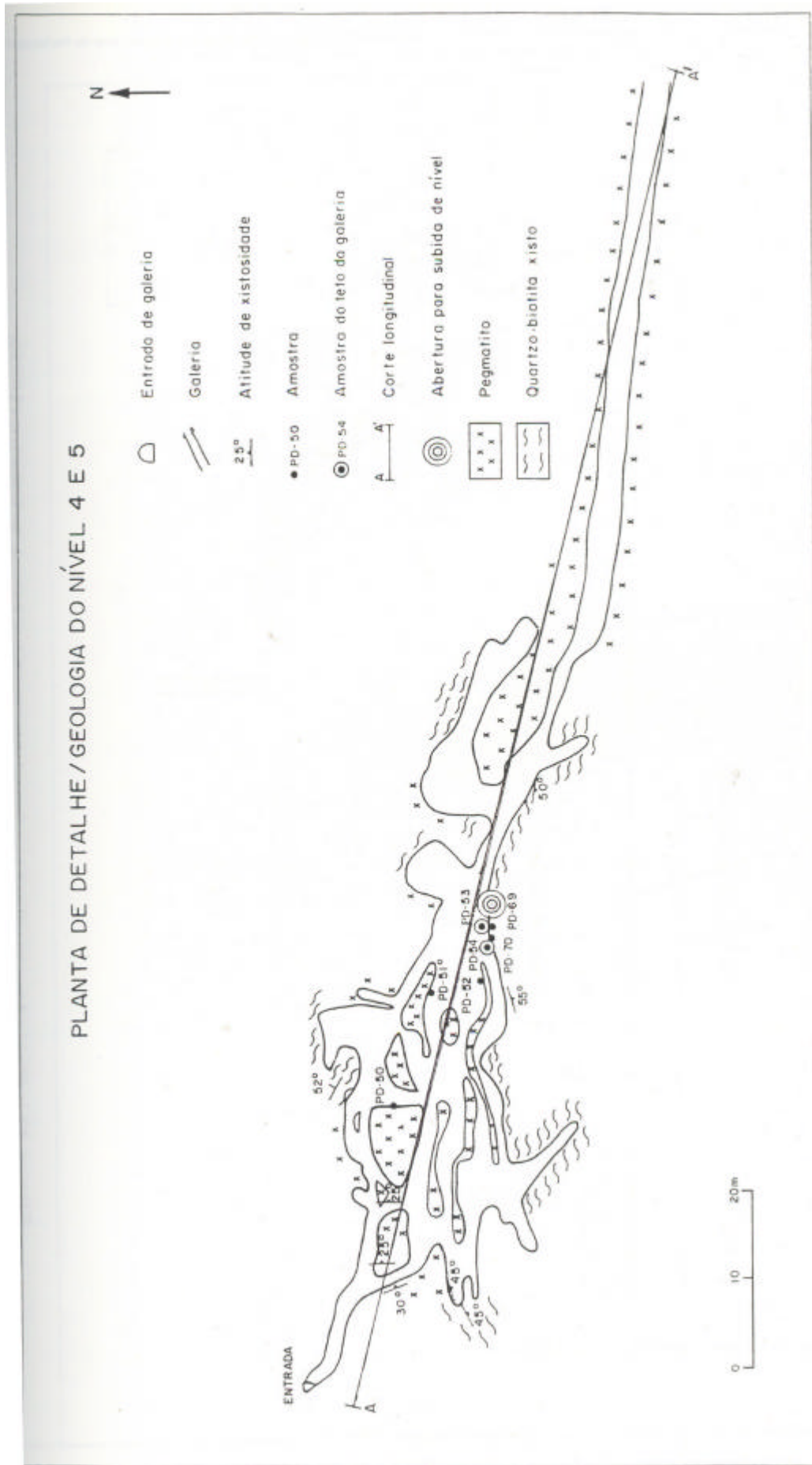


Figura 18, Mapa de geologia e amostragem do nível 4 e 5 da Mina da Pedemeira, Ribeiro (1995), modificado.



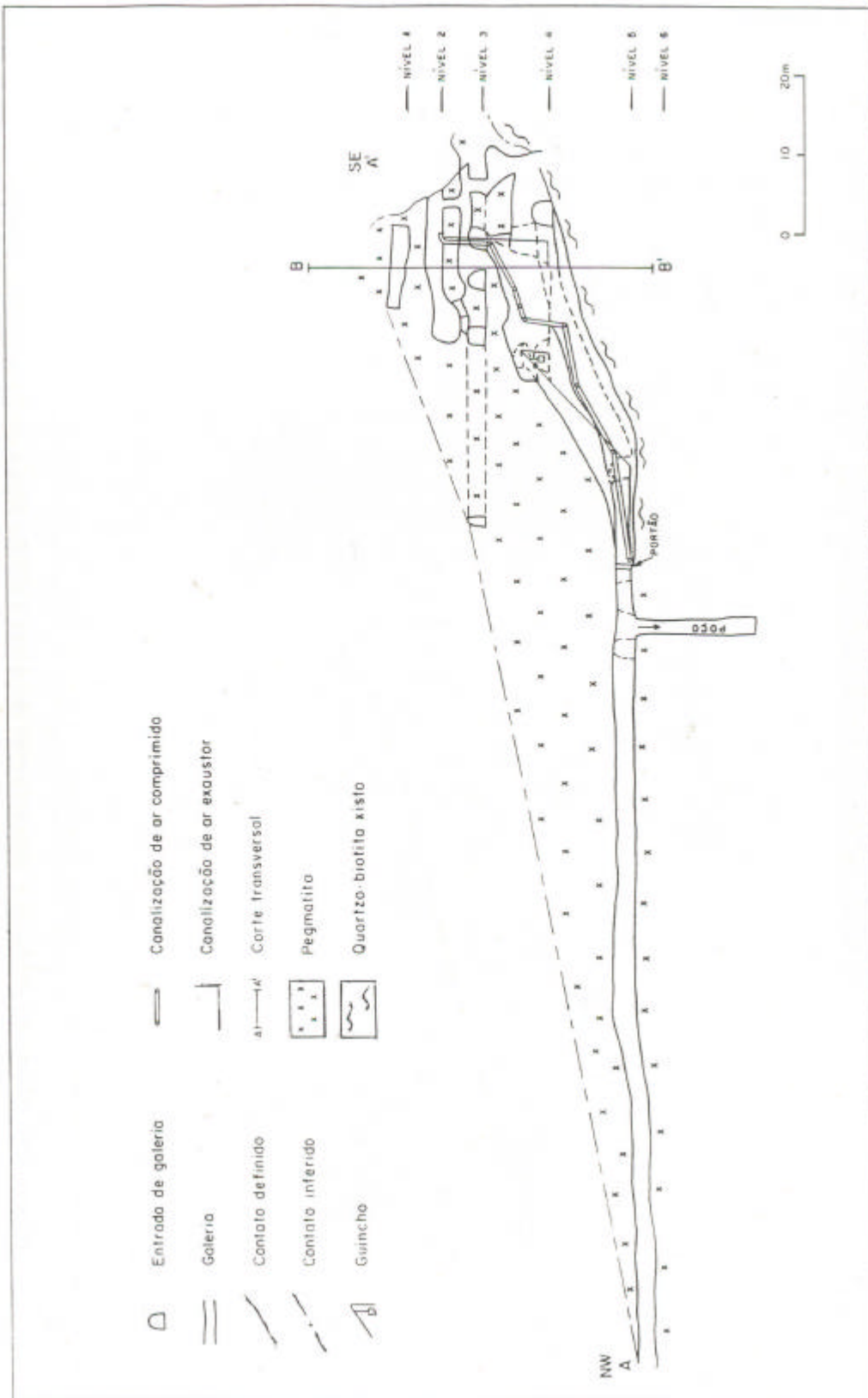


Figura 19 – Corte longitudinal ao corpo pegmatítico (A - A), Ribeiro (1995).

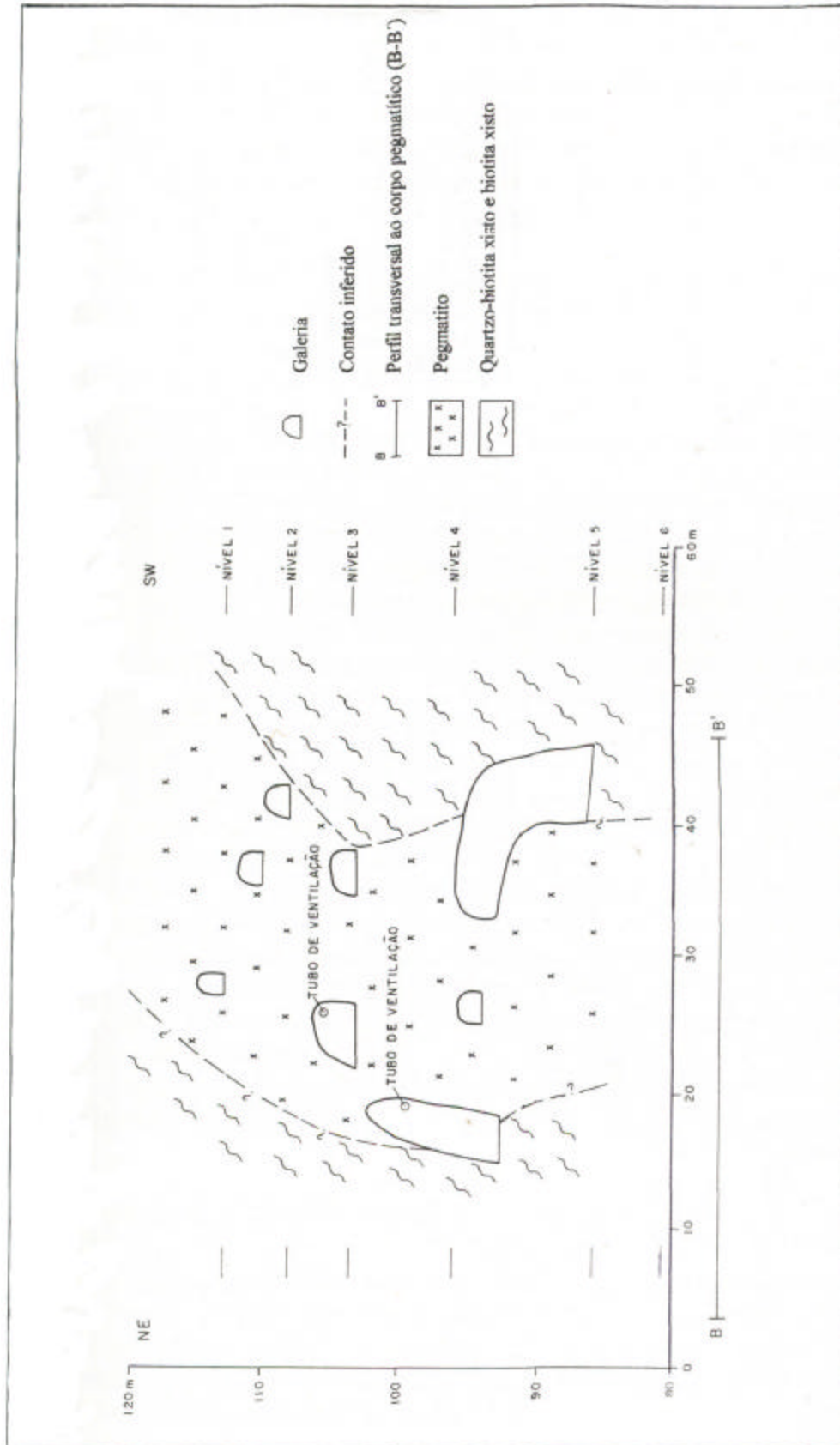


Figura 20 – Corte transversal ao corpo pegmatítico (B - B'), Ribeiro (1995)

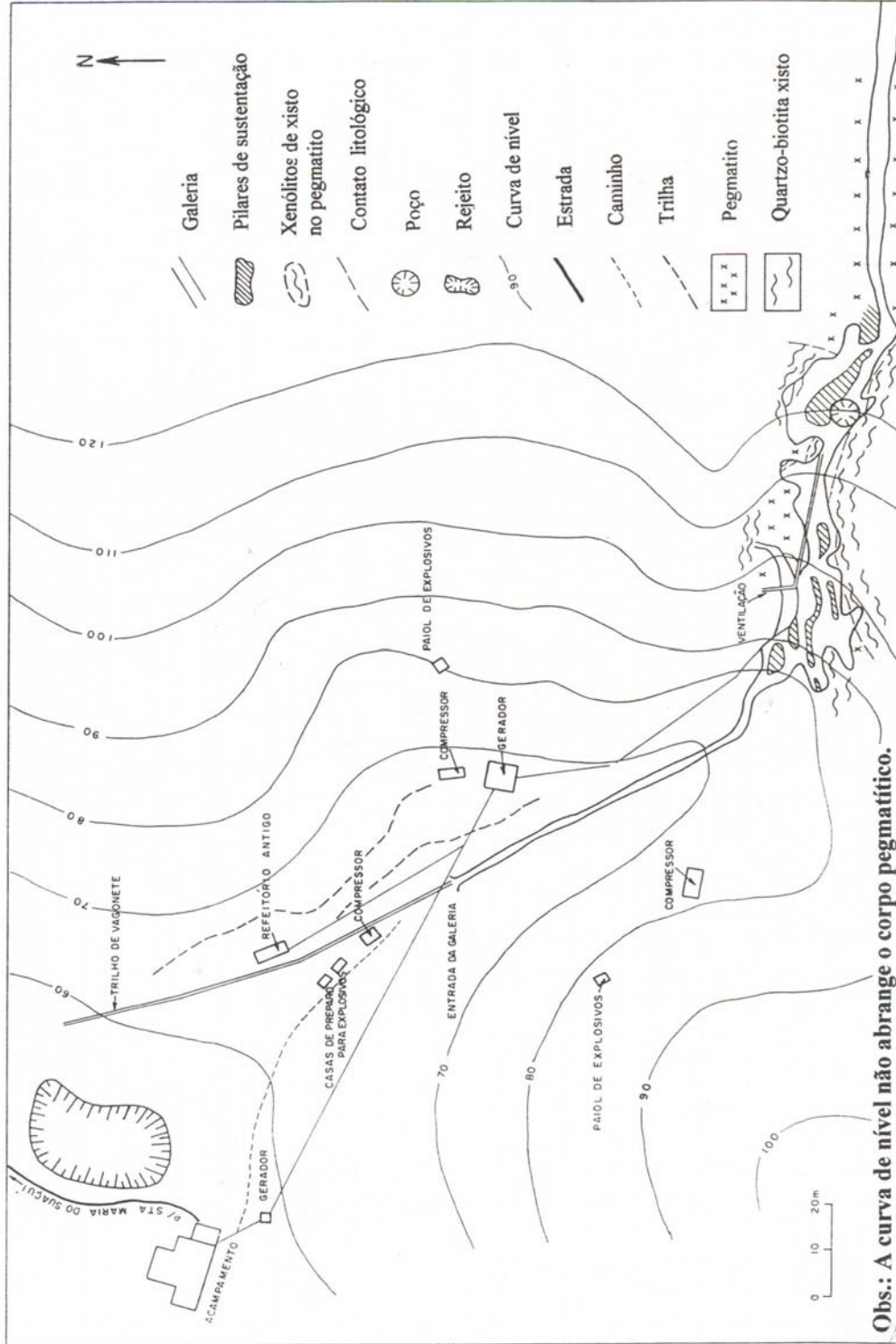


Figura 21 – Planta de detalhe da área principal da Mina de Pedemeira, Ribeiro, (1995), modificado.

forma tabular e o contato com o xisto denota a existência de uma faixa de transição, onde são comuns os xenólitos do xisto. Alguns desses xenólitos alcançam até dois metros de comprimento. Esta parte do Pegmatito da Pederneira I é constituída, predominantemente, por feldspato potássico e evidencia-se um zoneamento formado pela zona mural, zona intermediária e núcleo.

**a) Zona Mural** - Na zona mural, próxima ao contato com o xisto encaixante, ocorre o feldspato potássico, identificado como microclina pelas análises de espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Nesta zona, o pegmatito encontra-se parcialmente decomposto, apresentando uma coloração que varia de branca a cinza e caracterizando-se pela presença de vários xenólitos de xisto. Ocorrem, também, pequenos cristais de turmalina negra com até cinco centímetros de tamanho;

**b) Zona Intermediária** - A zona intermediária é composta por duas subzonas: uma externa e outra interna. Na zona intermediária externa, ocorre a mica marrom bem desenvolvida, chegando até 30 centímetros de secção basal, difundida na massa feldspática de composição microclínica. Na zona intermediária interna, a mica é incolor, ocorre em formato de livro e está distribuída erráticamente no pegmatito, porém com tamanho bem menor, variando em torno de 15 cm de secção basal. Ocorrem ainda nesta zona, como minerais acessórios, a turmalina negra e a granada vermelha escura. A turmalina apresenta-se em forma de cristais prismáticos de tamanhos diversos, acumulando-se de forma descontínua. A granada ocorre em pequenas massas granulares e está associada ao quartzo, feldspato e turmalina negra. Estes minerais estão dispostos em torno do núcleo;

**c) Núcleo** - O núcleo é descontínuo e formado, essencialmente, por segregações de quartzo leitoso, possuindo inclusões de turmalina negra e feldspato. Nesta galeria, observa-se a existência de dois núcleos. O maior núcleo tem quatro metros de comprimento por dois metros de largura, enquanto que o menor núcleo possui dois e meio metros de comprimento por um e meio metro de largura.

O mapa de amostragem e a secção geológica da Galeria do Venâncio estão representados na Figura 22.

#### 10.2.4. PEGMATITO DA PEDERNEIRA II

O Pegmatito da Pederneira II é um garimpo que está a cargo do Sr. Antônio Pereira de Figueiredo. A lavra desse garimpo é realizada através de galerias subterrâneas, construídas a partir da encosta íngreme. As galerias têm

sido desenvolvidas em dois níveis de altitude, denominados neste trabalho de nível inferior e nível superior (Figuras 23 e 24).

O pegmatito é de pequeno tamanho, com formato tabular, encaixado no quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé, sendo aproximadamente concordante com a xistosidade. O contato do pegmatito com o xisto é nítido e bastante irregular. A Foto 8 apresenta detalhe do contato em que ocorre, predominantemente, a massa de feldspato potássico com aspecto leitoso.

A rocha encaixante tem coloração cinza escura, granulação variando de milímetros até poucos centímetros. Por outro lado, dentro deste pegmatito existe exposições de xenólitos xistosos de vários tamanhos, chegando até alguns metros de comprimento.

As características estruturais e mineralógicas são bastante uniformes em quase toda a extensão do pegmatito exposto. O corpo do pegmatito apresenta uma estrutura de mineralogia simples, não ocorrendo corpos de substituição. Também, não se observa a zona marginal. A estrutura do pegmatito é composta basicamente por duas zonas: zona mural e núcleo.

**a) Zona Mural** - Apresenta-se bem desenvolvida, existindo uma predominância de feldspato potássico de cor branca, identificado como microclina pelas análises de espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Basicamente, a mineralogia é constituída por quartzo, moscovita, feldspato potássico (microclina), albita e turmalina negra. Algumas segregações de quartzo estão associadas à turmalina negra que ocorre em forma de pequenos cristais, disseminados na massa feldspática. O trabalho atual é realizado em regime de garimpagem, procurando especificamente o berilo industrial. A zona mural grada diretamente para o núcleo.

**b) Núcleo** - É formado essencialmente por quartzo hialino e leitoso e apresenta-se em formação descontínua. A Foto 9 mostra detalhe do contato deste núcleo com a zona mural.

### 10.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA

No capítulo 8 foram abordadas as diversas classificações de pegmatitos, refletindo as várias concepções e idéias de pesquisadores de diferentes escolas através de vários tempos. Os Pegmatitos da Pederneira foram enquadrados nestas oito classificações do seguinte modo:

**1 – Classificação baseada na estrutura interna:** o Pegmatito da Pederneira I caracteriza-se por apresentar uma estrutura heterogênea ou complexa, ao passo que, o Pegmatito da Pederneira II possui uma estrutura simples ou homogênea;



**2 – Classificação baseada na composição mineralógica global:**  
os pegmatitos estudados situam-se na classificação de pegmatitos ácidos;



Foto 8 – Detalhe do contato entre o corpo pegmatítico da Pederneira II e rocha encaixante (quartzo-biotita xisto).



Foto 9 – Contato do núcleo de quartzo com K-feldspato da zona mural do Pegmatito da Pederneira II.

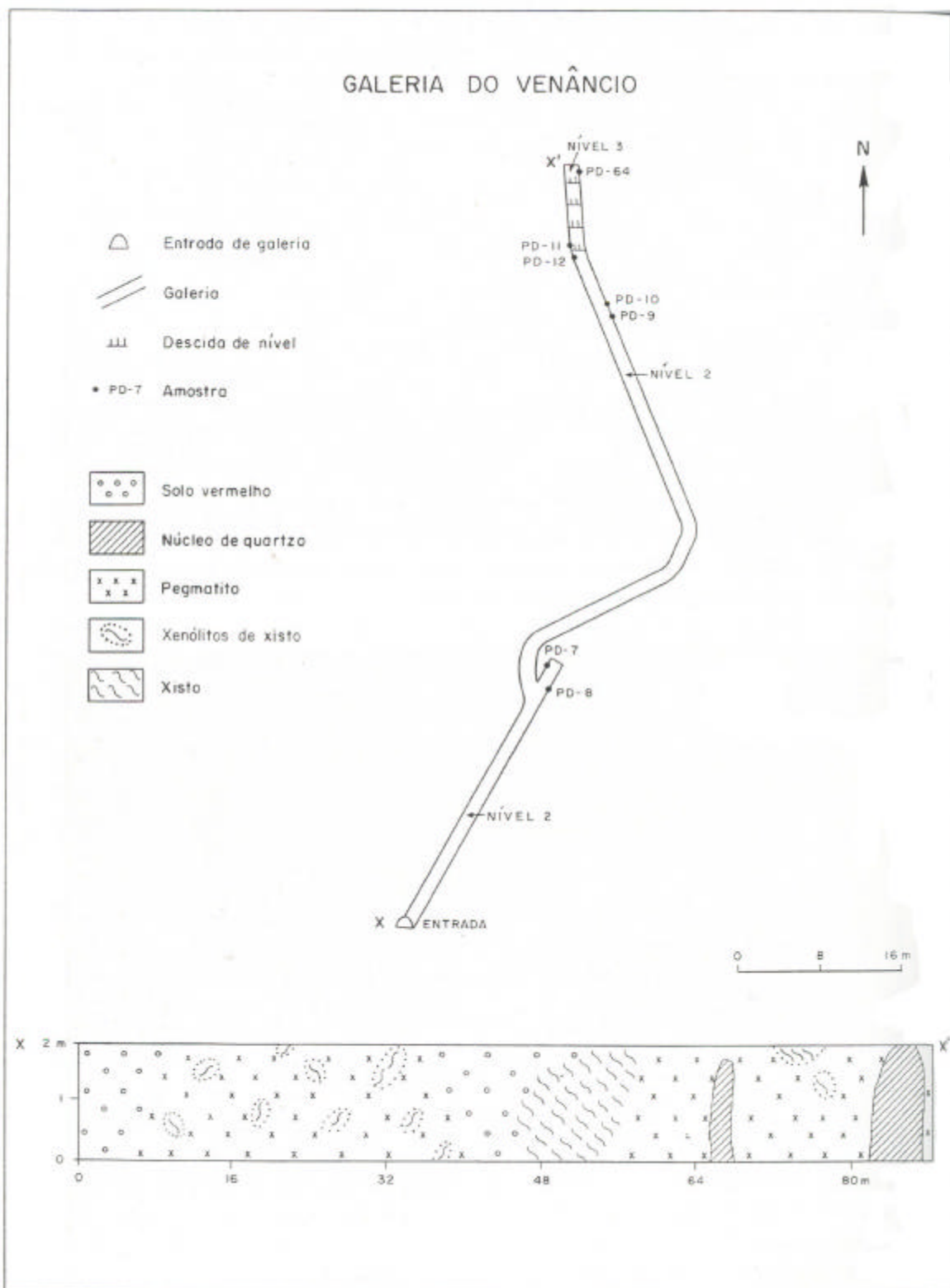


Figura 22 – Mapa de amostragem e perfil geológico da Galeria do Venâncio.



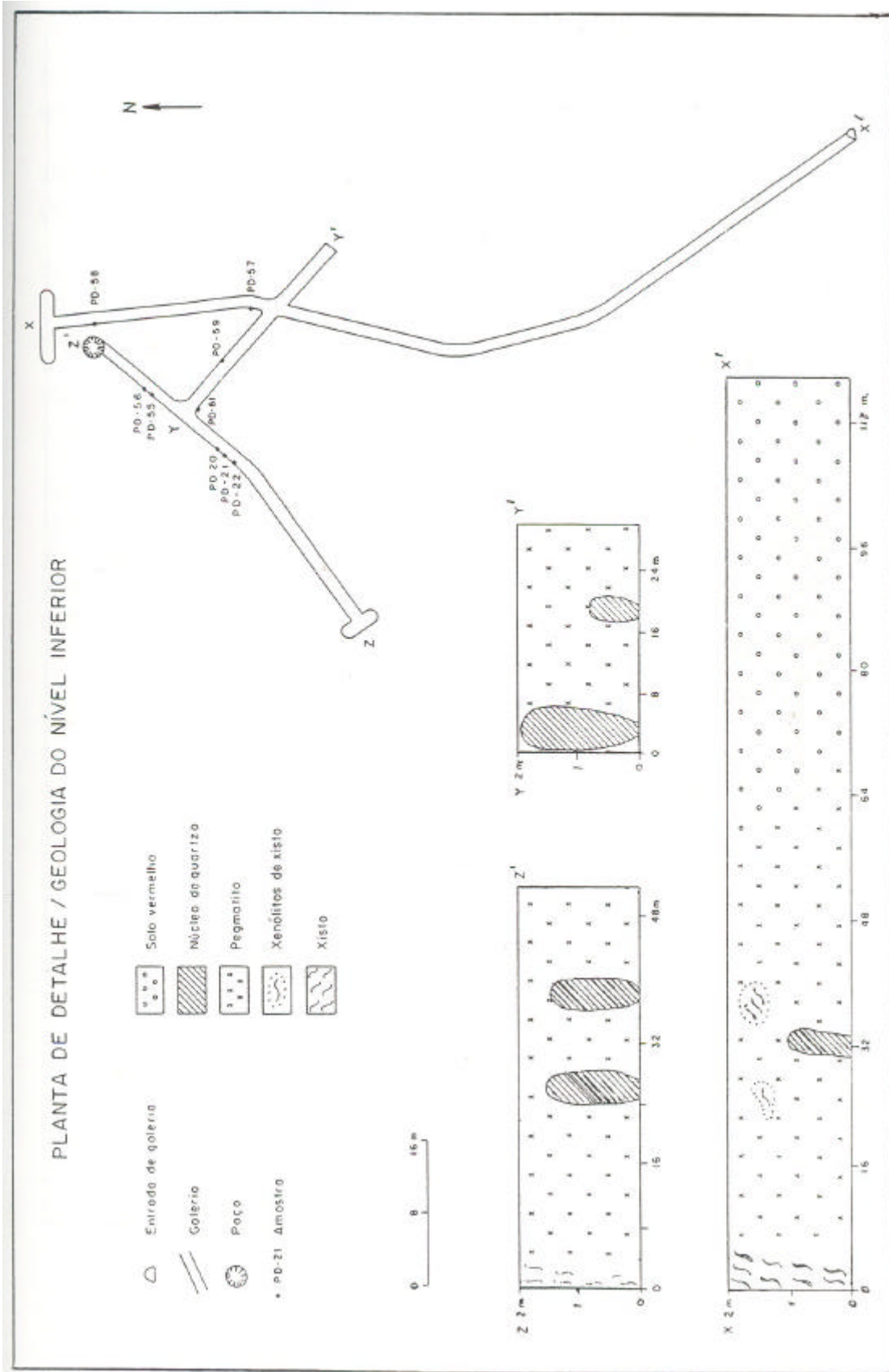
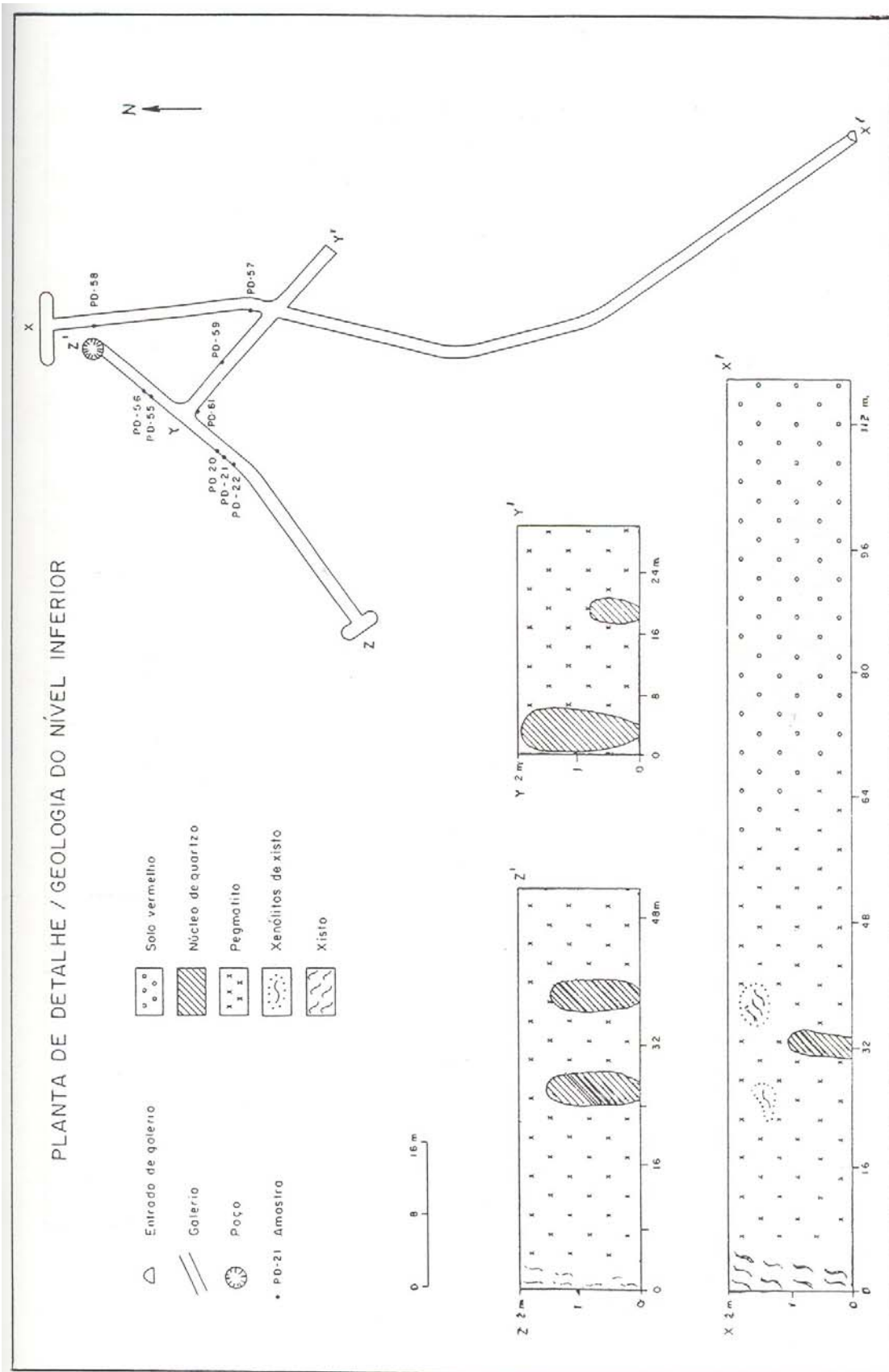


Figura 23 – Mapa de amostragem e perfil geológico do nível inferior do Pegmatito da Pederneira II.





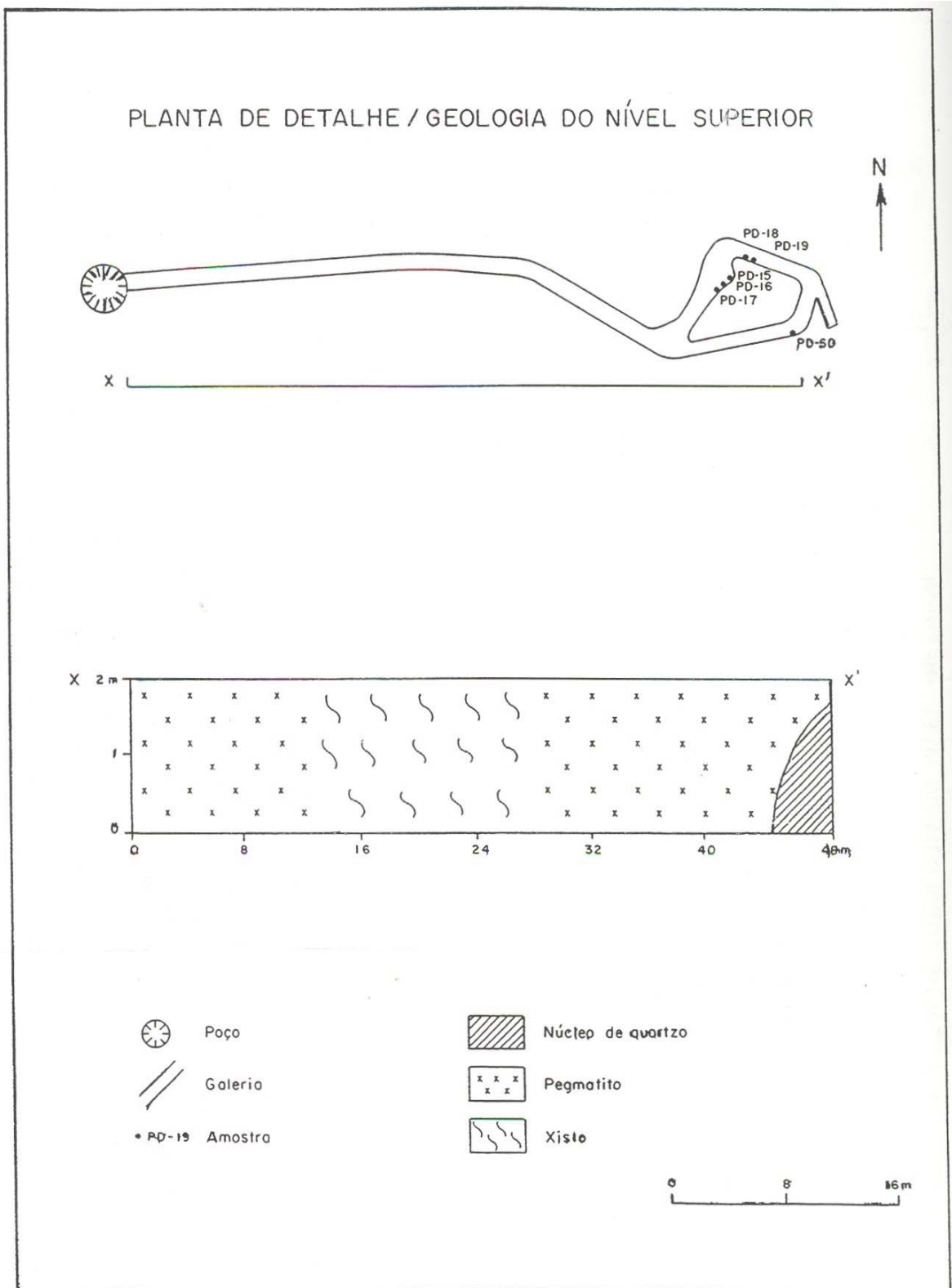


Figura 24 – Mapa de amostragem e perfil geológico do nível superior do Pegmatito da Pedreira II.

**3 – Classificação baseada na relação de distância com a rocha fonte:** os Pegmatitos da Pederneira encontram-se distantes da rocha fonte original, sendo classificados como pegmatitos exteriores;

**4 – Classificação baseada na petrogênese e geoquímica:** nesta classificação de Ginsburg, os pegmatitos em foco estão encaixados nos pegmatitos portadores de elementos raros;

**5 – Classificação baseada na profundidade da crosta:** os pegmatitos locais estão enquadrados na classificação de profundidade intermediária devido à paragénese dos minerais raros e o tipo de ambiente faciológico existente;

**6 – Classificação baseada na mineralogia e geoquímica:** Nesta classificação de Solodov, os Pegmatitos da Pederneira ajustam-se melhor nos pegmatitos de elementos raros, tipo microclina + albita;

**7 – Classificação baseada na petrogênese e geoquímica de Rudenko:** os pegmatitos estudados encaixam-se na classificação de metal raro. Na subdivisão desta classificação, o Pegmatito da Pederneira I enquadra-se no pegmatito portador de lítio, podendo ser tanto do tipo espodumênio ou lepidolita, ao passo que, o Pegmatito da Pederneira II corresponde ao pegmatito portador de berílio;

**8 – Classificação baseada em critério de elementos raros de Černý:** O Pegmatito da Pederneira I enquadra-se no tipo de pegmatito complexo e subtipo espodumênio ou lepidolita.

## Capítulo 11

# MINERALOGIA

---

**A** mineralogia básica dos Pegmatitos da Pederneira é constituída pelo feldspato, quartzo e moscovita, ocorrendo ainda quantidades apreciáveis de lepidolita, espodumênio e turmalina negra. A mineralogia acessória é formada pela granada e berilo prismático. Os corpos de substituição, localizados principalmente nas zonas mais internas, próximas ao núcleo, contêm minerais de cleavelandita verde-azulada, lepidolita e espodumênio. Nesta zona de substituição e mais particularmente nos geodos, encontram-se as turmalinas coradas, fosfato (apatita) e minerais mais raros, tais como, columbita-tantalita, morganita, ambligonita-montebrasita, quartzo hialino, micas ricas em lítio ou lepidolitas e cassiterita.

Os principais minerais encontrados nos Pegmatitos da Pederneira estão relacionados nas Tabelas 7 a 11 (anexo II). Nestas tabelas estão descritas as principais características macroscópicas das amostras, o nível da galeria em que as amostras foram coletadas e as correspondentes zonas do corpo pegmatítico. Os minerais destes pegmatitos foram submetidos às análises de difratometria de raios X e espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Algumas lâminas delgadas desses minerais foram feitas para estudos petrográficos.

### 11.1. FELDSPATOS

Os feldspatos são entre os minerais silicatados os mais abundantes da crosta terrestre, concentrando-se, essencialmente, de forma econômica nos pegmatitos. O grupo de minerais de feldspatos estão estreitamente relacionados pelas suas propriedades físicas, cristalizando-se nos sistemas monoclinicos e triclinicos.

A literatura sobre feldspatos é muito extensa e, neste trabalho, foi feita uma síntese sobre as características gerais de ordem química e estrutural.

#### 11.1.1. FELDSPATO POTÁSSICO

Os membros, cujas estruturas correspondem às temperaturas mais elevadas de cristalização, são monoclinicos, denominando-se de sanidinas. Já os feldspatos potássicos, monoclinicos e de baixas temperaturas são

denominados de ortoclásios. Entretanto, os feldspatos potássicos de mais baixa temperatura são as microclinas. Estas são triclinicas, mas as diferentes microclinas têm malhas cristalinas com triclinicidades diferentes, Deer et al. (1966).

Os minerais de microclina e sanidina são polimorfos com uma relação ordem-desordem, estando os átomos de silício e alumínio distribuídos ao acaso na sanidina, porém, ordenadamente na microclina. A triclinicidade da microclina varia entre 0 e 1, indicando o grau de ordem/desordem dos átomos tetraédricos (alumínio, silício) na estrutura dos feldspatos. Os feldspatos potássicos, que se cristalizam abaixo de 500°C, são triclinicos (microclinas), ao passo que, os polimorfos estáveis acima desta temperatura são monoclinicos (sanidinas e ortoclásios), Ernst (1971).

### 11.1.2. ALBITA

As albitas são normalmente triclinicas, mas, pode haver uma transição destes minerais para simetrias monoclinicas por um forte aquecimento.

O termo extremo puro em sódio é chamado de albita e, conforme o estado estrutural, denomina-se de albita de baixa temperatura ou albita de alta temperatura. A diferença principal, na estrutura, entre as albitas de baixa e de alta temperatura, está na distribuição dos átomos de alumínio entre as quatro posições tetraédricas não equivalentes, Deer et al. (op. cit.).

Segundo ainda este autor, as características de ordem-desordem das albitas de baixa e elevada temperatura são semelhantes às características dos feldspatos potássicos (microclina e sanidina de elevada temperatura). A albita e sanidina de elevada temperatura têm distribuições de (silício, alumínio) altamente desordenadas, enquanto que a albita de baixa temperatura e a microclina representam disposições com um grau considerável de ordem. Nos dois últimos casos, o alumínio está, principalmente, concentrado nas posições tetraédricas correspondentes.

### 11.1.3. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DOS FELDSPATOS

Os feldspatos podem ser considerados como um sistema de três componentes:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  (sanidina, ortoclásio e microclina),  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (albita) e  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (anortita). A série isomórfica dos plagioclásios é compreendida entre albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) e a série dos feldspatos alcalinos é abrangida pelos termos que ficam entre  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  e  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ .

Nos feldspatos alcalinos, encontram-se os elementos maiores (sódio e potássio), em suas estruturas cristalinas, originando-se os feldspatos potássicos representados pela sanidina, ortoclásio e microclina e os feldspatos sódicos que são formados pelas albitas, Ernst (op. cit.). A separação entre a fase potássica e a fase sódico-cálcica (plagioclásio) condiciona o aparecimento das pertitas e antipertitas. Nas pertitas, o plagioclásio ocorre dentro do ortoclásio e/ou microclina; nas antipertitas, esta relação é inversa.

Os feldspatos são aluminossilicatos em que as estruturas são compostas por tetraedros de  $AlO_4$  e  $SiO_4$ , ligados num arranjo atômico e polimerizados tridimensionalmente, Ribbe (1975).

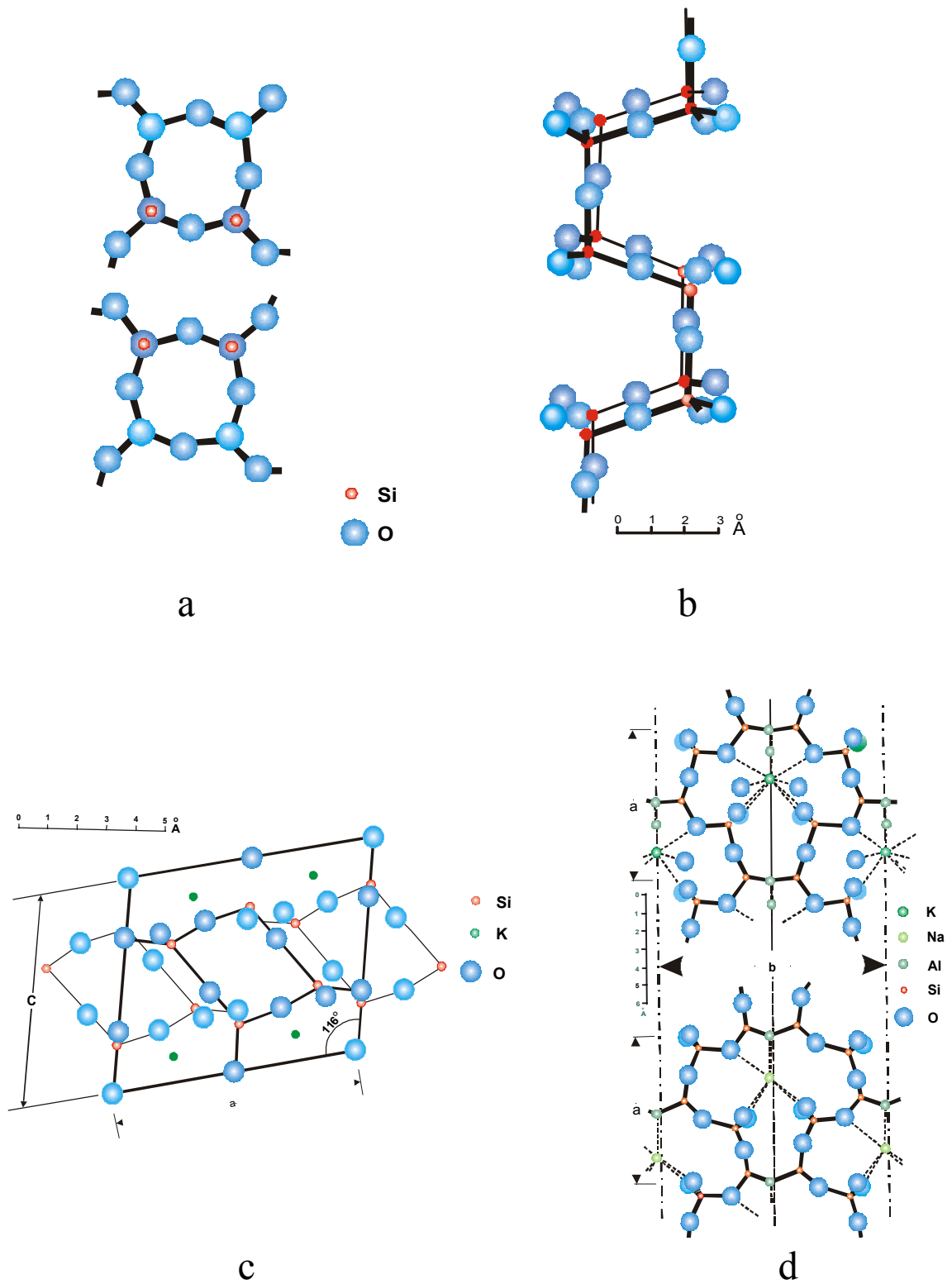
A fórmula geral deste tectossilicato pode ser escrita por  $M[T_4O_8]$ . O complexo  $[T_4O_8]^{<sup>0</sup>}$  representa a unidade aniônica de repetição, dado que o silício e alumínio são os elementos mais importantes na crosta terrestre, depois do oxigênio. Portanto, na fórmula  $MT_4O_8$  do feldspato, o M está representado pelo sódio, potássio, cálcio e bário e o T pelo silício e alumínio. A substituição do silício pelo alumínio tende a ser equilibrada pela proporção dos cátions univalentes e bivalentes. A rede de aluminossilicatos é constituída por tetraedros ligados pelos vértices por átomos de oxigênio. Cada oxigênio ocupa o vértice de dois tetraedros adjacentes, enquanto que no centro de cada tetraedro é ocupado por um átomo de silício ou de alumínio, sendo denominado por (T), Smith (1974).

Taylor (1933) determinou a estrutura da sanidina e que a partir da qual se pode compreender a estrutura dos outros feldspatos. Na sanidina, os átomos de alumínio podem estar distribuídos ao acaso, localizando-se nas quatro posições tetraédricas  $T_{1m}$ ,  $T_{1o}$ ,  $T_{2m}$ ,  $T_{2o}$ . Este feldspato cristaliza-se no sistema monoclinico e a sua estrutura mostra-se desordenada em relação à razão Si:Al.

Taylor idealizou o diagrama de cadeias contínuas de anéis paralelos ao eixo a. Os quatro tetraedros de feldspato unem-se para formar um anel ao longo do eixo a (Figura 25a). Por sua vez, este anel entrelaça-se com outros anéis para constituir uma cadeia (Figura 25b). Esta figura mostra um desenho em perspectiva, observada perpendicularmente ao eixo a. A projeção de uma parte da estrutura arquetípica do feldspato (projeção sobre 010) está ilustrada na Figura 25c, segundo Ribbe (op. cit.).

Na Figura 25d, mostra a relação entre as estruturas de K-feldspato (figura acima) e da albita (figura abaixo), representadas pela projeção sobre (001). O padrão estrutural da albita (triclinico) é semelhante aquele do K-feldspato, mas o arcabouço é um pouco distorcido devido a um leve colapso das cadeias ao redor dos íons menores de sódio, dando origem a triclinicidade, Deer et al. (1966).

A orientação dos anéis na estrutura é que um anel fica na posição horizontal e o seguinte na posição vertical e assim sucessivamente, formando



**FIGURA 25 – Estruturas dos feldspatos:**  
a) anéis da cadeia dos feldspatos, perpendicular ao eixo a;  
b) Dupla cadeia de feldspato, Taylor (1933);  
c) Projeção da estrutura do K-feldspato, Ribbe (1994);



um conjunto paralelo ao eixo cristalográfico a. O  $\text{AlO}_4$  desse anel forma, no arcabouço, uma carga residual negativa de pelo menos uma unidade, possibilitando a entrada dos cátions na estrutura do feldspato. Estas cadeias,

por sua vez, unem-se entre si por meio dos oxigênios, ficando os cátions localizados nos interstícios, porém, em posições mais ou menos fixas.

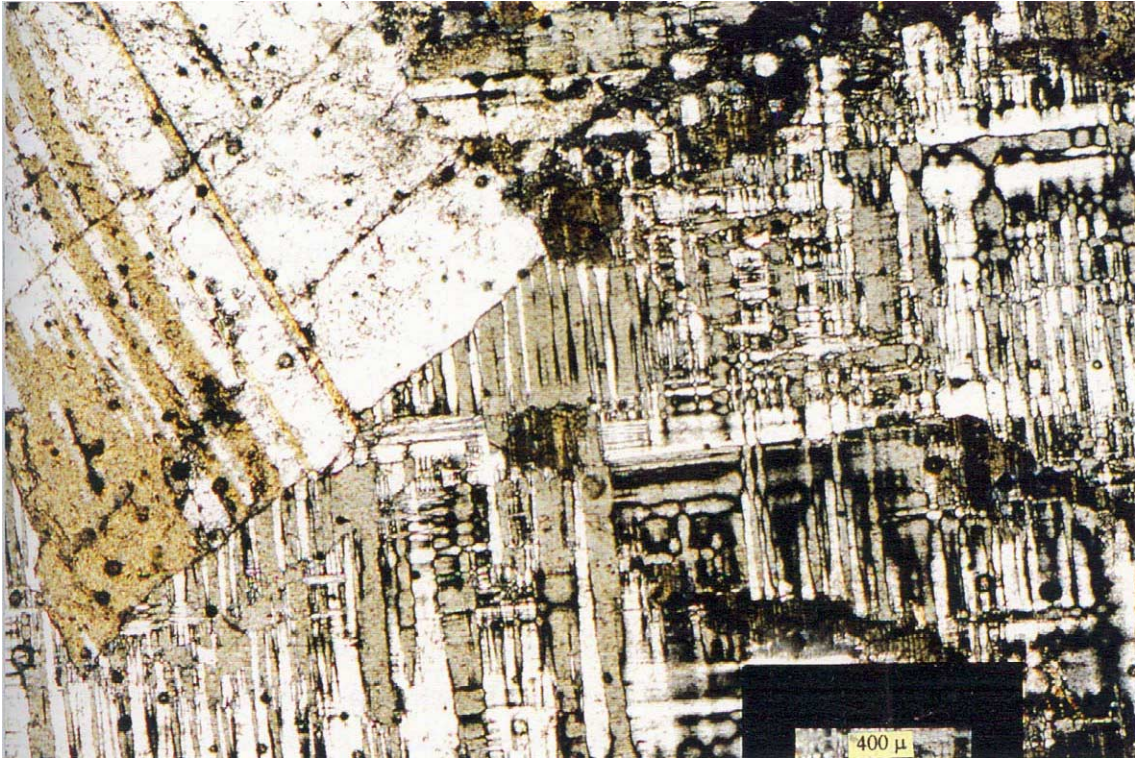
As cavidades intersticiais, formadas entre o entrelaçamento das cadeias de Si-Al-O, são ocupadas, na estrutura do feldspato, pelos cátions K, Na e Ca cujos raios iônicos são 1,33, 0,97 e 0,99 Å, respectivamente, tabela segundo Ahrens (1952). O tamanho grande do íon do potássio expande a armação, especialmente, na direção c. O bário é outro íon de tamanho grande, raio de 1,43 Å, e que produz o mesmo efeito, Barth (1969).

#### 11.1.4. OCORRÊNCIA DE FELDSPATOS NA PEDERNEIRA

Os feldspatos são os constituintes mineralógicos mais abundantes dos Pegmatitos da Pederneira e estão distribuídos, em quase toda a parte, nestes corpos, ocorrendo em forma de grandes massas, que são facilmente reconhecidos. Os feldspatos são constituídos pela microclina e albita, encontrando-se associados ao quartzo, moscovita, lepidolita e minerais da série elbaíta-schorlita de cor negra.

A microclina apresenta-se em forma maciça, de cor branca e às vezes creme, hábito tabular e brilho vítreo. Geralmente, são observadas duas clivagens quando os minerais estão bem cristalizados e isentos de intemperismo, mostrando as fraturas irregulares. Por outro lado, existem amostras de feldspato com evidências de intemperismo, resultando em caulim como produto de alteração. A microclina contém intercalações de albita, formando as pertitas. As análises microscópicas das microclinas mostram um entrecruzamento de finíssimas lâminas unidas, segundo o sistema de dupla macla albita-periclina, formando uma estrutura reticulada característica (Fotomicrografia 3). Segundo Deer et al. (op. cit.), as geminações de periclina e albita num cristal de microclina são tidas como uma prova de que esta primeiro cristalizou-se com simetria monoclinica e tornou-se, subseqüentemente, triclínica. Na zona mural dos Pegmatitos da Pederneira, observa-se, em locais restritos, a textura gráfica ocasionada pelo intercrescimento da microclina com o quartzo.

O único plagioclásio ocorrente é a albita, que se apresenta com aspecto maciço, brilho vítreo, coloração branca e verde-azulada. Geralmente, apresenta-se com aspecto lamelar, sendo denominada de cleavelandita (Foto 10). Esta albita ocorre, preferencialmente, na zona intermediária e nos corpos de substituição, estando associada à microclina, espodumênio, lepidolita e



Fotomicrografia 3 – Detalhe do cristal de microclina com a macla em xadrez característica, apresentando-se associada à albita com gemação polissintética. Amostra PD-17. Nicóis cruzados.



Foto 10 – Amostra de cleavelandita associada ao quartzo e turmalina. Observa-se mancha maréla ferruginosa, (Pegmatito da Pederneira I).

quartzo. Em lâminas delgadas, observa-se o intercrescimento de feldspatos potássicos e albitas, formando as micropertitas.

As características das amostras de feldspatos dos Pegmatitos da Pederneira, as suas respectivas localizações nas galerias e zonas de ocorrência estão descritas na Tabela 7 (anexo II). Os feldspatos da Pederneira foram extraídos, por muito tempo, como peças de coleção, principalmente, a albita verde-azulada que combinada com outros minerais como a lepidolita, ambligonita-montebrasita, quartzo hialino e quartzo leitoso formavam um conjunto harmonioso.

### 11.1.5. DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO

Vinte seis amostras de feldspato dos Pegmatitos da Pederneira foram analisadas pelo método de difração de raios X, usando a radiação  $K\alpha$  do Co. Os resultados obtidos foram submetidos aos cálculos de índices de Bravais-Miller, utilizando-se do programa de computador Miller2. Assim, obteve-se os parâmetros unitários da malha do mineral.

As amostras foram preparadas sem introdução do padrão interno. Como as amostras da microclina estão pertitzadas, os valores não apresentam precisão devido à interferência das reflexões de um mineral sobre outro.

As reflexões dos difratogramas da microclina foram comparadas ao padrão JCPDS de número 19.932 (Microclina Intermediária) que apresentaram os seguintes parâmetros da malha padrão da microclina:  $a_0 = 8,560 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 12,970 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 7,210 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 90^\circ 30'$ ,  $\beta = 116^\circ 05'$ ,  $\gamma = 89^\circ 00'$ . As amostras identificadas como microclinas pela difração de raios X estão representadas pelas amostras PD-1, PD-6, PD-12, PD-29, PD-34, PD-36, PD-38, PD-41, PD-43, PD-44 e PD-69. Os resultados são aceitáveis, apesar das diferenças encontradas nos parâmetros da malha. Os dados estão relacionados na Tabela 12 (anexo III).

As reflexões dos difratogramas de albita foram comparadas ao padrão JCPDS de número 19.1184, apresentando os seguintes valores:  $a_0 = 8,138 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 12,790 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 7,161 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 94^\circ 27'$ ,  $\beta = 116^\circ 61'$ ,  $\gamma = 87^\circ 69'$ . Nos difratogramas, foram identificadas como albitas as amostras PD-2, PD-8, PD-15, PD-51 e PD-66. Estas amostras, ilustradas na Tabela 13 (anexo III), também, mostraram diferenças entre os seus valores, apesar dos resultados serem satisfatórios. Provavelmente, a variação da composição química pode ter modificado o tamanho da malha unitária.

A difração de raios X permitiu auxiliar na identificação da microclina e albita da Pederneira, além de calcular os parâmetros da cela unitária. Possivelmente, algumas dessas variações podem ter sido causadas por



misturas naturais provenientes de minerais micropertitizados, por minerais secundários oriundos do processo de intemperização ou mesmo pelo grau de triclinicidade dos feldspatos de diferentes zonas dos pegmatitos.

Algumas das amostras de microclina e de albita apresentaram valores incompatíveis com seus respectivos padrões. É possível que muitas dessas amostras estejam sofrendo processos de intemperização, tendo sido os resultados influenciados pela caulinita e outros minerais secundários.

As amostras de feldspato foram analisadas pela espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. O espectro resultante corresponde à absorção de energia da radiação infravermelha incidente sobre uma amostra. Este método identifica, prontamente, a espécie de feldspato pela configuração da estrutura silicática expressa no diagrama e revela, ainda, a existência de fases fluidas.

Nos gráficos de infravermelho, a estrutura silicática de todos os feldspatos da Pederneira foi registrada em duas regiões de absorção. A primeira corresponde às vibrações de estiramento (*stretching*) que ocorrem entre 950 e 1.200  $\text{cm}^{-1}$  e caracterizam tanto as ligações Si-O-Si como as ligações Si-O-Al. A segunda região está compreendida entre 400 a 550  $\text{cm}^{-1}$  e são vibrações de deformação (*bending*) das ligações O-Si-O. Os silicatos com arranjo tridimensional apresentam bandas de absorção, compreendidas entre 550 a 850  $\text{cm}^{-1}$ , que são conseqüências da sua estrutura polimerizada.

De acordo com as análises dos diagramas (Gráficos 1 e 2), o espectro de absorção revela duas regiões que se caracterizam pelas vibrações moleculares d'água. A primeira refere-se às bandas de estiramento O-H, que correspondem às vibrações entre 3.400 a 3.470  $\text{cm}^{-1}$  e 3.520 a 3.600  $\text{cm}^{-1}$ , indicando que a água foi absorvida na estrutura molecular do mineral. A segunda refere-se à banda de deformação, situada na região compreendida entre 1.610 a 1.640  $\text{cm}^{-1}$ . No gráfico 1, o espectro de absorção da microclina (PD-12) mostra-se melhor caracterizado do que o espectro da albita (PD-48). Estas diferenças são decorrentes de influências dos minerais micropertitizados ou minerais secundários ou ainda pelo grau de triclinicidade dos feldspatos. Os minerais alterados de feldspatos são confirmados nas lâminas delgadas.

Na região entre 400 a 1.000  $\text{cm}^{-1}$  do espectro do infravermelho, as ligações da estrutura silicática dos feldspatos são bem caracterizadas. As bandas de frequência entre 700 a 800  $\text{cm}^{-1}$  apresentam diferenças nítidas que permitem identificar, prontamente, a microclina e albita. O espectro de infravermelho da microclina caracteriza-se, nesta faixa, por apresentar dois picos de vibração molecular, enquanto que a albita, quatro picos (Gráfico 3a).

O gráfico 3b permite identificar o feldspato como do tipo microclina, caracterizando-se pela formação de dois picos de absorção, localizados na banda entre 700 a 800  $\text{cm}^{-1}$ . A microclina (PD-36), que provém da zona mural, apresenta-se melhor caracterizada do que a microclina (PD-63) do

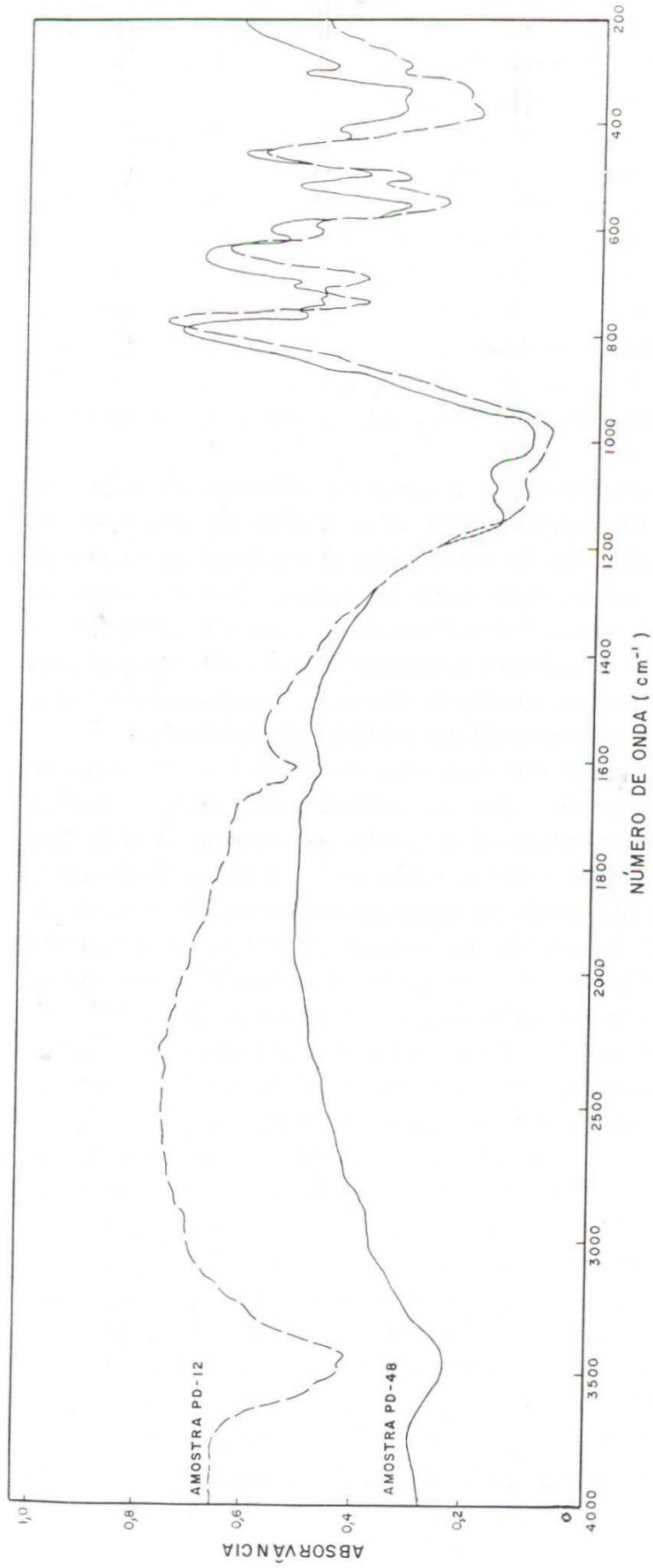


Gráfico 1 – Diagrama de infravermelho da microclina (PD-12) e albita (PD-48).

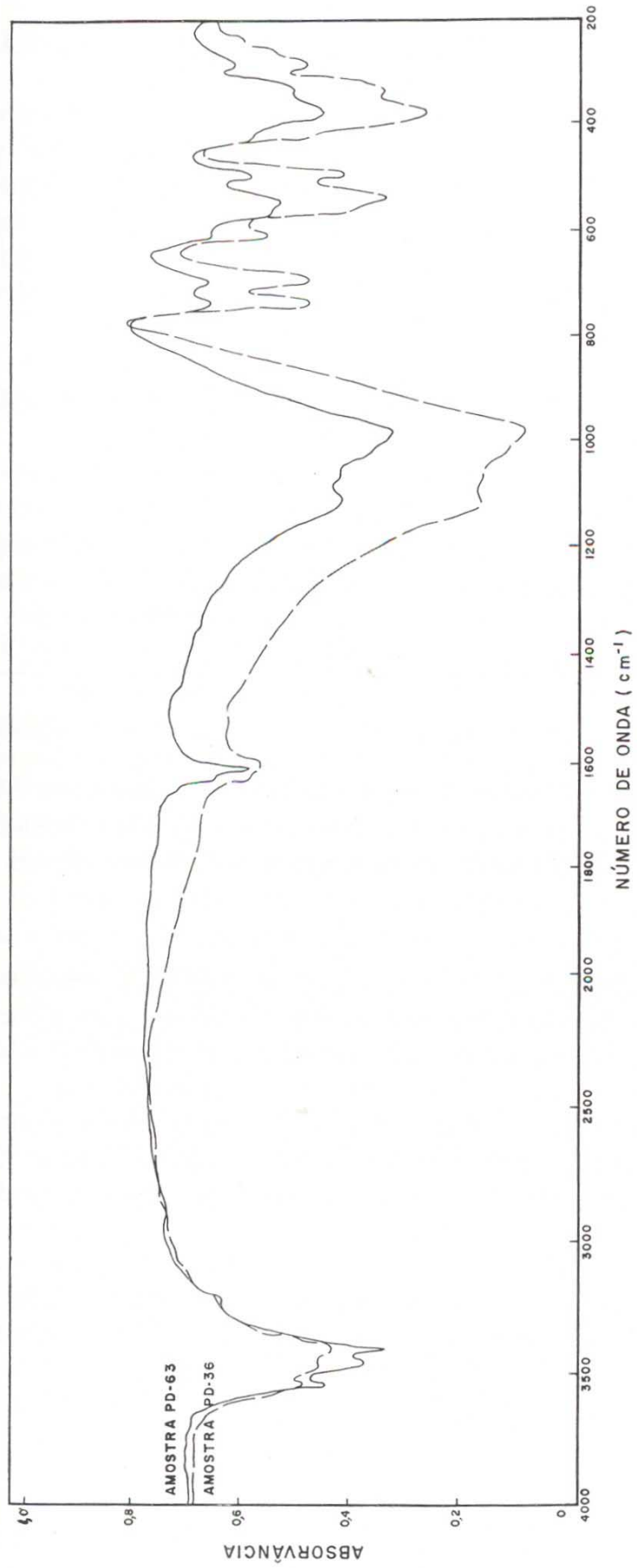


Gráfico 2 – Diagrama de infravermelho da microclina (PD-36 e PD-63).

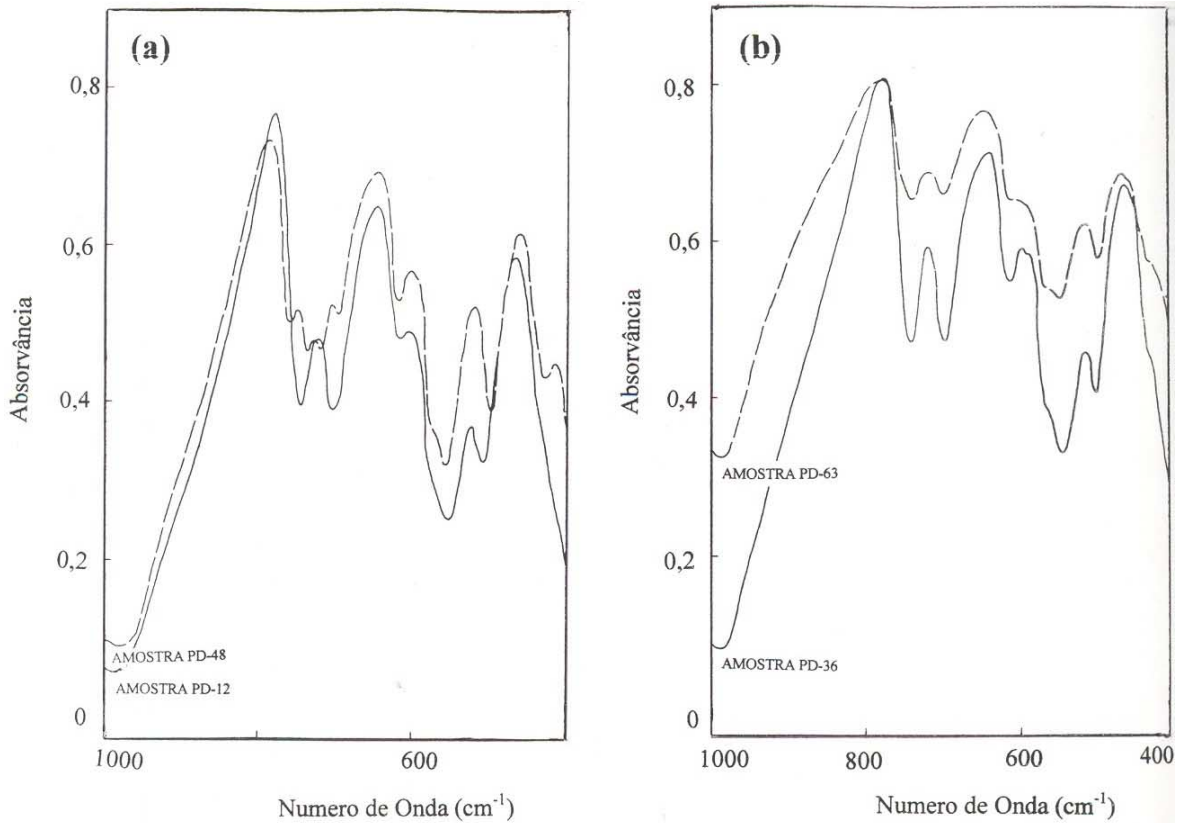


Gráfico 3 – Detalhes da região do infravermelho entre 400 a 1000  $\text{cm}^{-1}$ :  
 (a) diagrama da microclina (PD-12) e albita (PD-48);  
 (b) diagrama da microclina (PD-36 e PD-63).

corpo de substituição. Provavelmente, os diferentes ambientes podem ter influenciado as microclinas, provocando alterações na composição química e no grau de ordenamento. Cabe ressaltar que o gráfico mostra pequenas diferenças na estrutura silicática entre estas duas microclinas.

A amostra PD-63 apresenta um encurtamento dos picos de absorção, indicando uma alteração na estrutura do mineral que, segundo Correia Neves (1962), Lopes Nunes (1973) e Marciano (1985), está relacionada com o grau de ordem-desordem das amostras.

Os resultados obtidos no infravermelho estão expressos nas Tabelas 18 (anexo IV, dados de microclina) e Tabela 19 (anexo IV, dados de albita). Os dados espectrais foram comparados aos do padrão 6.129 da microclina e 6.124 da albita, segundo Moenke (1966).



## 11.2. GRUPO DAS MICAS

Os minerais de micas constituem-se numa série complexa de alumínio-silicatos hidratados com cátions diversos, formando misturas isomorfas. Particularmente, existe uma série contínua entre as micas trioctaédricas do tipo lepidolita e as micas dioctaédricas do tipo moscovita pela substituição de lítio e alumínio no sítio octaédrico. As micas têm a particularidade de apresentar substituição de potássio por rubídio ou céσιο nas intercamladas.

### 11.2.1. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS MICAS

A composição química dos minerais do grupo das micas é consideravelmente variável, sendo freqüentes os fenômenos de substituição de uns cátions por outros.

De acordo com Deer et al. (op. cit.), a fórmula geral da composição química das micas é expressa por  $X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$ , em que:

X = K, Na, Ca, Ba, Rb e Cs (cátions intercamladas);

Y = Al,  $Fe^{3+}$ , Mg,  $Fe^{2+}$ , Mn, Cr, Ti e Li (cátions em coordenação octaédrica);

Z = Si ou Al e provavelmente  $Fe^{3+}$  e Ti (cátions em coordenação tetraédrica).

As micas podem ser classificadas em dioctaédricas e trioctaédricas, nas quais o número de íons Y é, respectivamente, 4 e 6. A posição X é classificada conforme os principais constituintes. Uma das características químicas, que é comum a maior parte das micas, é o teor de água; as análises apresentam, aproximadamente, quatro a cinco por cento de água, exceto para as que têm um teor elevado de flúor. Na Tabela 24, está ilustrado o relacionamento entre os diferentes cátions com a sua respectiva camada.

Tabela 24 – Substituições isomórficas nas micas, segundo Foster (1960), Deer et al. (1963) & Lopes Nunes (1973) in Marciano (1985).

CAMADAS		CÁTIONS
Tetraédricas		$Si^{4+}$ , $Al^{3+}$ , $Be^{2+}$ , $P^{5+}$ , $Fe^{3+}$ , $Ti^{4+}$ e $B^{3+}$ .
Octaédricas	Dioctaédricos	$Al^{3+}$ , $Ti^{4+}$ , $Fe^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Mn^{2+}$ , $Li^+$ , $Cr^{3+}$ e $V^{3+}$ .
	Trioctaédricos	$Mg^{2+}$ , $Al^{3+}$ , $Fe^{3+}$ , $Fe^{2+}$ , $Mn^{2+}$ e $Li^+$ .
Intercamlada (coordenada 12)		$K^+$ , $Na^+$ , $Ca^{2+}$ , $Ba^{2+}$ , $Rb^+$ , $Cs^+$ e $H_2O^+$ .

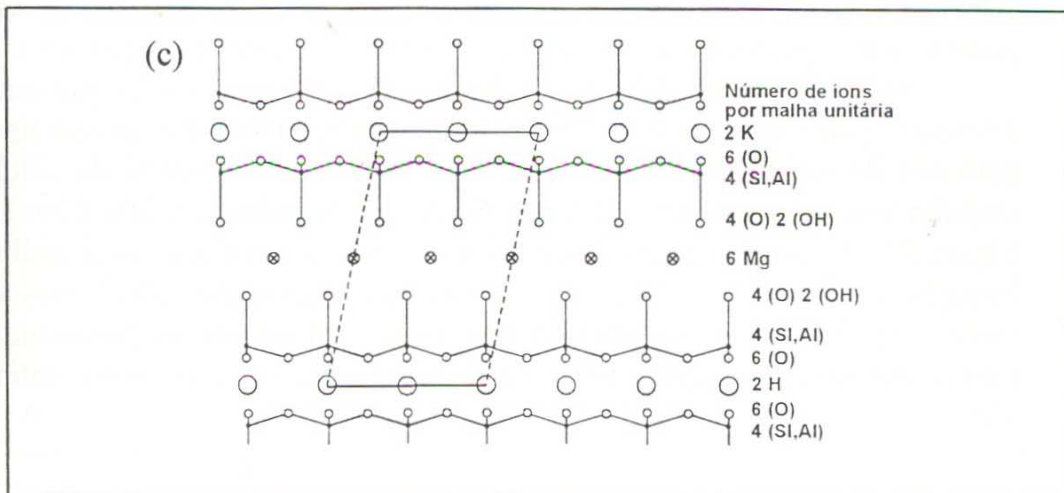
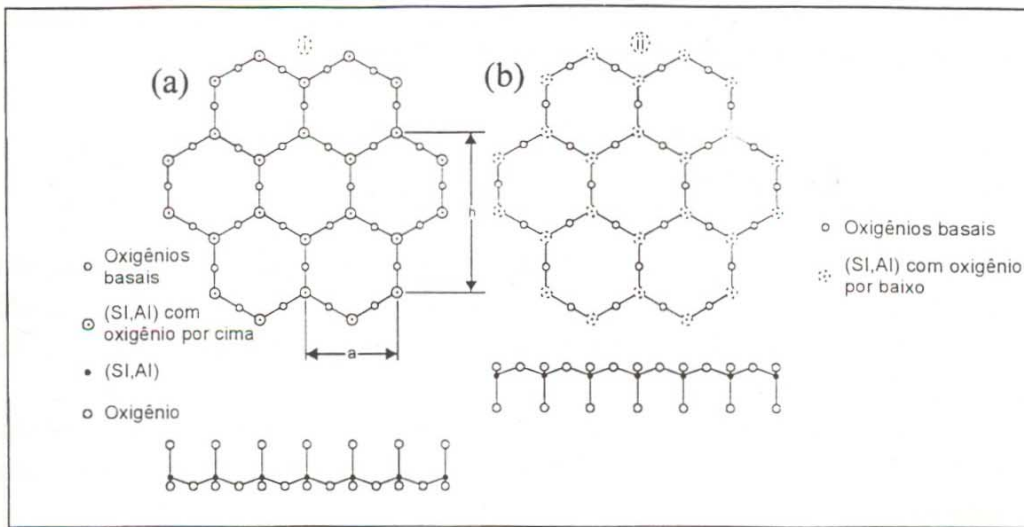
As micas dioctaédricas e trioctaédricas podem, comumente, estar compondo uma série de soluções sólidas, se vários mecanismos de substituição forem ativados simultaneamente. As cargas das camadas da mica surgem pela combinação de quatro mecanismos primários: (1) substituição de  $R^{3+}$  (geralmente Al ou  $Fe^{3+}$ ) ou  $R^{2+}$  (Be) para  $Si^{4+}$  em posições tetraédricas; (2) substituição de  $R^{1+}$  ou  $R^{2+}$  por  $R^{2+}$  ou  $R^{3+}$  em posições octaédricas; (3) sítios vazios em posições octaédricas; (4) desidroxilação de OH. As substituições por íons de carga e raio iônico diferentes causam deformações nas espessuras das camadas octaédricas e tetraédricas, Bailey (1984).

Segundo ainda este autor, a maioria das micas contém alumínio em  $\frac{1}{4}$  das posições tetraédricas e a fórmula da camada do silicato em folha é  $(Si_3AlO_{10})^{-5}$ . A deficiência de carga resultante nas camadas de tetraedros é contrabalançada pela presença de grandes cátions monovalentes, situados entre as camadas. A unidade estrutural básica da mica é descrita como um sanduíche, constituída por duas folhas opostas de tetraedros, separadas uma da outra por uma camada central de cátions de coordenação octaédrica.

A característica fundamental da estrutura das micas é uma lâmina complexa, na qual uma camada de cátions, em coordenação octaédrica, está apertada entre dois estratos idênticos de tetraedros unidos de  $(Si,Al)O_4$ . Nas Figuras 26 (a) e (b), estão representadas duas destas lâminas tetraédricas de composição  $(Si,Al)_2O_5$ . À esquerda está uma lâmina, na qual todos os tetraedros apontam para cima, como se pode ver pela vista de perfil, representada na parte de baixo e à direita está uma lâmina de tetraedros que apontam para baixo, Deer et al. (op. cit.).

A unidade fundamental pode ser descrita como um sanduíche formado por duas folhas opostas de tetraedros, com simetria hexagonal, separadas uma da outra por uma camada central de cátions de coordenação octaédrica. Os oxigênios de cada folha de tetraedro, não dispostos em ponte, estão localizados e dirigidos para o meio do sanduíche, onde são compartilhados pelos cátions marginais tetraédricos. Os espaços hexagonais nesta camada de oxigênios, não dispostos em ponte, são ocupados por íons de hidroxila, ligados aos cátions de coordenação seis. Este diagrama mostra as relações estruturais na Figura 26 (c). Por causa do deslocamento lateral de uma das folhas de tetraedro em relação a seu correspondente oposto, a estrutura completa não tem a simetria hexagonal, Deer et al. (op. cit.).

Na moscovita podem entrar quantidades até cerca de 3,3 por cento de  $Li_2O$ , sem modificar de modo essencial a estrutura, e esses materiais podem ser designados por moscovitas litiníferas. As lepidolitas têm, frequentemente, uma quantidade considerável de flúor que substitui a oxidrila. A substituição de quantidades apreciáveis de  $Fe^{2+}$ , nas posições octaédricas, dá lugar a uma composição na zona da zinnwaldita, a qual pode ser considerada como uma lepidolita de ferro ou como uma biotita litinífera. Nos pegmatitos, a lepidolita



**Figuras 26 – Estruturas das micas.**

**(a) Plano da camada tetraédrica  $(Si,Al)_4O_{10}$  com os tetraedros apontando para cima e vista de perfil do estrato segundo o eixo y;**

**(b) Vista em plano e de perfil das camadas tetraédricas com os tetraedros apontando para baixo;**

**(c) Vista das Figuras 25 (a) e (b) sobrepostas e unidas por um plano de cátions em coordenação octaédrica. Os estratos complexos estão representados pela união de íons de potássio e está delimitada a malha unitária mais simples. A representação está feita segundo o eixo y.**

derivou, principalmente, da substituição metassomática da biotita ou moscovita, esta com maior frequência, Deer et al. (op. cit.).

### 11.2.2. POLITIPOS

O polimorfismo é a condição de uma substância de se apresentar em mais de uma forma estrutural. Os diferentes polimorfos da mesma substância formam-se sob condições diferentes de temperatura, pressão e ambiente químico, Mason (op. cit.).

Segundo Hawthorne & Černý (1982a), os politipos das micas são gerados pelas diferentes seqüências de empacotamento das suas camadas compostas.

O polimorfismo da mica é devido à sobreposição de hexágonos. Assim, um hexágono pode relacionar-se com o seguinte por rotação de  $0^\circ$  ou por múltiplo de  $60^\circ$ , combinado com a torção de  $a/3$  ( $1,7 \text{ \AA}$ ), determinada pela camada Y (octaédrica), gerando uma simetria monoclínica. Os hexágonos podem estar sobrepostos de seis maneiras diferentes, Deer et al. (op. cit.).

Smith & Yoder (1956) estudaram os vários picos que determinam os diferentes polimorfos da mica. Na Tabela 25, estão indicados os seis tipos de politipos da mica com os seus respectivos dados de unidade da célula. O empilhamento das camadas de mica, de um modo ordenado, está ilustrado na Figura 27. A caracterização desses polimorfos é determinada pela análise da difração de raios X. As micas típicas dos pegmatitos são moscovita, moscovita litinífera e lepidolita. A moscovita está totalmente preenchida por íons de potássio e o empilhamento das camadas sucessivas origina o polimorfo  $2M_1$ .

Tabela 25 - Politipos das micas, Smith & Yoder (1956).

POLITIPOS	a (Å)	b (Å)	c (Å)	$\beta$	GRUPO ESPACIAL
1M	5,3	9,2	10	$100^\circ$	C2/m ou Cm
$2M_1$	5,3	9,2	20	$95^\circ$	C2/c
$2M_2$	9,2	5,3	20	$98^\circ$	C2/c
2O	5,3	9,2	20	$90^\circ$	Ccm2
3T	5,3	-	30	-	$P3_112$ ou $P3_212$
6H	5,3	-	60	-	$P6_122$ ou $P6_522$

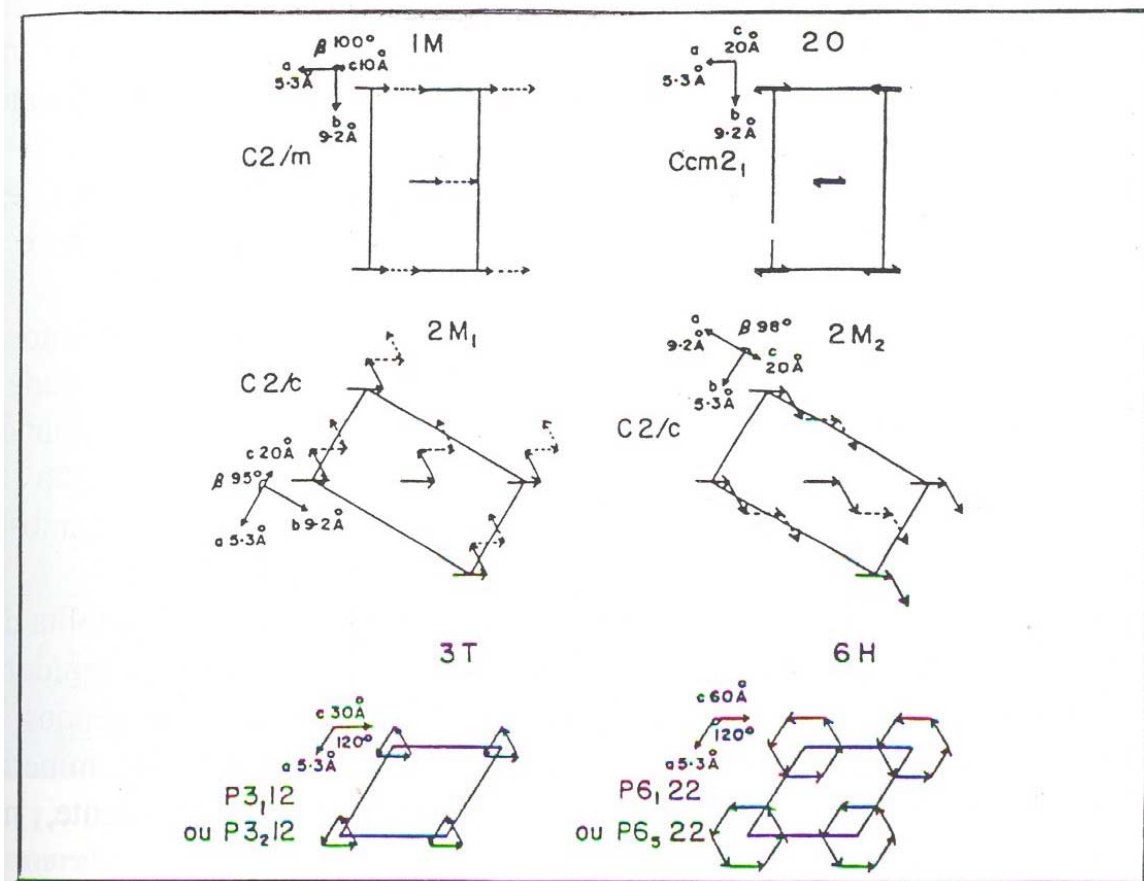


Figura 27 – Os polimorfos das micas. As setas são os vetores de empilhamento interestratos. Os vetores cheios representam o empilhamento das camadas numa malha unitária e os vetores tracejados indicam as posições das camadas nas malhas unitárias. A base da célula unitária está indicada por linhas delgadas e os parâmetros da malha estão indicados ao lado de diagrama.

### 11.2.3. OCORRÊNCIA DE MICAS NA PEDERNEIRA

As micas são minerais básicos na constituição dos Pegmatitos da Pederneira. Apresentam características de minerais primários, assim como, também, são provenientes de minerais de substituição. As micas da Pederneira são constituídas, essencialmente, pela moscovita e lepidolita. A moscovita apresenta diversas variedades de cor, exibindo cor clara, incolor, esverdeada, marrom, escura e rósea. A lepidolita mostra tonalidade lilás.

A moscovita de tonalidade marrom apresenta-se bem desenvolvida, formando placas com dimensão de 30 cm x 10 cm de secção basal (Foto 11). As micas de tonalidade clara, esbranquiçada e esverdeada são menores em relação às micas escuras e exibem, comumente, o formato de livro. Estas apresentam clivagens quebradiças devido à penetração de minerais secundários como o caulim em suas lamelas. As micas estão distribuídas de

forma disseminada na massa feldspática, principalmente, na zona mural e zona intermediária do Pegmatito da Pederneira I, Pegmatito da Galeria do Venâncio e zona mural do Pegmatito da Pederneira II.

A moscovita rósea, identificada pela análise de infravermelho, está substituindo o centro da turmalina verde-rosa, que se encontra nos corpos de substituição do Pegmatito da Pederneira I.

A mica lilás ocorre em locais restritos no corpo do Pegmatito da Pederneira I, associada aos minerais de quartzo, albita verde-azulada e espodumênio. Está localizada na parte mais interna deste pegmatito, situando-se, especificamente, nos corpos de substituição. Este mineral não foi encontrado nos Pegmatitos da Galeria do Venâncio e Pederneira II. Na amostra PD-46 ocorre associação da mica lilás com albita (Fotomicrografia 4).

As principais características das amostras de moscovita e lepidolita dos Pegmatitos da Pederneira estão descritas na Tabela 8 (anexo II). A lepidolita pode representar um mineral guia importante na localização de geodos na Pederneira. Conseqüentemente, isto levaria à descoberta de minerais gemológicos, uma vez que estas gemas encontram-se, comumente, nas cavidades desses geodos (caldeirões).

#### **11.2.4. DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO**

Amostras de micas de várias zonas dos Pegmatitos da Pederneira foram analisadas pelo método de difração de raios X. Os resultados obtidos foram processados pelo programa de computador Miller<sup>2</sup>. Estes dados estão dispostos na Tabela 14 (anexo III) e referem-se aos parâmetros da malha, representados por  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$ , ângulo  $\beta$  e volume da cela unitária.

Os parâmetros da malha das micas foram comparados aos dados de politipos 1M, 2M<sub>1</sub>, 2M<sub>2</sub> e 3T de Yoder & Eugster (1955) e Shimoda (1970) in Bailey (1984). Os resultados dessas comparações permitiram enquadrar todas as micas dos Pegmatitos da Pederneira no politipo 2M<sub>1</sub>, significando que as seqüências de empilhamento das micas estão caracterizadas por malhas monoclinicas com duas camadas. Os valores dos parâmetros da espécie sintética de 2M<sub>1</sub> de Yoder & Eugster (op. cit.) são:  $a_0 = 5,189 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 8,995 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 20,097 \text{ \AA}$  e  $\beta = 95^\circ 18'$ . As amostras de micas analisadas pela difração de raios X estão representadas pelas amostras PD-3, PD-5, PD-9, PD-11, PD-14, PD-16, PD-21, PD-26, PD-28, PD-30, PD-35, PD-40, PD-42, PD-46, PD-47, PD-50, PD-52, PD-53, PD-56, PD-57, PD-58, PD-59 e PD-62. Os resultados mostram que no ambiente pegmatítico da Pederneira o politipo 2M<sub>1</sub> caracteriza tanto as micas dioctaédricas (moscovitas) como as micas trioctaédricas, \*lepidolitas (exibindo estruturas mistas).



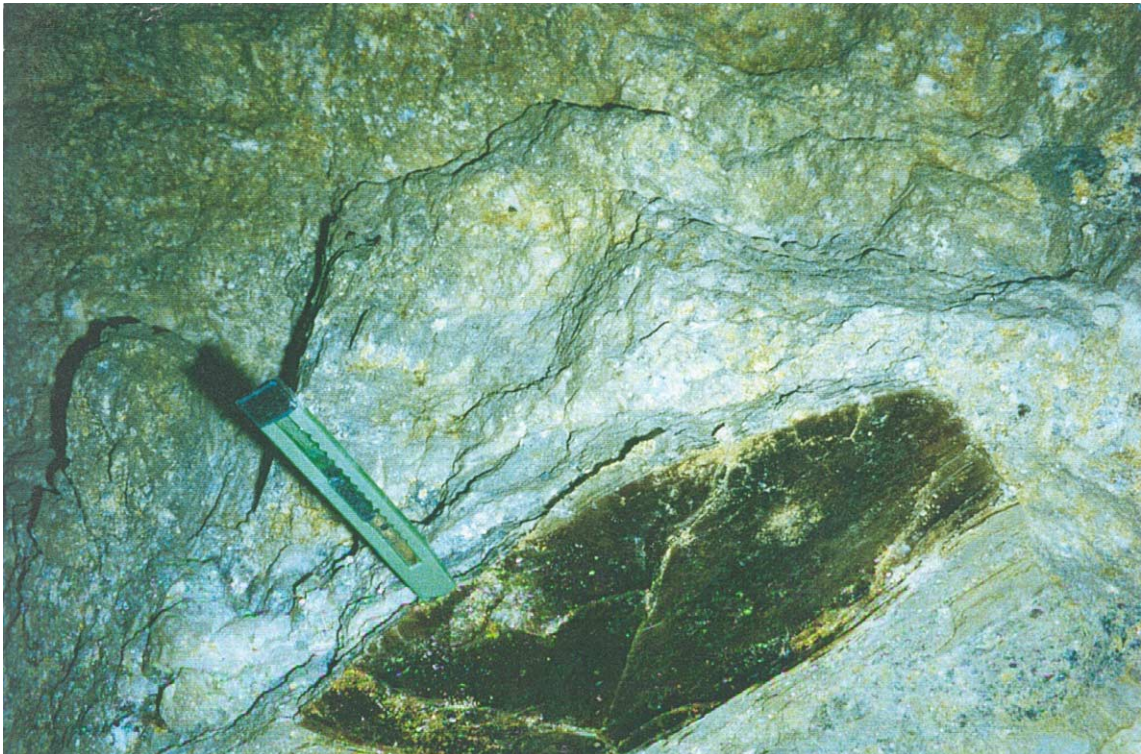
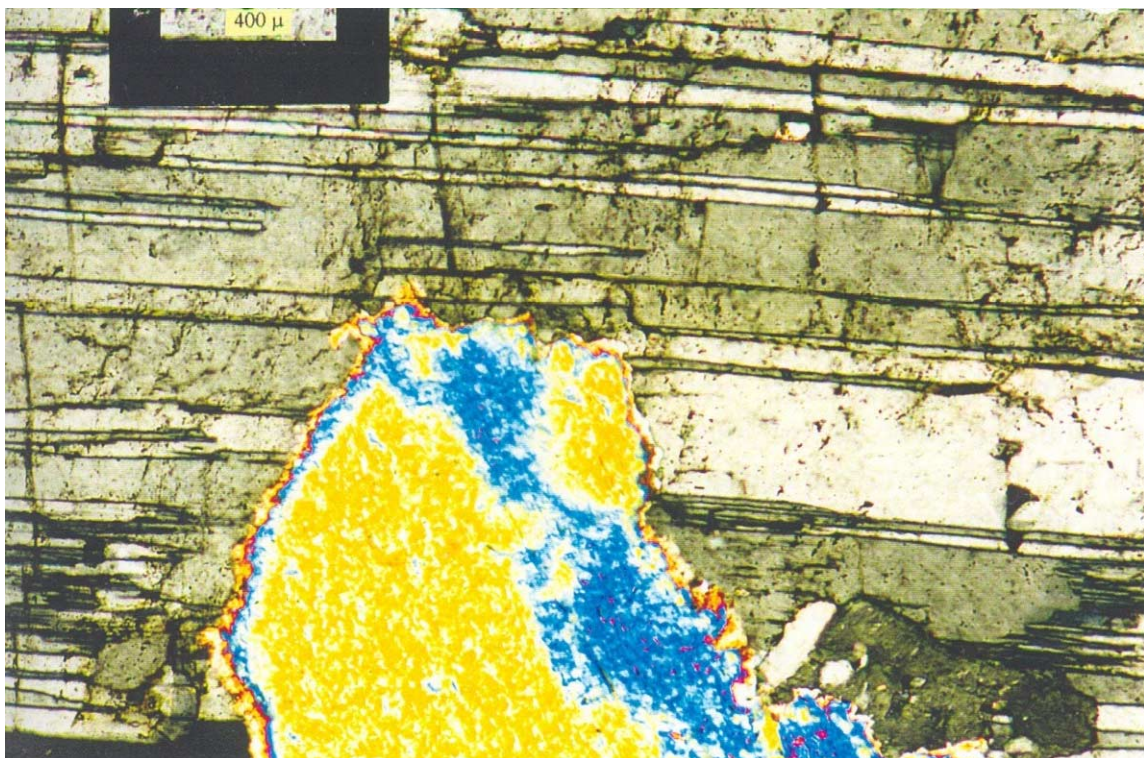


Foto 11 – Amostra de mica marrom com dimensão de 30 cm x 10 cm, encontrada na zona mural do Pegmatito da Pederneira I (Galeria do Venâncio).1



Fotomicrografia 4 – Detalhe do cristal de albita associada à mica, proveniente do corpo de substituição do Pegmatito da Pederneira . Amostra PD-46. Nicóis cruzados.



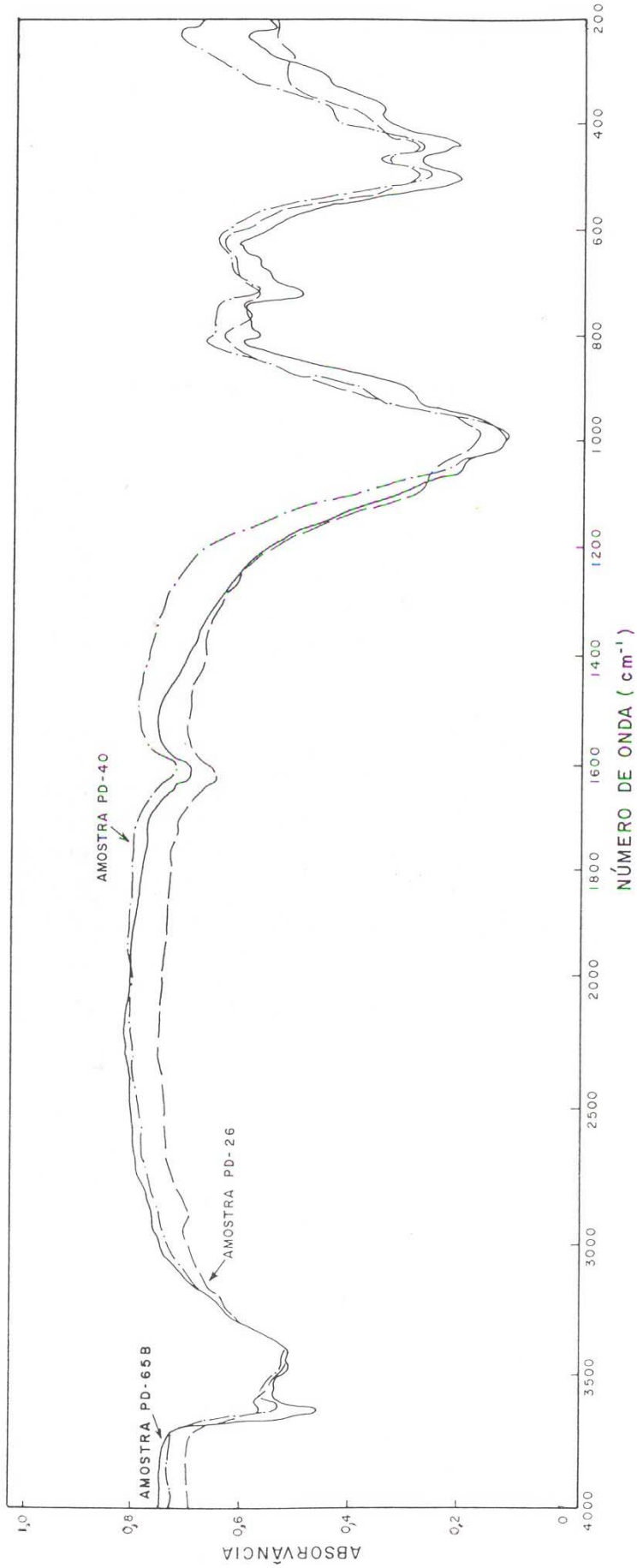


Gráfico 4 – Diagrama de infravermelho da moscovita clara (PD- 40), moscovita rósea (PD-65B) e lepidolita (PD-26).

As micas dos Pegmatitos da Pederneira foram analisadas por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho, obtendo-se vinte e quatro diagramas de micas, sendo dezesseis da Pederneira I, dois da Galeria do Venâncio e seis da Pederneira II. Os diagramas de infravermelho das micas identificaram vinte moscovitas e quatro \*lepidolitas. Os dados de frequência das bandas de absorção das micas estão reportados na Tabela 20 (anexo IV). Estes dados foram comparados aos do padrão 6.91-6.89 da moscovita e 6.96 da lepidolita, segundo Moenke (op. cit.). As diferenças existentes são, possivelmente, devido às variações na composição química.

Na estrutura silicática das micas, as vibrações de estiramento e deformação estão registradas numa determinada banda do espectro. As micas da Pederneira apresentam vibrações de estiramento Si-O entre 700 a 1.200  $\text{cm}^{-1}$ , enquanto que as vibrações de deformação se localizam entre 150 a 600  $\text{cm}^{-1}$ . Na região espectral da vibração de estiramento, a moscovita caracteriza-se por uma banda de absorção larga, ao passo que, na região espectral da deformação, esta mica se apresenta com dois picos de absorção.

As micas oriundas da Pederneira apresentam vibrações de estiramento (*stretching*) do ânion  $\text{OH}^-$ , sendo captadas, na banda de absorção, entre 3.600 a 3.750  $\text{cm}^{-1}$ . As vibrações de deformação (*bending*) surgem na faixa entre 600 a 900  $\text{cm}^{-1}$ .

Algumas amostras apresentam bandas de absorção nas regiões de 2.850  $\text{cm}^{-1}$  a 2.920  $\text{cm}^{-1}$ , caracterizando a presença de hidrocarboneto, provavelmente, metano. Nenhuma amostra apresenta registro de absorção na faixa de 2.350  $\text{cm}^{-1}$ , indicador da presença de dióxido de carbono. Esta ausência é própria dos corpos que não são gerados por anatexia.

Os diagramas de infravermelho da moscovita clara (PD-40), moscovita rósea (PD-65B) e lepidolita (PD-26) estão reproduzidos no Gráfico 4. O centro da turmalina verde-rosa foi identificado como moscovita pelo gráfico de infravermelho. Portanto, ocorre uma intensa substituição dessa turmalina pela moscovita rósea no sentido do centro para as bordas dos cristais de turmalina. A análise do infravermelho tem identificado esta variação estrutural desses minerais, que ocorrem nos corpos de substituição da Pederneira I. Esta moscovita tem surgido nos estágios finais da formação deste pegmatito, substituindo minerais pré-existentes. Na região de 900  $\text{cm}^{-1}$ , a lepidolita é identificada no espectro do infravermelho.

### 11.3. QUARTZO

O quartzo cristaliza-se no sistema hexagonal e exhibe formas variadas, ocorrendo, comumente, em formas prismáticas, mono ou biterminadas. Além

das variedades cristalinas, o quartzo apresenta-se em formas cripto-cristalinas e amorfas. O quartzo ocorre em grande proporção nos pegmatitos, localizando-se principalmente na parte central.

### 11.3.1. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO QUARTZO

A estrutura cristalina do quartzo é constituída por um arcabouço tridimensional com fortes ligações de silício-oxigênio, resultando em alta dureza e falta de clivagem.

Quartzo, cristobalita e tridimita são as formas de sílica que podem ocorrer nas rochas ígneas. Estes três polimorfos de sílica são todos construídos pelos grupos tetraédricos, formados por um átomo central de silício que fica rodeado por quatro átomos de oxigênio. Os tetraedros de silício-oxigênio mantêm-se juntos, de modo a formar uma estrutura tridimensional, mas, o padrão da união é diferente em suas estruturas cristalinas e em suas propriedades. A cristobalita e a tridimita têm estruturas relativamente abertas, enquanto que no quartzo, os átomos estão empacotados mais densamente, Deer et al. (op. cit.).

Segundo este autor, as variedades de quartzo mais comuns são: incolores (cristais de rocha), cinzentos e leitosos. A variedade de quartzo leitoso possui este aspecto devido à presença de inclusões fluidas. O quartzo enfumaçado é atribuído à presença de alumínio na posição do silício ou devido a defeitos estruturais do cristal provocados por radiações.

O quartzo pode, também, admitir várias tonalidades em consequência da incorporação de impurezas. Nos minerais coloridos, podem ser identificadas algumas variedades consagradas como gemas.

### 11.3.2. OCORRÊNCIA DE QUARTZO NA PEDERNEIRA

Na Pederneira, a ocorrência do quartzo é variável nas diferentes zonas dos corpos pegmatíticos. Geralmente, ocorre em forma de massa, exceção feita nos geodos, onde os cristais apresentam-se em forma prismática. O quartzo apresenta-se normalmente maciço, possuindo cor predominantemente leitosa, entretanto, existem as variedades incolor, amarela e enfumaçada. No nível 1, destaca-se o quartzo hialino, exibindo estrias horizontais, brilho vítreo e fratura conchoidal marcante. O quartzo está distribuído ao longo de todo o pegmatito, associado aos minerais do grupo dos feldspatos e micas e constituindo-se no componente essencial do núcleo. O quartzo ocorre, também, nos corpos de substituição, em forma de cristais, associado à albita, turmalina e lepidolita.



Foto 12 – Amostra de coleção constituída por quartzo leitoso e turmalina verde, (Pegmatito da Pederneira I).

Na zona mural, a incidência do quartzo acha-se sempre relacionada com um arranjo gráfico com o feldspato potássico, exibindo belos intercrescimentos. Muitas peças de coleção do Pegmatito da Pederneira I contêm quartzo associado à turmalina verde (Foto 12).

#### 11.4. TURMALINA

Os minerais membros da família da turmalina possuem a mesma estrutura cristalina básica, mas ocorrem em diversas cores. Os cristais de turmalina são estriados, com uma seção transversal triangular e um contorno arredondado. Cristalizam-se no sistema trigonal e exibem hábito prismático. Podem apresentar-se, também, em massas compactas ou em agregados de finos cristais radiais ou paralelos. As diferentes tonalidades deste mineral são conseqüência de impurezas que se alojam em sua estrutura cristalina.

### 11.4.1. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA TURMALINA

A composição química da turmalina é complexa. As determinações estruturais levam a considerar a fórmula  $WX_3Y_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH,F)_4$ . Nesta fórmula, o W pode ser representado pelo  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Ca^{2+}$ . Os sítios octaédricos são denominados de X e Y. A posição X pode ser ocupada pelo  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Li^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ . A posição Y pode ser representada por  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  e  $V^{3+}$ , Fleischer (1995).

As variedades férricas são negras e as restantes apresentam cores as mais diversas, alguma vez com coloração zonal. As variedades distinguem-se umas das outras pela sua cor: acroíta (incolor), dravita (marrom ou amarela), schorlita (negra), siberita (violeta), rubelita (róseo a vermelha), verde (verdelita) e indicolita (azul).

Nas rochas graníticas, as turmalinas pertencem à série schorlita-elbaíta e são, comumente, ricas em ferro. Em certos pegmatitos desenvolvem-se turmalinas ricas em lítio, apresentando, muitas vezes, uma variação de cor e composição, correspondente à sua posição no pegmatito, Deer et al. (op. cit.).

O *International Mineralogical Association* (IMA) admite onze minerais do grupo da turmalina como membros finais das séries sólidas, Fleischer (op. cit.). Trata-se dos seguintes tipos:

- Buergerita –  $NaFe_3^{3+}Al_6(BO_3)_3Si_6O_{21}F$ ;
- Cromodravita –  $NaMg_3(Cr,Fe^{3+})_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ;
- Dravita –  $NaMg_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ;
- Elbaíta –  $Na(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ;
- Feruvita –  $Ca(Fe^{2+},Mg)_3(Al,Mg)_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ;
- Foitita –  $[Fe_2^{2+}(Al,Fe^{3+})]Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$ ;
- Liddicoatita –  $Ca(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH,F)_4$ ;
- Olenita –  $NaAl_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH)_4$ ;
- Povondraíta –  $NaFe_3^{3+}Fe_3^{6+}(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH,O)_4$ ;
- Schorlita –  $NaFe_3^{2+}Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ;
- Uvita –  $(Ca,Na)(Mg,Fe^{2+})_3Al_5Mg(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH,F)_4$ .

A fórmula corresponde aos sítios cristalográficos da estrutura da turmalina, que podem estar ocupados parcial ou completamente. A estrutura da turmalina está representada por formação em anel. Seis átomos de oxigênio da parte inferior dessas camadas são os ápices dos anéis de tetraedros de silício.

Na estrutura da dravita, os íons de magnésio estão rodeados por íons de oxigênio e oxidrila, em disposição octaédrica. Os três octaedros envolvem o eixo ternário. Cada um dos seis átomos de silício está rodeado por quatro átomos de oxigênio, em disposição tetraédrica. Por outro lado, cada tetraedro desta estrutura compartilha dois oxigênios com os tetraedros vizinhos, de

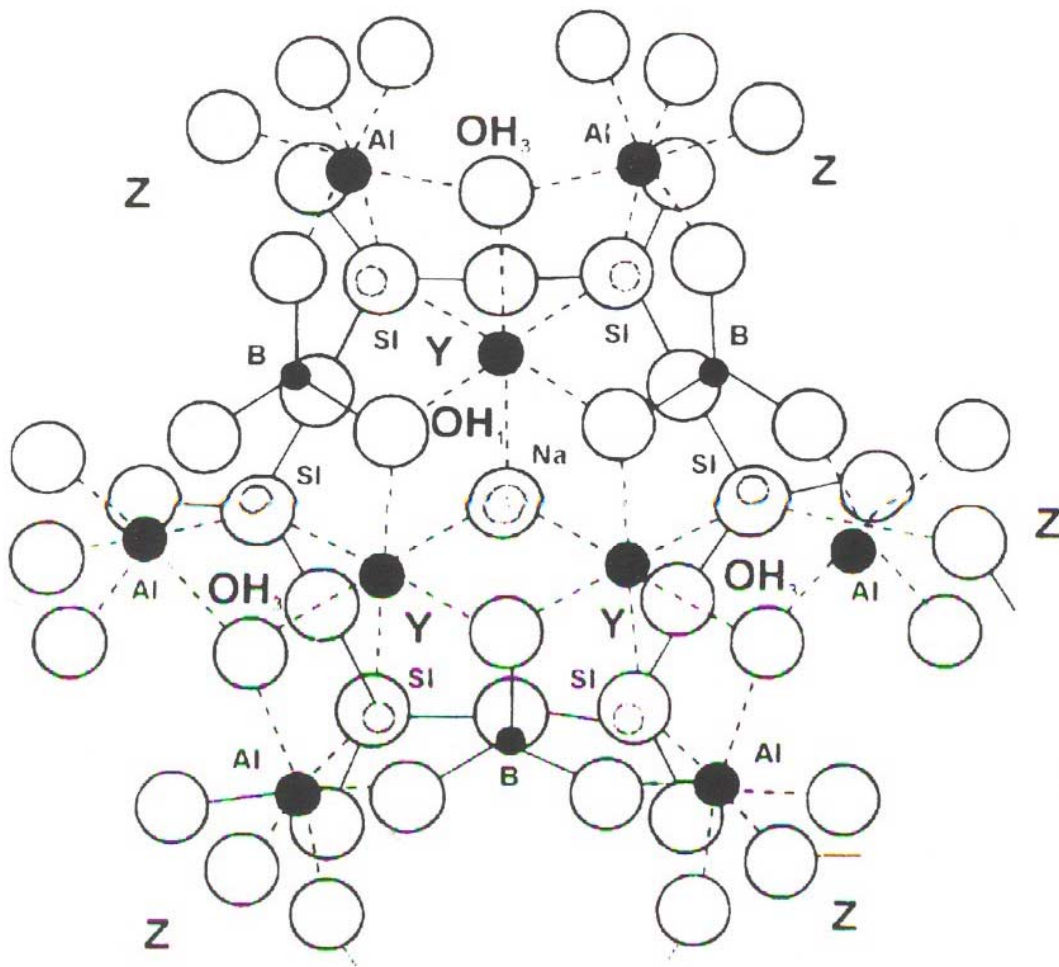


Figura 28 – Estrutura da turmalina com projeção sobre o plano (001), segundo Gonzáles et al. (1988).

modo a constituir um anel com seis elementos de composição  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ; os íons de Al estão coordenados por seis átomos de oxigênio, formando um octaedro distorcido. Os íons de Al, B e Na servem para unir, de diferentes maneiras, o núcleo central da estrutura com composição  $\text{Mg}_2(\text{OH})\text{Si}_6\text{O}_{21}$ . A partir das variações dos parâmetros da malha, pode fazer-se a separação em duas séries: uma entre dravita e schorlita e a outra entre elbaíta e schorlita, Deer et al. (op. cit.). A estrutura da turmalina está representada em projeção sobre o plano 001 na Figura 28.

Epprechet (1953) estudou a cela unitária da turmalina e determinou que as duas séries isomórficas (elbaíta-schorlita e schorlita-dravita) podem ser distinguidas. Assim, o conhecimento dos parâmetros unitários permitem determinar as turmalinas dessas duas séries.



### **11.4.2. OCORRÊNCIA DE TURMALINA NA PEDERNEIRA**

Nos Pegmatitos da Pederneira, a turmalina negra ocorre, como mineral acessório, em quantidade apreciável, disseminada na matriz feldspática. Este mineral encontra-se na zona mural e zona intermediária dos pegmatitos, em forma de cristais prismáticos e massa granular, associado ao quartzo e feldspato. Apresenta brilho opaco, fratura irregular e superfície estriada. Grande parte dos cristais de turmalina ocorrem com o eixo *c* perpendicular ao contato com a rocha encaixante. As ocorrências dessas turmalinas coloridas estão restritas ao Pegmatito da Pederneira I. As turmalinas gemológicas foram encontradas, com maior frequência, nos geodos dos corpos de substituição, que estão situados no nível 4 do Pegmatito da Pederneira I. Atualmente, as galerias deste nível estão submersas. As características das amostras das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira e respectivas zonas de ocorrência estão relacionadas na Tabela 9 (anexo II).

Os minerais de turmalinas podem estar caracterizando dois estágios de formação do pegmatito. A turmalina negra (schorlita) estaria indicando o processo de cristalização primária, enquanto que as turmalinas coradas, o ambiente dos corpos de substituição tardios.

As turmalinas verdes do Pegmatito da Pederneira I forneceram muitas peças de coleção, envolvendo estes minerais isoladamente ou em associações com lepidolita, quartzo hialino e albita verde-azulada, formando um conjunto de peças interessantes e com formas originalíssimas. Uma dessas raridades podem ser vistas na Foto 13.

### **11.4.3. DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO**

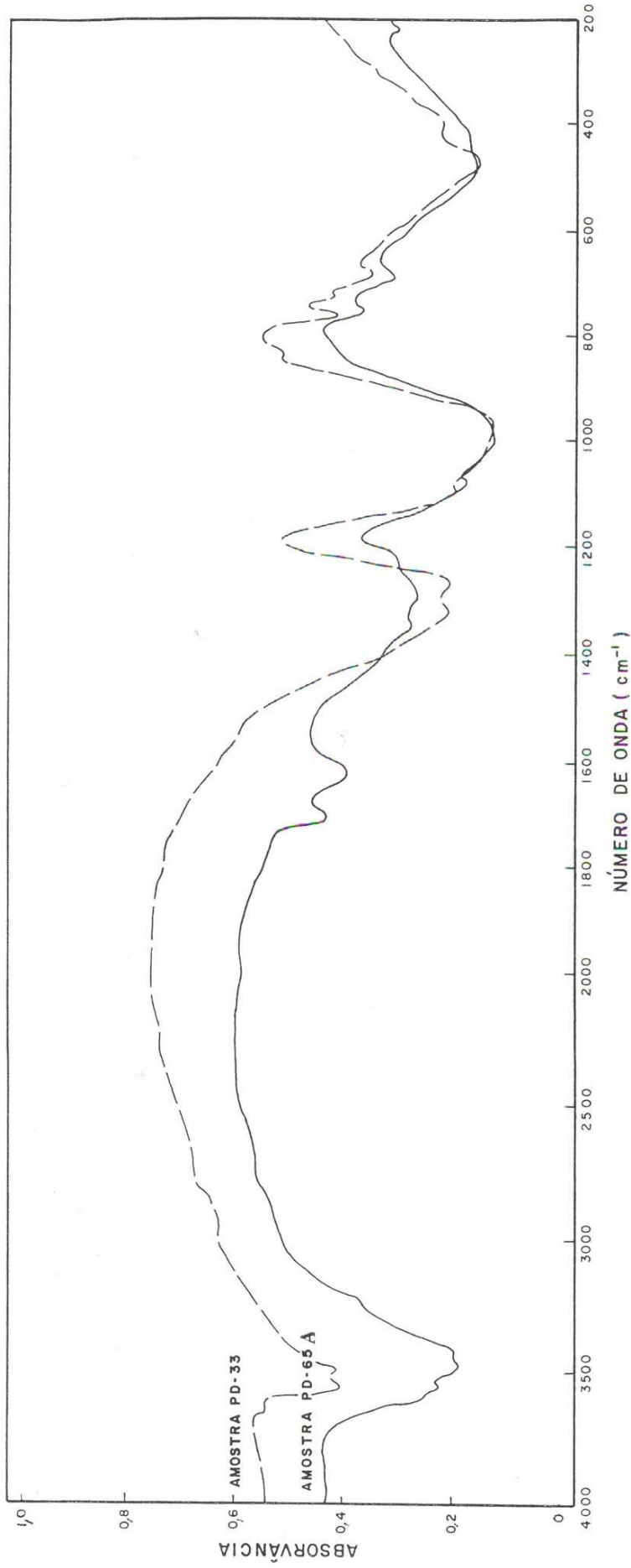
Todas as amostras de turmalina foram difratadas pelo método do pó. Os resultados dos cálculos pelo programa Miller2 geraram dados de parâmetros da malha e volume da cela unitária, que estão dispostos na Tabela 15 (anexo III). As reflexões dos difratogramas da turmalina foram comparadas ao sistema JCPDS de número 22.469 (schorlita) e 26.964 (elbaíta).

Quatorze amostras de turmalinas da série elbaíta-schorlita foram, também, analisadas pelo método de absorção no infravermelho. Os gráficos obtidos identificam a estrutura silicática do mineral e a presença de fases fluidas. O espectro de absorção de raios X no infravermelho depende não somente da composição química, mas também, das diferentes formas da estrutura cristalina, onde os diferentes átomos se encontram arranjados.





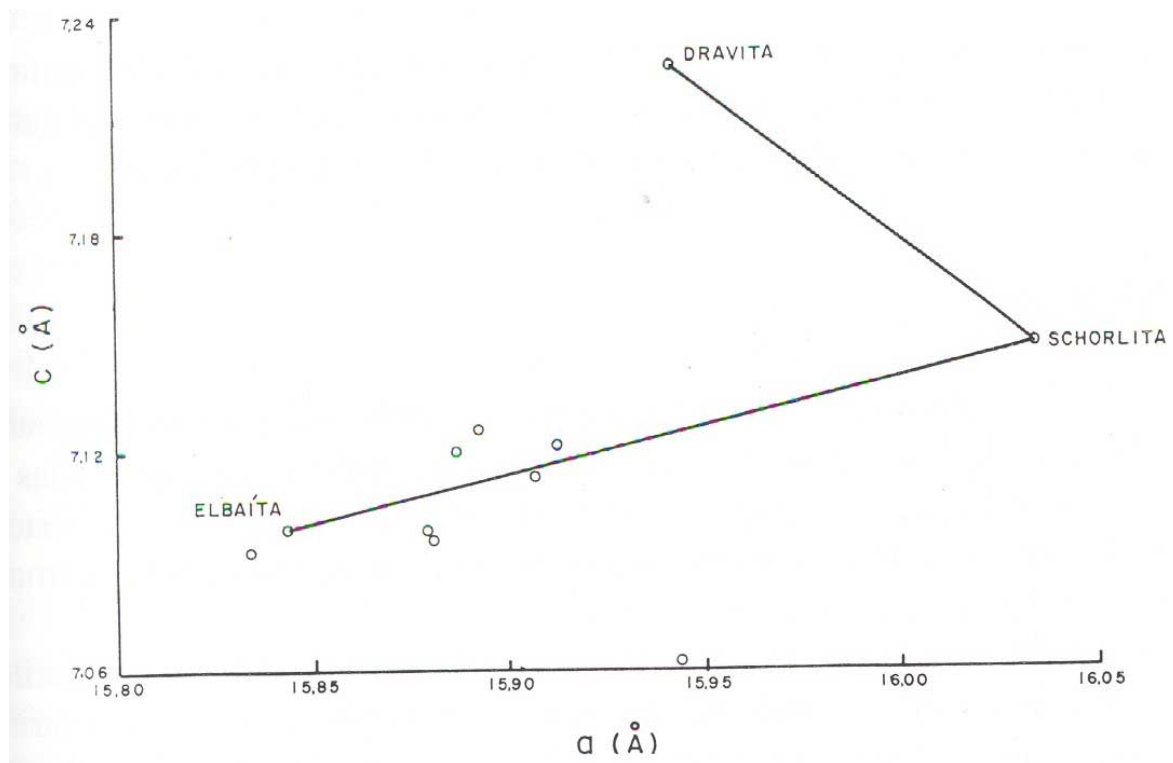
Foto 13 – Peça de coleção rara constituída pela turmalina verde azulada, quartzo hialino, clevelandita e mica lilás, (Pegmatito da Pederneira I). Foto de Scovil (1997).



**Gráfico 5 – Diagrama de infravermelho da turmalina negra (PD-33) e turmalina verde (PD-65A).**

Os dados espectrais da turmalina da Pederneira foram comparados ao padrão 6.50 da turmalina, segundo Moenke (op. cit.), e estão contidos na Tabela 21 (anexo IV).

Na região da vibração de estiramento O-H, em quase todas as amostras, foram observados dois picos: O primeiro variando entre 3.520 a 3.550  $\text{cm}^{-1}$  e o segundo entre 3.465 a 3.497  $\text{cm}^{-1}$ . A faixa da vibração de deformação O-H localiza-se entre 1.620 a 1.670  $\text{cm}^{-1}$ . A primeira banda está relacionada com o grupo  $\text{OH}^-$  e as demais à presença de água. Em algumas amostras aparecem picos de absorção, oscilando entre 2.900 a 2.920  $\text{cm}^{-1}$ , indicando a presença de hidrocarboneto, provavelmente, metano. A região que abrange uma banda larga com dois picos, variando entre 1.210 a 1.290  $\text{cm}^{-1}$  e 1.320 a 1.370  $\text{cm}^{-1}$ , indica a presença do boro.



Nos diagramas do infravermelho, as ligações dos anéis de Si-O das turmalinas analisadas foram absorvidas na região de uma banda muito larga, situada entre 950 a 1.160  $\text{cm}^{-1}$ . As ligações do alumínio estão situadas na faixa entre 550 a 800  $\text{cm}^{-1}$ , onde ocorre um conjunto de picos de absorção. O diagrama da turmalina das amostras PD-33 e PD-65A está ilustrado no Gráfico 5. A amostra PD-65A constitui a parte externa da turmalina verde-rosa, a qual está sendo submetida ao processo de substituição pela moscovita de formação tardia. Na análise feita pelo diagrama de infravermelho, pode-se ainda observar a estrutura da turmalina, porém, com sinais evidentes de

alteração. Os cristais de turmalina são parcialmente e, às vezes, totalmente substituídos pela moscovita rósea, que compõe a paragênese dos corpos tardios de substituição do Pegmatito da Pederneira I.

De acordo com Epprecht (op. cit.), na turmalina, podem ser distinguidas duas séries isomórficas. A primeira série é uma solução sólida formada entre elbaíta-schorlita e a segunda entre a schorlita-dravita. Os valores dos parâmetros de cela unitária  $a_0$  e  $c_0$ , obtidos nas amostras de turmalina da Pederneira, foram plotados no diagrama de Epprecht (op. cit.), mostrando que estas turmalinas pertencem à solução sólida elbaíta-schorlita. Nota-se, também, que os valores estão mais próximos da molécula de elbaíta. Apesar da coloração negra das amostras, os dados obtidos são intermediários entre schorlita e elbaíta.

As amostras de turmalina PD-7, PD-32, PD-33, PD-39, PD-49, PD-55, PD-60 e PD-64 estão representadas neste diagrama (Gráfico 6). Contudo, uma parte dos resultados foram abandonados, uma vez que não apresentaram valores aceitáveis para este tipo de diagrama. Possivelmente, a mistura natural da turmalina com quartzo e caulinita pode interferir nesses resultados.

## 11.5. BERILO

O nome berilo deriva do grego *beryllos*, utilizado para denominar as gemas verdes, Moura (1981). Atualmente, este termo abrange todas as variedades gemológicas do grupo berilo. Este mineral cristaliza-se no sistema hexagonal e possui aspecto colunar ou prismático. Encontra-se sob a forma de cristais soltos, às vezes, unidos em drusas.

O berilo apresenta uma grande variedade de cores. A cor do berilo é bastante variável, distinguindo-se as seguintes variedades: água marinha (azul), morganita (rosa), goshenita (incolor), esmeralda (verde), heliodoro (amarela) e bixbita (vermelha). Segundo Garibaldi (1994), esta última variedade existe apenas numa ocorrência, que fica no Utah (USA). A transparência e as belas colorações tornam o berilo uma das pedras preciosas de maior estimação.

### 11.5.1. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO BERILO

O berilo está representado pela fórmula  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ , embora contenha alguns álcalis como Na, K, Li, Ca e Rb. Nestes berilos com álcalis, o Li substitui o Al nas posições octaédricas e o Al substitui algum Be nas posições tetraédricas, Deer et al. (1966).

As moléculas voláteis livres e álcalis ocupam posições variáveis nos canais. Os álcalis, principalmente sódio e césio, devem estar acomodados nos vazios desses canais, porque eles são demasiadamente grandes para substituírem dentro da estrutura cristalina. Embora que o berilo seja um mineral anidro, os canais podem conter moléculas isoladas de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , juntamente com gases raros, Damon & Kulp (1958).

A água dentro da estrutura do berilo tem sido classificada como do tipo I e II, dependendo da orientação do eixo de simetria da molécula, relativa ao eixo c do berilo: perpendicular (tipo I) e paralelo (tipo II), Wood & Nassau (1968). O berilo normal (fracamente substituído) apresenta quase que exclusivamente  $\text{H}_2\text{O}$  do tipo I, uma vez que a  $\text{H}_2\text{O}$  do tipo II torna-se dominante quando a substituição catiônica é aumentada. Entretanto, a  $\text{H}_2\text{O}$  do tipo II estaria acoplada com a incorporação de álcalis dentro dos canais, Aurisicchio et al. (1994).

A estrutura do berilo repousa sobre um conjunto de tetraedros de óxido de silício e óxido de berílio, os quais estão unidos aos octaedros de  $\text{AlO}_6$ . O mineral apresenta uma estrutura silicática em anel, onde exhibe uma estrutura em favo de mel, consistindo de um empilhamento de anéis com seis membros de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e que formam canais abertos e paralelos ao eixo c. O hábito prismático hexagonal, longo ou curto, expressa esta morfologia de empilhamento, segundo o eixo c. Segundo Gibbs et al. (1968), os anéis são interligados pelos tetraedros de berílio e octaedros de alumínio.

A estrutura do berilo projetada sobre o plano (0001) está representada na Figura 29, segundo Bragg (1937) in Deer (1966).

A rede cristalina do berilo é constituída por diversos anéis de tetraedros de silício. As unidades anelares formam um verdadeiro sistema de pequenos canais verticais, que atravessam toda a rede cristalina do berilo e onde se acomodam elementos estranhos. Os íons de alumínio e berílio estão dispostos na estrutura anelar do berilo. Os anéis dispõem-se um debaixo do outro e os íons de  $\text{Be}^{2+}$  enlaçam estreitamente os radicais anelares num consistente esqueleto. Cada anel dessa cadeia tem em seu interior grandes cavidades vazias. Os íons de grandes dimensões, como  $\text{Na}^{1+}$ ,  $\text{K}^{1+}$  e  $\text{Cs}^{1+}$ , devem ocupar tais canais, contribuindo com as cargas positivas para que elas sejam compensadas pela substituição de outros cátions, em qualquer outra parte da estrutura. A água, que freqüentemente ocorre nas análises dos berilos, pode, também, estar localizada em tais cavidades, Aurisicchio et al. (op. cit.).

Segundo Deer et al. (1966), os átomos de alumínio e berílio situam-se entre os anéis, onde cada alumínio é coordenado por um grupo octaédrico de seis átomos de oxigênio e cada berílio, rodeado por quatro átomos de oxigênio, apresentando a forma de um tetraedro distorcido. Nessas posições, unem-se os oxigênios dos anéis  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$  vizinhos, tanto lateral como verticalmente.



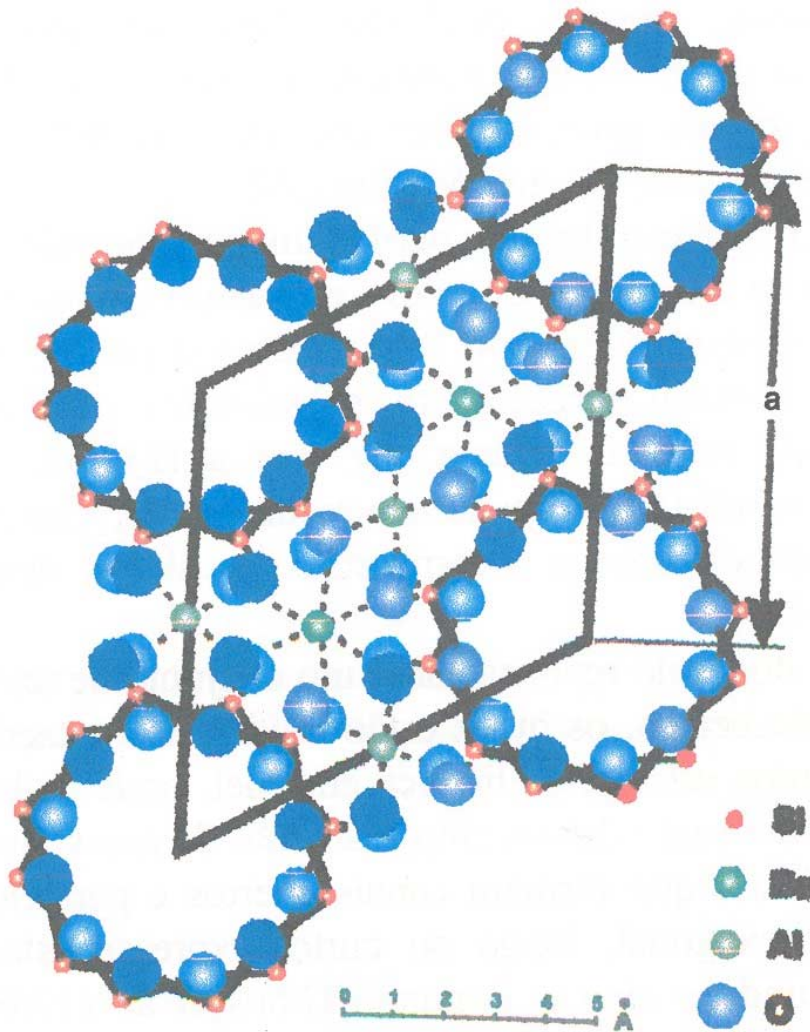


Figura 29 – Estrutura do berilo. Projeção sobre o plano basal (0001), mostrando os anéis da plano superior e (traço mais fino) a meia distância da parte inferior da malha. As linhas contínuas perfilam a célula unitária, Bragg (1937).

### 11.5.2. OCORRÊNCIA DE BERILO NA PEDERNEIRA

No Pegmatito da Pederneira II, foi encontrado berilo de coloração esverdeada, tendo hábito prismático e brilho vítreo. Está associado ao quartzo e feldspato e localiza-se na zona mural do pegmatito. Apesar de ser um mineral de importância econômica, nesta frente de pesquisa, tem ocorrido em pequena quantidade dentro do corpo pegmatítico.

Na Tabela 10 (anexo II), estão contidos os dados do berilo que foi encontrado no Pegmatito da Pederneira II (Garimpo). O berilo não foi observado no Pegmatito da Pederneira I (Mina), entretanto, segundo a literatura, neste pegmatito, ocorre o berilo rosa (morganita). Castañeda & Carvalho (1992) observaram a morganita em quantidades pequenas com

forma prismática, constituindo-se em um dos minerais acessórios do Pegmatito da Pederneira I. Este berilo tem sido encontrado na zona intermediária interna.

### 11.5.3. DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO

O berilo da Pederneira II foi analisado pela difração de raios X, usando a radiação  $K\alpha$  do Co. Foram obtidos dados para determinação de  $a_0$ ,  $c_0$  e volume da cela unitária, conforme dados da Tabela 16 (anexo III).

Os parâmetros do berilo esverdeado da Pederneira II foram comparados com os parâmetros dos berilos róseos e azulados da Mina do Cruzeiro. O valor de  $a_0$  da Pederneira II é inferior e o  $c_0$ , superior. Com relação ao volume da cela, o berilo da Pederneira II possui volume menor do que os berilos do Cruzeiro. Segundo César Mendes (1995), analisando os diversos estudos de pesquisadores, concluiu não existir consenso entre os estudiosos quanto à variação dos parâmetros  $a_0$  e  $c_0$  e o tipo de impurezas presentes na estrutura do berilo.

A amostra PD-19 de berilo foi analisada por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho e o resultado está na Tabela 22 (anexo IV). Os dados espectrais foram comparados aos do padrão 6.48 do berilo, segundo Moenke (op. cit.).

No diagrama do berilo (Gráfico 7), as bandas de absorção caracterizam-se por uma estrutura anelar com simetria hexagonal na faixa compreendida entre 380 a 1.200  $\text{cm}^{-1}$ . A correlação com os dados estruturais do padrão permite assinalar que o pico de absorção de 1.193  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à vibração do anel Si-O-Si e o pico de 788  $\text{cm}^{-1}$ , à vibração da ligação Be-O. A banda de absorção, situada entre os picos de 900 a 1.008  $\text{cm}^{-1}$ , é gerada pelas ligações de Si-O-Be e Si-O-Al, respectivamente. O conjunto dos picos sucessivos, que dominam a região espectral entre 387 a 655  $\text{cm}^{-1}$ , pode estar relacionado com os tetraedros e octaedros, onde ocorrem os processos de substituição.

Na região espectral do H-O, podem ser identificados dois tipos de moléculas d'água e um grupo de hidróxido associado aos álcalis. A água do tipo I posiciona-se na estrutura do berilo, com o vetor H-H paralelo ao eixo c cristalográfico, apresentando bandas de absorção de 1.617, 3.405 e 3.695  $\text{cm}^{-1}$ . A água do tipo II está associado aos álcalis e o vetor H-H, sendo perpendicular ao eixo c. Os picos de 2.835 e 2.903  $\text{cm}^{-1}$  indicam a presença de hidrocarboneto, provavelmente, metano, que pode estar alojado nos canalículos da estrutura do berilo.



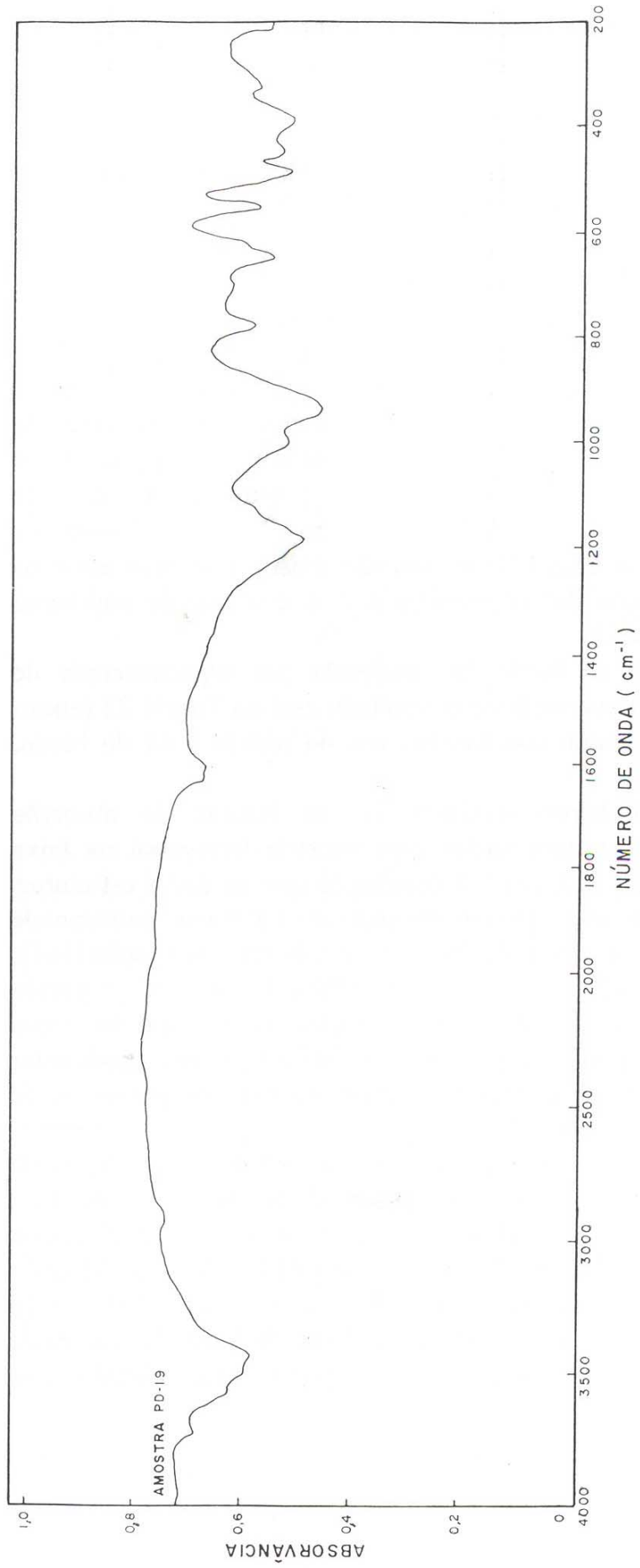


Gráfico 7 – Diagrama de infravermelho do berilo (D-19)

## 11.6. GRANADA

O nome granada significa grão em latim, devido aos cristais arredondados deste grupo que inclui minerais de diferentes cores. As granadas cristalizam-se no sistema cúbico em dodecaedros. Frequentemente, ocorrem em massas contínuas e cores variáveis (verde, vermelha, amarela, marrom e preta), raramente são incolores e nunca azuis. As granadas transparentes e de boa qualidade são utilizadas como gemas.

### 11.6.1. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA GRANADA

A granada é um termo geral empregado para designar um grupo de ortossilicato, cuja fórmula geral é  $R_3^{2+}R_2^{3+}(SiO_4)_3$ , onde  $R_3^{2+} = Ca, Mg, Mn$  ou  $Fe^{2+}$  e  $R_2^{3+} = Al, Fe^{3+}, Mn, Cr, Ti, V$  e  $Zr, Ernst$  (1971).

A malha unitária das granadas contém oito unidades na fórmula química. Os tetraedros de silício-oxigênio existem como grupos independentes, unidos a octaedros de íons trivalentes, enquanto que, os íons de metais divalentes estão localizados, em interstícios, no interior da rede de Si-Al, estando cada íon divalente rodeado por oito oxigênios, Deer et al. (1966).

Winchell (1933) classificou a granada, baseado no estudo químico, em duas séries distintas: pirlaspita (piropo, almandina e espessartita) e ugrandita (uvarovita, grossulária e andradita). Dentro de cada uma destas duas séries, há uma variação razoavelmente completa e contínua na composição, entretanto, parece não haver variação contínua entre pirlaspita e ugrandita. As granadas pertencem à classe dos nesossilicatos, cujos tetraedros  $SiO_4$  acham-se ligados a cátions diversos. Este grupo compreende as seguintes espécies:

1) Grupo Ugrandita:

Grossulária  $[Ca_3Al_2(SiO_4)_3]$

Andradita  $[Ca_3Fe_2(SiO_4)_3]$

Uvarovita  $[Ca_2Cr_3(SiO_4)_3]$

2) Grupo Pirlaspita:

Piropo  $[Mg_3Al_2(SiO_4)_3]$

Almandina  $[Fe_3Al_2(SiO_4)_3]$

Espessartita  $[Mn_3Al_2(SiO_4)_3]$

Aparentemente, existe ampla solução sólida entre os pares grossulária-andradita, piropo-almandina e almandina-espessartita.

Os locais de coordenação seis e oito permitem grande variação nas dimensões dos cátions. Segundo Correia Neves (1991), na fórmula  $X_3^{2+}Y_2^{3+}(ZO_4)_3$ , os sítios estruturais de coordenação [8] ou cúbica, designados por X, podem localizar-se os cátions divalentes, tais como,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ; nas posições estruturais de coordenação [6] ou octaédrica, podem entrar cátions trivalentes, tais como,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  e  $V^{3+}$ ; na posição Z, de coordenação [4] ou tetraédrica, localiza-se normalmente o  $Si^{4+}$  que, às vezes, pode ser substituído por  $Al^{3+}$  para compensar o excesso de carga dos cátions de coordenação [6].

### 11.6.2. OCORRÊNCIA DE GRANADA NA PEDERNEIRA

No Pegmatito da Pederneira I e Galeria do Venâncio, foi encontrada a granada vermelha escura, formando uma massa granular. Este mineral ocorre na zona intermediária do corpo pegmatítico, em sua parte mais externa, associado ao quartzo, feldspato potássico (microclina) e turmalina negra. Na análise química por microsonda, a granada foi identificada como pertencente à subsérie almandina-espessartita da série pirlaspita.

A granada é um mineral acessório e tem ocorrido em pequena quantidade dentro do corpo pegmatítico. Foi coletada uma amostra no Pegmatito da Pederneira I, a qual está descrita na Tabela 10 (anexo II). Este mineral não foi encontrado no Pegmatito da Pederneira II.

### 11.6.3. DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X E ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO DE RAIOS X NO INFRAVERMELHO

A granada do Pegmatito da Pederneira I foi analisada pela difração de raios X, usando a radiação  $K\alpha$  do Co. Os dados obtidos para determinação de  $a_0$  e volume da cela unitária estão dispostos na Tabela 17 (anexo III). Confrontando esses dados com os dados da granada do Pegmatito do Cruzeiro (César Mendes, 1995), indica que os parâmetros de malha da granada da Pederneira são ligeiramente menores do que os do Cruzeiro.

A amostra PD-68 de granada foi analisada por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho e o resultado está expresso na Tabela 23 (anexo IV). Os dados obtidos foram comparados aos do padrão 6.8 da granada (almandina), segundo Moenke (op. cit.). Segundo a composição química desta amostra, obtida por microsonda eletrônica, pode ser classificada como da série almandina-espessartita. O resultado mostra uma tendência mais próxima da almandina (70%) e que é confirmada pela análise do diagrama de infravermelho da granada (Gráfico 8). As várias bandas de absorção do infravermelho desta amostra estão localizadas nos intervalos que caracterizam a série pirlaspita da subsérie almandina-espessartita. Por outro lado, não existe nenhuma correspondência com a variedade piropo.

Na região da absorção espectral d'água, foram registradas vibrações de estiramento (*stretching*) com bandas de frequências entre  $3.410$  a  $3.550\text{ cm}^{-1}$  e vibrações de deformação (*bending*) com pico de  $1.640\text{ cm}^{-1}$ . Existe traço de metano no pico de  $2.906\text{ cm}^{-1}$ , porém, inexistem outros componentes fluidos como boro e  $\text{CO}_2$ .

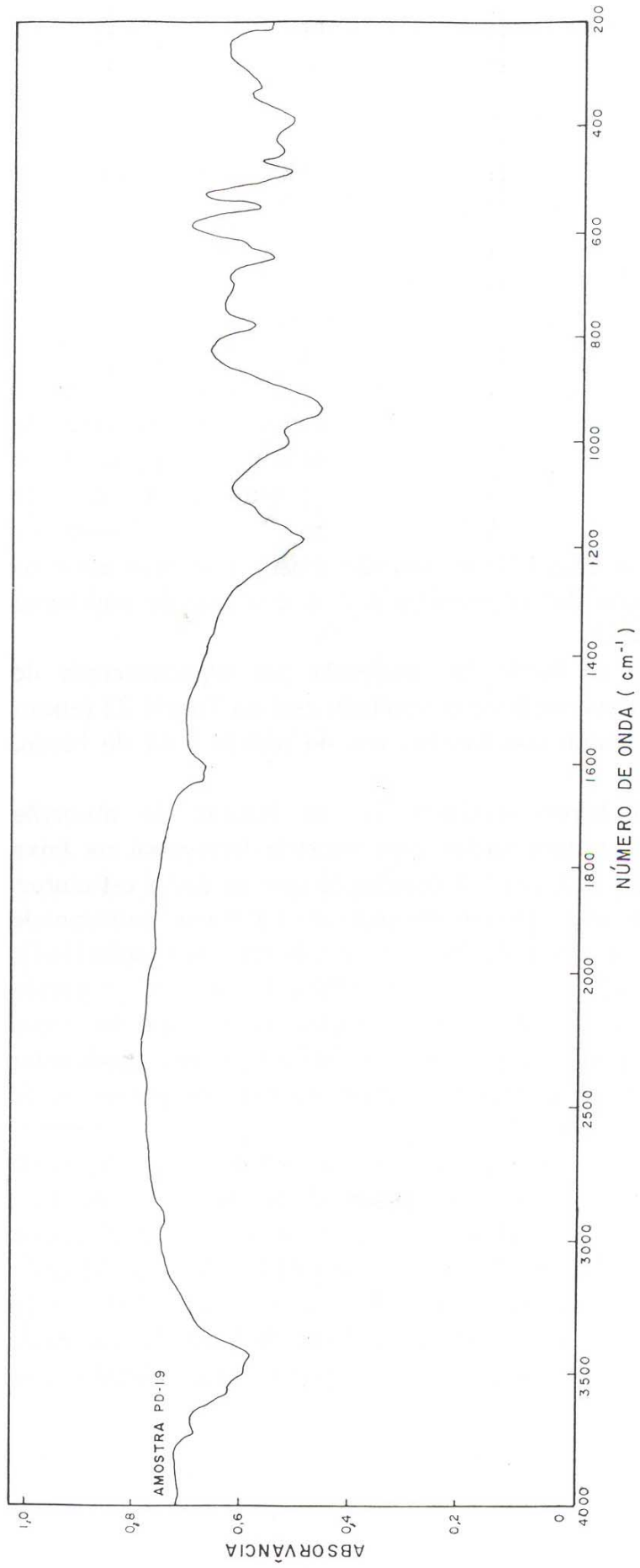


Gráfico 8 – Diagrama de infravermelho da granada (PD-68)

## Capítulo 12

# GEOQUÍMICA

---

**O**s estudos geoquímicos dos Pegmatitos da Pederneira foram feitos através de análises de microsonda eletrônica e fluorescência de raios X. Utilizando-se da microsonda eletrônica, foram analisados os óxidos maiores e menores (rubídio e céσιο) dos principais minerais do corpo pegmatítico. A composição química média dos óxidos está inserida nas Tabelas 26 a 30 (anexo V). Os resultados analíticos obtidos por microsonda eletrônica estão relacionados nas Tabelas 31 a 35 (anexo VI). No método por fluorescência de raios X, foram determinados os teores dos elementos de nióbio, ítrio, escândio, zircônio, rubídio e bário. Os resultados estão contidos nas Tabelas 36 a 41 (anexo VII).

Neste trabalho, as análises de várias amostras foram utilizadas para representar as diversas zonas do pegmatito e verificar o comportamento geoquímico de alguns elementos através dos diagramas binários e ternários. De uma maneira geral, as micas são os minerais mais importantes no estudo das variações químicas do sistema pegmatítico, uma vez que elas cristalizam-se nas várias unidades do pegmatito.

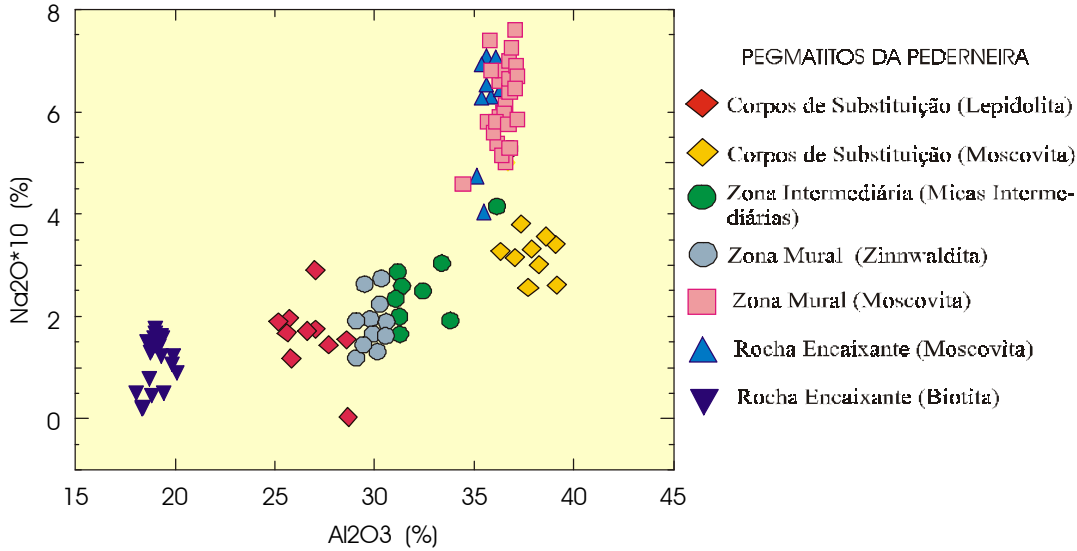
Na Pederneira, foram confrontados os dados geoquímicos tanto da rocha encaixante como das principais unidades do corpo pegmatítico (zona mural, zona intermediária e corpos de substituição do Pegmatito da Pederneira I e zona mural do Pegmatito da Pederneira II). As micas estão representadas pela biotita, micas intermediárias, zinnwaldita, moscovita e lepidolita.

Nos estudos dos diagramas geoquímicos, foram selecionados e interpretados os seguintes gráficos:

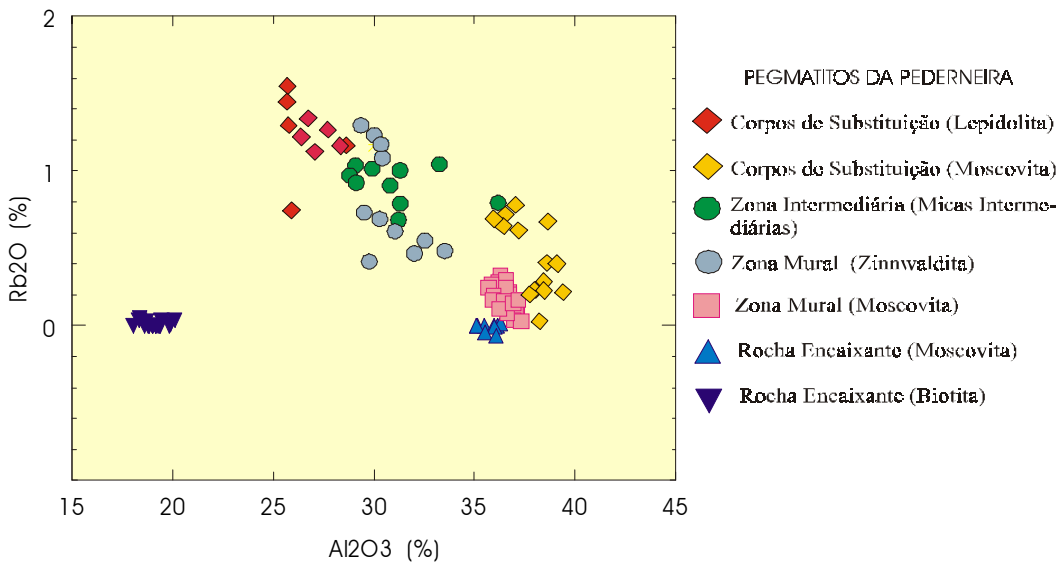
- O Gráfico 9 mostra o diagrama em que se relaciona  $Al_2O_3 \times Na_2O \times 10$ . As porcentagens de  $Al_2O_3$  permitiram separar os diversos tipos de micas, desde as biotitas com teores em torno de 19% até as moscovitas com 36 a 37%. Entre elas, destacam-se as ocorrências de zinnwaldita na zona mural, micas intermediárias na zona intermediária e lepidolita nos corpos de substituição. Observa-se que o sódio está mais concentrado nas moscovitas da rocha encaixante e da zona mural do Pegmatito da Pederneira II do que nas moscovitas das zonas centrais do Pegmatito da Pederneira I.

- O diagrama  $Al_2O_3 \times Rb_2O$  (Gráfico 10) é bem sugestivo com relação à evolução da cristalização do Sistema Pegmatítico da Pederneira. As correlações entre os teores de óxidos de alumínio e rubídio mostram uma correlação linear inversa. A evolução iniciaria com a cristalização das

**Gráfico 9 – Diagrama  $Al_2O_3$  x  $Na_2O*10$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



**Gráfico 10 – Diagrama  $Al_2O_3$  x  $Rb_2O$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**

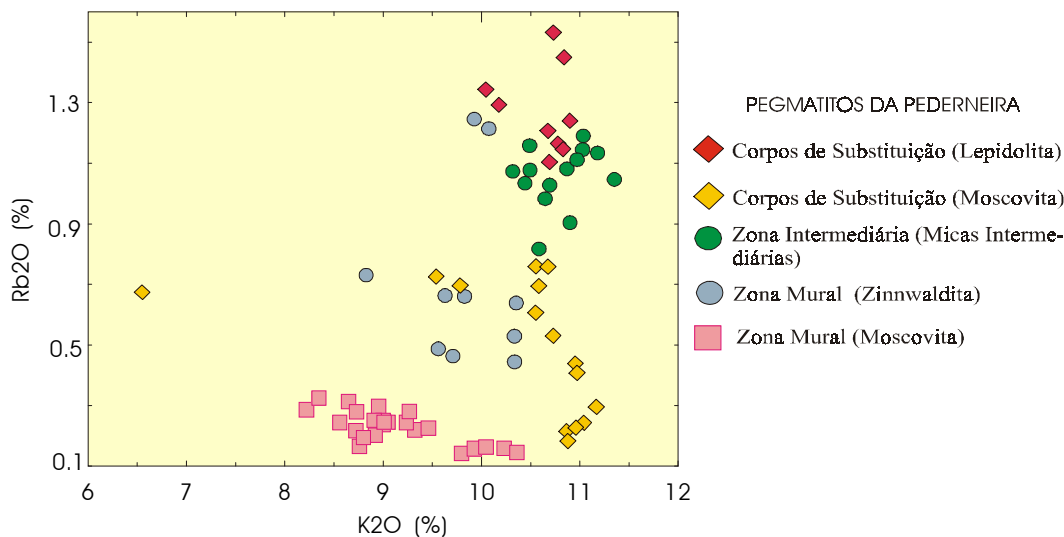


moscovitas da zona mural (onde os teores de rubídio são baixos) e seguiria em direção da formação das lepidolitas nos corpos de substituição (onde os teores de rubídio são mais elevados). O fracionamento do líquido residual continuaria evoluindo das lepidolitas para zinnwalditas. Estas micas de neoformação seriam geradas no estágio mais tardio do sistema pegmatítico.

- Observando o diagrama  $K_2OxRb_2O$  (Gráfico 11), verifica-se que ocorre o enriquecimento do rubídio nas micas trioctaédricas dos corpos de

substituição. Estas micas estão representadas pelas lepidolitas que apresentam concentrações em  $\text{Rb}_2\text{O}$  entre 1,1 a 1,6%. O gráfico mostra, também, a significativa diminuição de teores de rubídio nas moscovitas da zona mural. O aumento do conteúdo de rubídio da zona mural para os corpos de substituição expressa o sentido da evolução geoquímica através dos diferentes estágios do processo pegmatítico. O rubídio não penetra com facilidade na estrutura dos minerais comuns e, por isso, se concentra nos sistemas residuais de natureza pegmatítica. Devido a isto, termina por se concentrar nos minerais de estágio de formação mais tardio, como é o caso das lepidolitas.

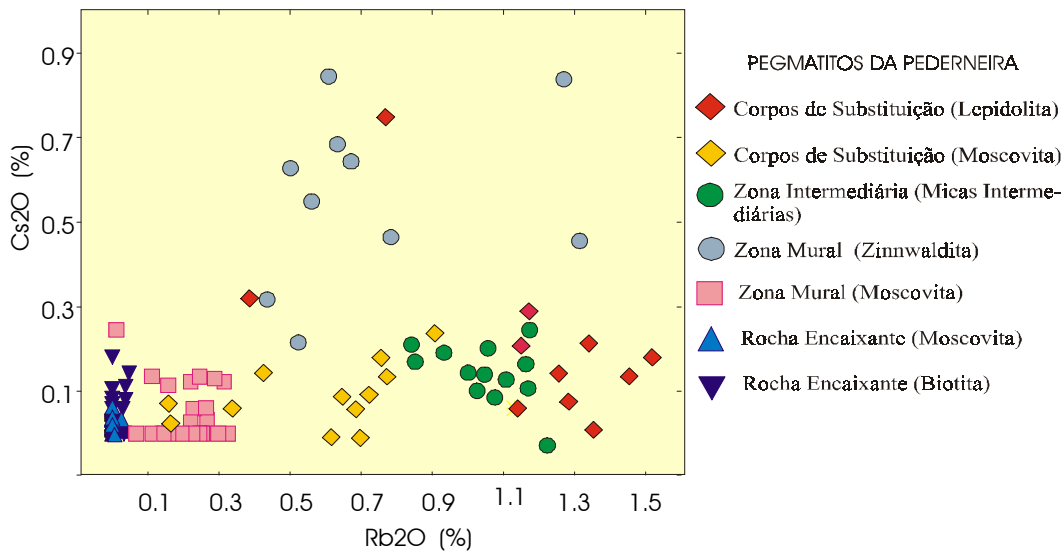
**Gráfico 11 – Diagrama  $\text{K}_2\text{O}$  x  $\text{Rb}_2\text{O}$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



• O diagrama  $\text{Rb}_2\text{O} \times \text{Cs}_2\text{O}$  (Gráfico 12) mostra um enriquecimento de césio nas zinnwalditas em relação às outras micas. Isto parece sugerir que houve uma concentração deste elemento nos fluidos residuais tardios durante o processo de cristalização do pegmatito, pois não existe incorporação deste elemento em minerais numa fase inicial. O rubídio é um elemento que ocorre em forma de traços no estágio inicial da formação pegmatítica e, devido a isto, apresenta teores baixos nas moscovitas de formação primitiva. Assim, as moscovitas da zona mural ficam empobrecidas deste elemento, porém, à medida que o sistema pegmatítico vai evoluindo, passando seqüencialmente pela formação da zona intermediária e corpos de substituição, este mineral vai ficando enriquecido em rubídio. O diagrama mostra, também, baixos teores de rubídio e césio nas biotitas e moscovitas da rocha encaixante. Os teores de césio são, também, baixos nas micas da zona mural, zona intermediária e corpos de substituição da Pederneira. Portanto, a evolução



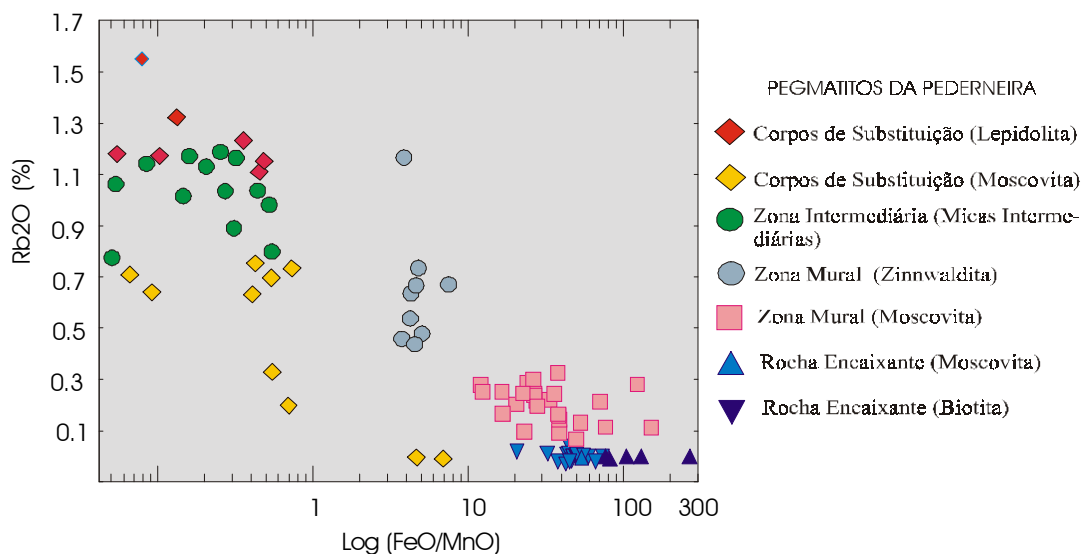
**Gráfico 12 – Diagrama  $Rb_2O \times Cs_2O$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



geoquímica do processo pegmatítico reflete a mudança de comportamento dos álcalis em diferentes estágios e o conseqüente surgimento dos componentes voláteis durante os últimos estágios. Considera-se que o processo geoquímico se desenvolve numa série de estágios químicos, caracterizando diferentes fácies de enriquecimento de álcalis.

- No diagrama  $\text{Log} (FeO/MnO) \times Rb_2O$  (Gráfico 13), observa-se um *trend* de correlação inversa, evidenciando um processo de substituição.

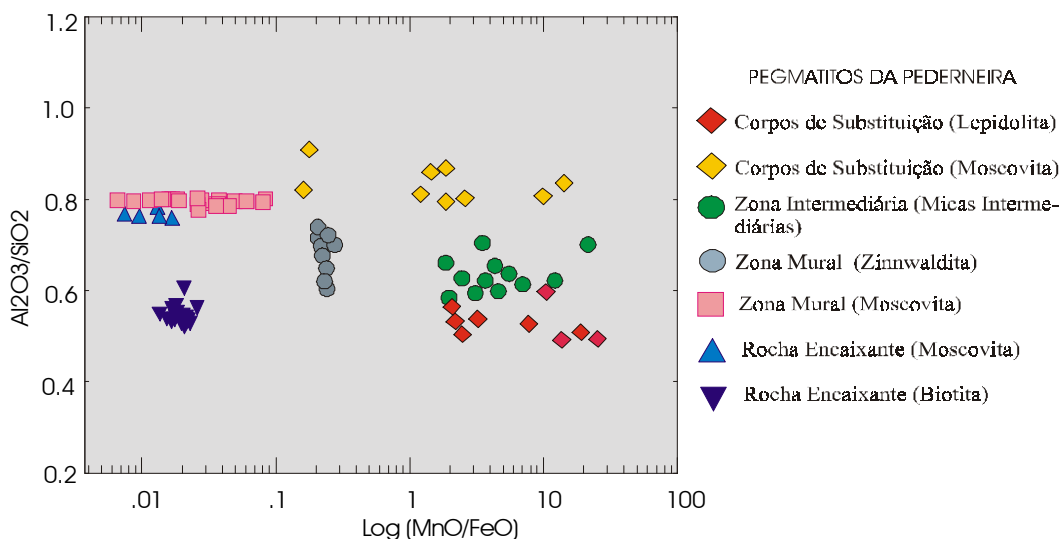
**Gráfico 13 – Diagrama  $\text{Log} (FeO/MnO) \times Rb_2O$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



A evolução do sistema pegmatítico avança no sentido da zona mural para os corpos de substituição, destacando-se o decréscimo de ferro das micas e o aumento de manganês e rubídio neste mineral. As micas estão bem discriminadas neste gráfico e evoluem para os termos mais diferenciados com acentuado decréscimo dos teores de ferro. O estabelecimento dessas feições geoquímicas é devido as diferenças de conteúdo deste elemento raro (rubídio), refletindo as mudanças de condições ambientais na formação do pegmatito, onde tornou-se possível a introdução e concentração do rubídio nas micas de formação tardias.

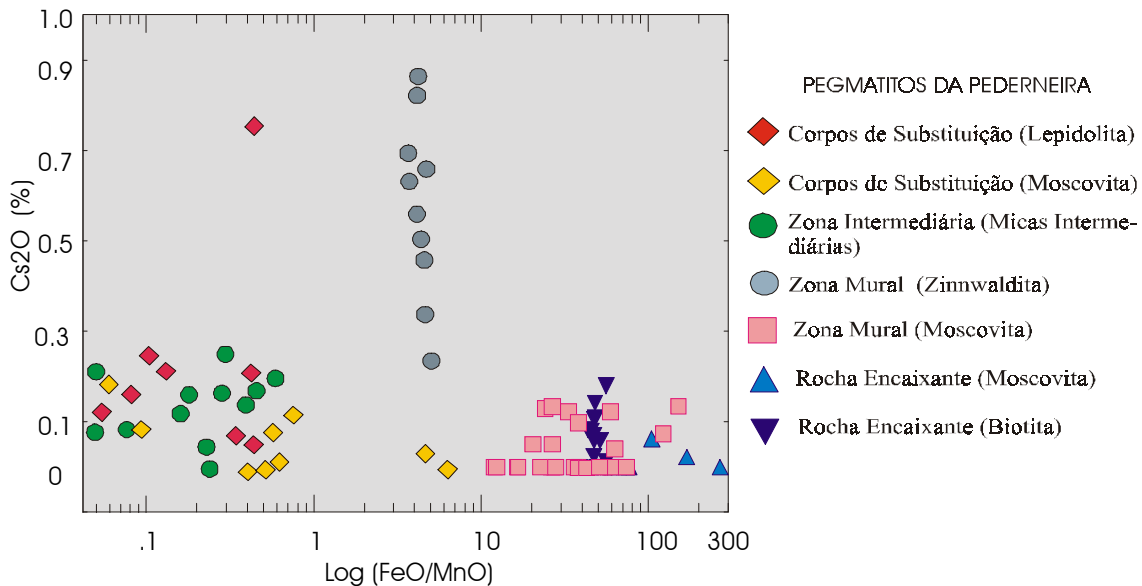
- O diagrama  $\text{Log} (\text{MnO}/\text{FeO}) \times (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)$  (Gráfico 14) permite divisar os diversos tipos de micas, da menos aluminosa biotita a mais aluminosa moscovita, incluindo as micas intermediárias de teores médios em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Nos corpos pegmatíticos da Pederneira, parece indicar que há uma série contínua de micas entre as lepidolitas (26 a 28 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e as moscovitas (36 a 38% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Nas várias zonas deste pegmatito, o aumento de manganês está associado a um decréscimo de ferro e aumento significativo de rubídio. O gráfico ilustra o enriquecimento de manganês nas micas da zona intermediária e dos corpos de substituição, sugerindo ser um elemento importante durante o processo de fracionamento do sistema pegmatítico.

**Gráfico 14 – Diagrama  $\text{Log} (\text{MnO}/\text{FeO}) \times \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_2\text{O}$  das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



- O diagrama  $\text{Log} (\text{FeO}/\text{MnO}) \times (\text{Cs}_2\text{O})$  (Gráfico 15) mostra que o césio está disperso nas micas de várias zonas do pegmatito, exceção feita às zinnwalditas da zona mural, em que existe um certo enriquecimento deste elemento. Por outro lado, as micas da zona mural e rocha encaixante são mais

**Gráfico 15 – Diagrama Log (FeO/MnO) x Cs<sub>2</sub>O das micas dos Pegmatitos da Pederneira**

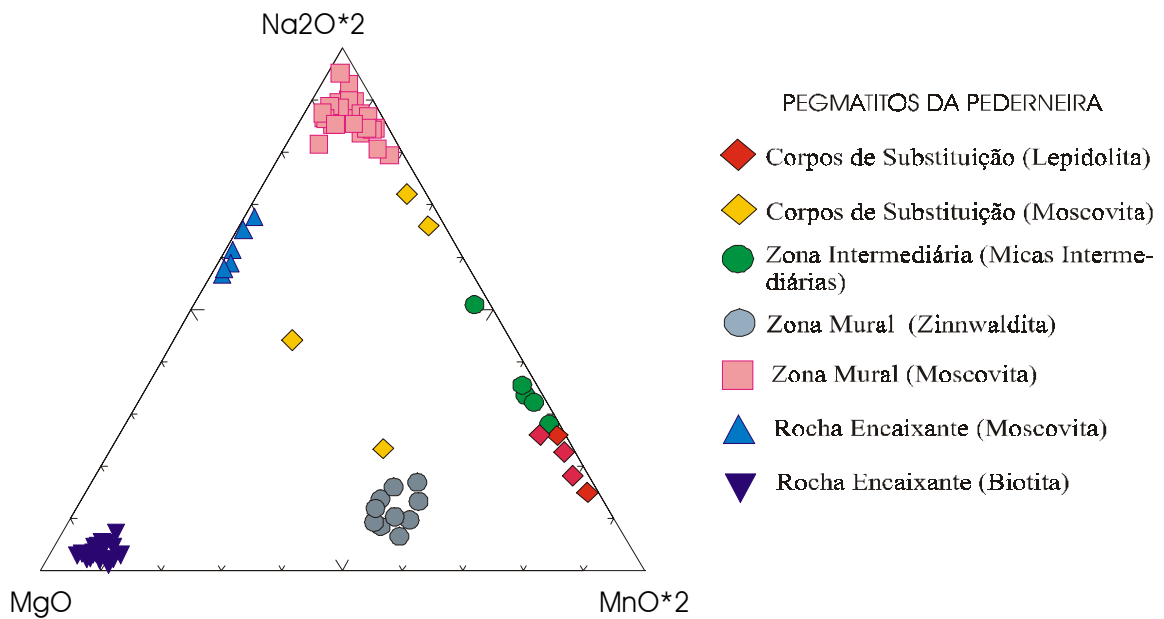


ricas em ferro do que as micas de outras zonas do pegmatito, demonstrando que a cristalização das micas evoluiu com o decréscimo do ferro e aumento de manganês. Este elemento mostra uma maior disponibilidade de se concentrar nas estruturas das micas trioctaédricas do que nas micas dioctaédricas. Isto indica que houve uma evolução geoquímica do ambiente com uma maior concentração do manganês nos estágios tardios de cristalização.

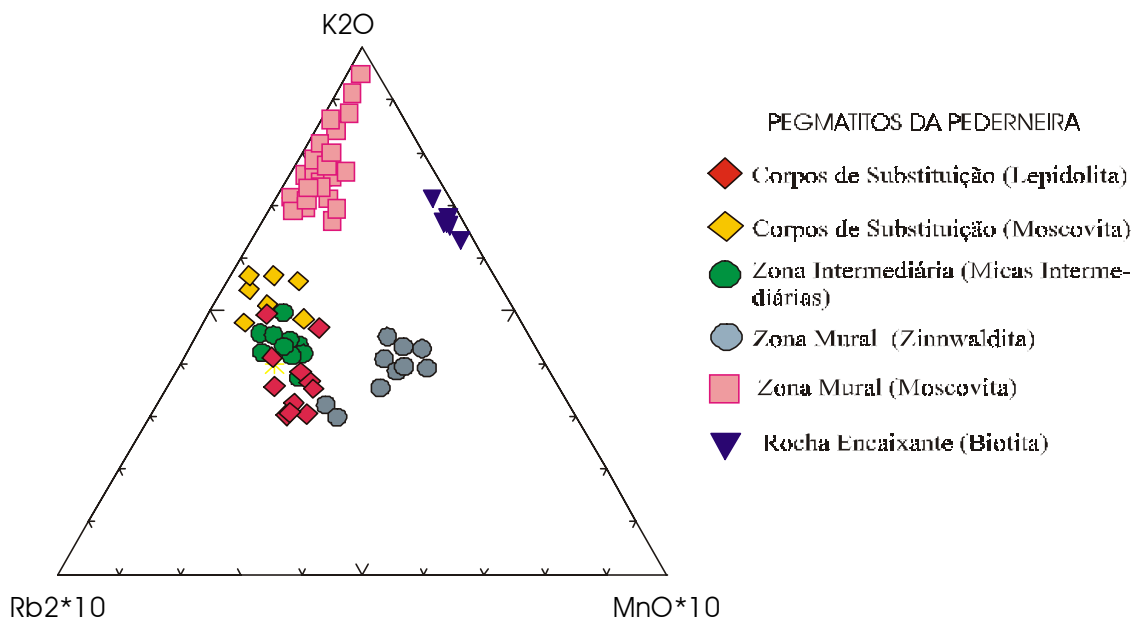
• Os diagramas ternários ( $\text{MgO} \times \text{Na}_2\text{O} \times 2 \times \text{MnO} \times 2$ ), ( $\text{Rb}_2\text{O} \times 10 \times \text{K}_2\text{O} \times \text{MnO} \times 10$ ) e ( $\text{Rb}_2\text{O} \times \text{Na}_2\text{O} \times \text{MnO}$ ) estão ilustrados nos Gráficos 16, 17 e 18. Estes gráficos confirmam as tendências já observadas. As maiores concentrações de magnésio verificam-se nas biotitas, as de sódio e potássio nas moscovitas da zona mural e as de rubídio nas lepidolitas dos corpos de substituição. Estes relacionamentos sugerem que a cristalização fracionada seja o mecanismo predominante dos processos que regem o Sistema Pegmatítico da Pederneira. Os processos de substituição condicionaram a formação de micas tardias durante a evolução interna do sistema. Nessa sucessão de estágios alcalinos, verifica-se, em primeiro lugar, uma substituição de um estágio por outro, por meio de cristalizações sucessivas e, depois, segue-se o processo metassomático. Por outro lado, as zinnwalditas formadas, na zona mais externa, estão caracterizadas por apresentar concentrações mais elevadas de ferro, magnésio e céσιο em relação às lepidolitas da zona mais interna do pegmatito. Já as lepidolitas apresentam teores mais elevados em rubídio e manganês. Isto parece indicar que as zinnwalditas foram geradas num ambiente relativamente pobre em rubídio e rico em céσιο, sendo provável que se tenha uma origem a partir do processo de refluxo de fluidos residuais,

provenientes das soluções que migraram da zona central para a zona externa. Na zona central, as soluções pegmatíticas foram depletadas em rubídio com a formação das lepidolitas, tornando o líquido residual mais enriquecido de céσιο, pois não há formação de minerais de céσιο (pollucita) neste local. Estas feições geoquímicas são semelhantes às estudadas e observadas por Quéméneur (1998), feitas em outros pegmatitos desta província, como é o caso dos Pegmatitos Urubu e José de Linto na região de Araçuaí.

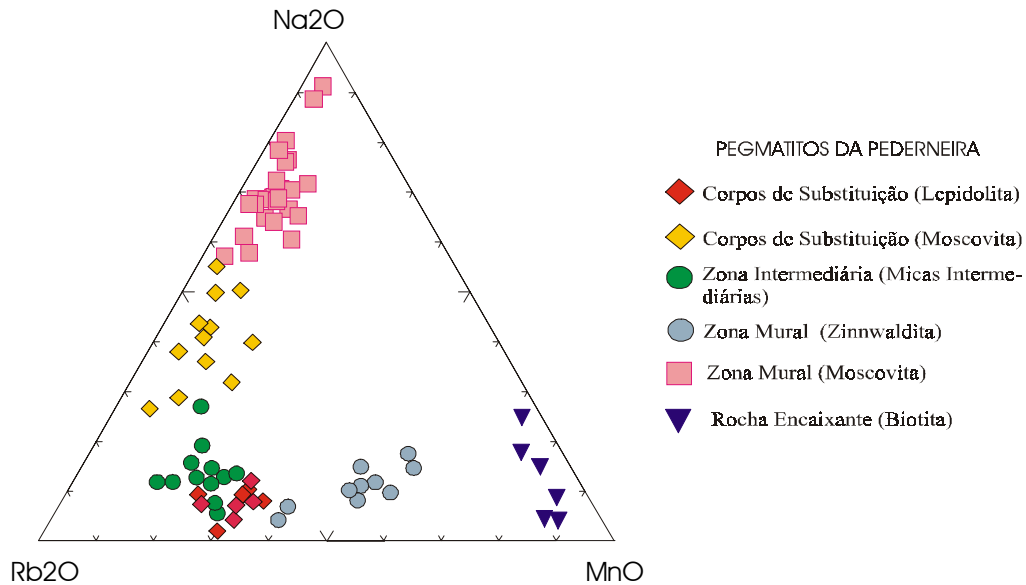
**Gráfico 16 – Diagrama ( $MgO \times Na_2O \times 2 \times MnO \times 2$ ) das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



**Gráfico 17 – Diagrama ( $Rb_2O \times 10 \times K_2O \times MnO \times 10$ ) das micas dos Pegmatitos da Pederneira**

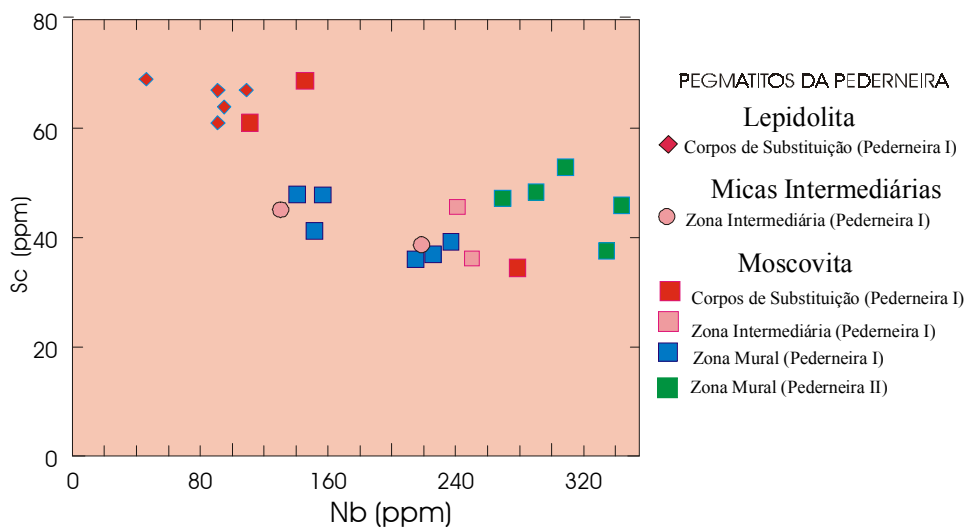


**Gráfico 18 – Diagrama (Rb<sub>2</sub>O x Na<sub>2</sub>O x MnO) das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



• Considerando os dados de fluorescência de raios X, o diagrama de Nb<sub>x</sub>Sc (Gráfico 19) apresentou a melhor variação de teores, comparando com os outros diagramas. Por outro lado, os demais elementos traços não foram representados em gráfico, devido conter pequena variação composicional. Os resultados analíticos obtidos tiveram certas limitações como a não detecção do bário e o grande número de amostras com valores limitados de rubídio pelo nível superior de detecção de 1.000 ppm.

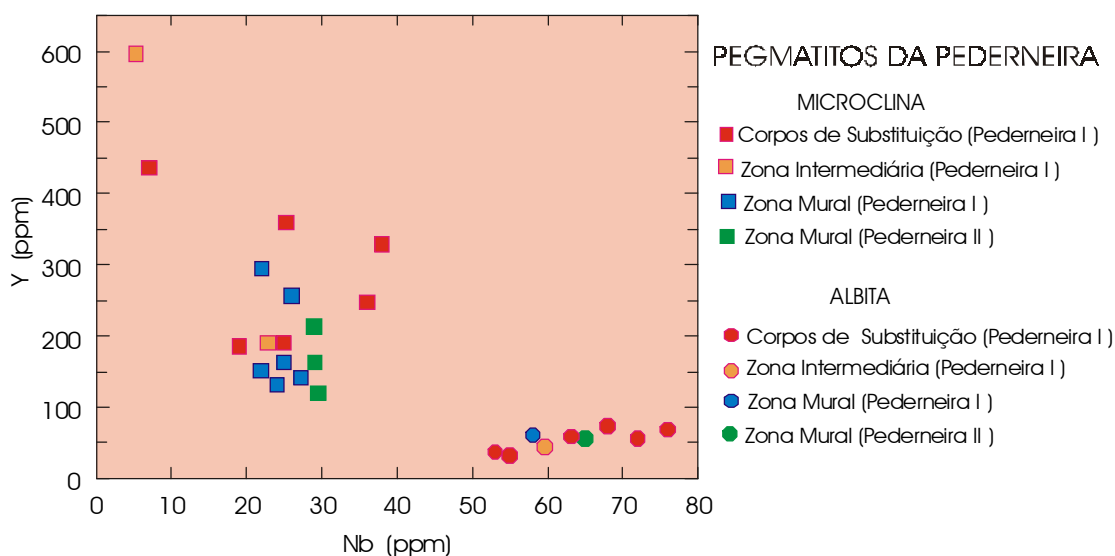
**Gráfico 19 – Diagrama Nb x Sc das micas dos Pegmatitos da Pederneira**



O diagrama Nb x Sc (Gráfico 19) reflete um *trend* de correlação inversa. As moscovitas da zona mural do Pegmatito da Pederneira II apresentam-se mais enriquecidas de nióbio do que as micas das outras zonas do Pegmatito da Pederneira I. Entretanto, as micas dos corpos de substituição (lepidolitas e moscovitas) estão mais enriquecidas em escândio, significando que o processo geoquímico evoluiu no sentido do enriquecimento deste elemento. A evolução do processo pegmatítico teria ocorrido através de sucessivas cristalizações no estágio inicial e, por meio de processos metassomáticos, num estágio mais tardio. As moscovitas da zona mural da Pederneira II apresentam um maior enriquecimento de nióbio do que as micas de outras zonas da Pederneira I. Por outro lado, as micas dos corpos de substituição revelam um crescente aumento de escândio, significando que o fracionamento das micas evoluiu no sentido do crescimento de teor deste elemento.

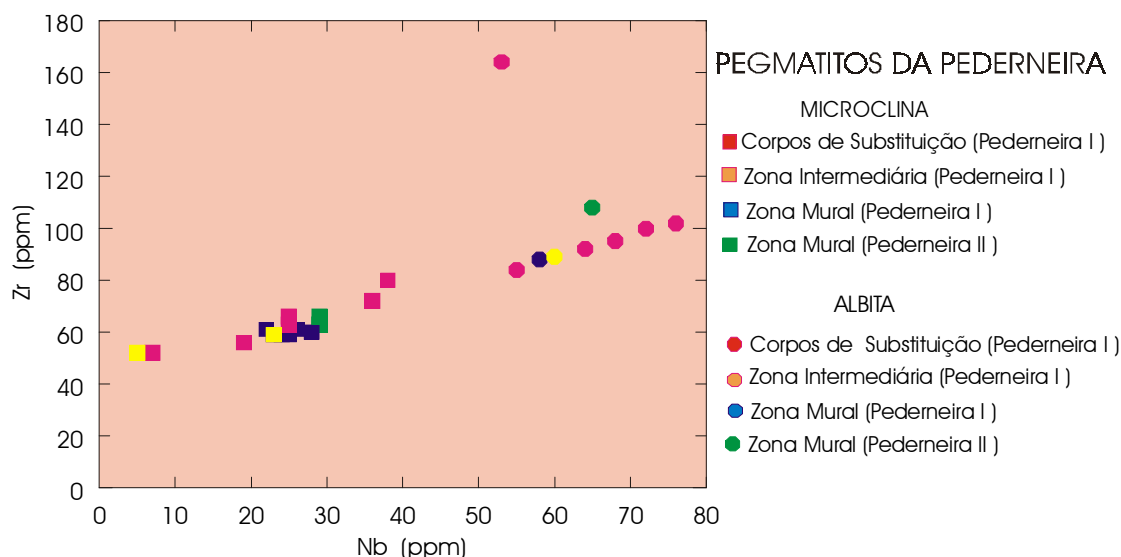
- Os dados geoquímicos de óxidos dos feldspatos não forneceram resultados discriminativos claros na plotagem em diagramas binários. Entretanto, nas análises químicas de elementos traços por fluorescência de raios X, foram selecionados dois diagramas: Nb x Y e Nb x Zr (Gráficos 20 e 21). O diagrama Nb x Y (Gráfico 20) separa claramente os dois minerais de feldspato: albita e microclina. A concentração do nióbio é mais acentuada na albita (50 a 80 ppm), ao passo que o ítrio é mais abundante na microclina (100 a 600 ppm). O Gráfico 20 ilustra esta correlação inversa entre nióbio e ítrio. Nos minerais de albita e moscovita, estes elementos apresentam-se distribuídos nas várias zonas dos corpos pegmatíticos, não havendo, contudo, uma separação nítida por zoneamento.

**Gráfico 20 – Diagrama Nb x Y dos feldspatos dos Pegmatitos da Pederneira**



• O diagrama Nb x Zr (Gráfico 21) mostra uma correlação positiva, apresentando teores mais elevados de nióbio e zircônio na albita. No Gráfico 21, o diagrama ilustra a separação dos minerais de albita e microclina. Existe a formação de um leve *trend* evolutivo, que pode significar o processo de substituição da microclina pela albita. Isto implica no desenvolvimento de processos metassomáticos nos pegmatitos causados por soluções de substituição. Os processos de albitização tornam possíveis a formação de muitos minerais raros.

**Gráfico 21 – Diagrama Nb x Zr dos feldspatos dos Pegmatitos da Pederneira**



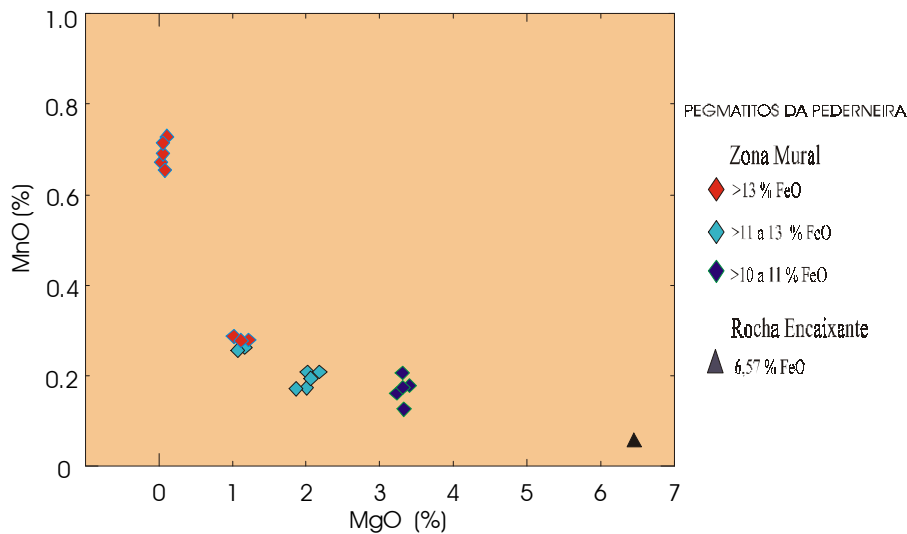
• As turmalinas negras analisadas por microsonda eletrônica foram estudadas, baseados em seus teores de ferro. As turmalinas foram separadas em quatro tipos:

- com teores > 13% de FeO;
- > 11 a 13% de FeO;
- >10 a 11% de FeO;
- 6,57 % de FeO (rocha encaixante).

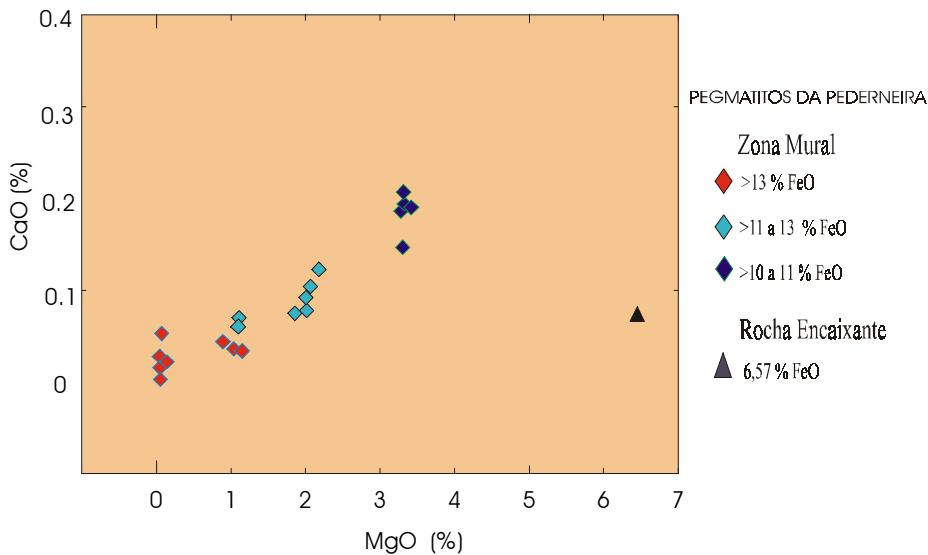
As análises químicas mais representativas foram obtidas pelos diagramas binários: MgOxMnO, MgOxNa<sub>2</sub>O, MgOxCaO e CaOxNa<sub>2</sub>O (Gráficos 22, 23, 24 e 25). As turmalinas, com teores mais elevados de ferro, estão relativamente mais enriquecidas de manganês e mais empobrecidas de sódio, magnésio e cálcio. A turmalina encontrada na rocha encaixante apresenta-se com maior concentração de magnésio e sódio do que as turmalinas dos pegmatitos. É provável que as turmalinas mais ricas de ferro sejam as mais evoluídas. Portanto, no curso da evolução geoquímica da



**Gráfico 22 – Diagrama MgO x MnO das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira**

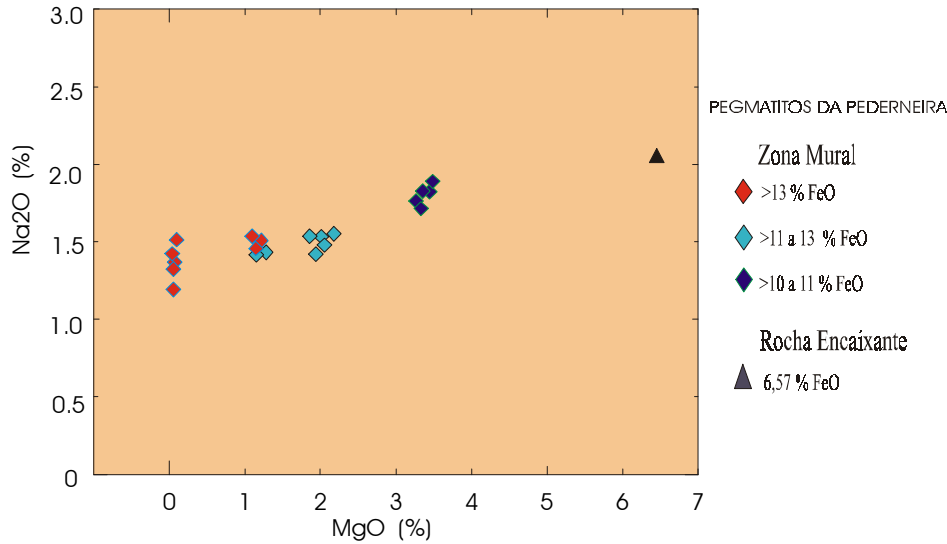


**Gráfico 23 – Diagrama MgO x Na<sub>2</sub>O das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira**

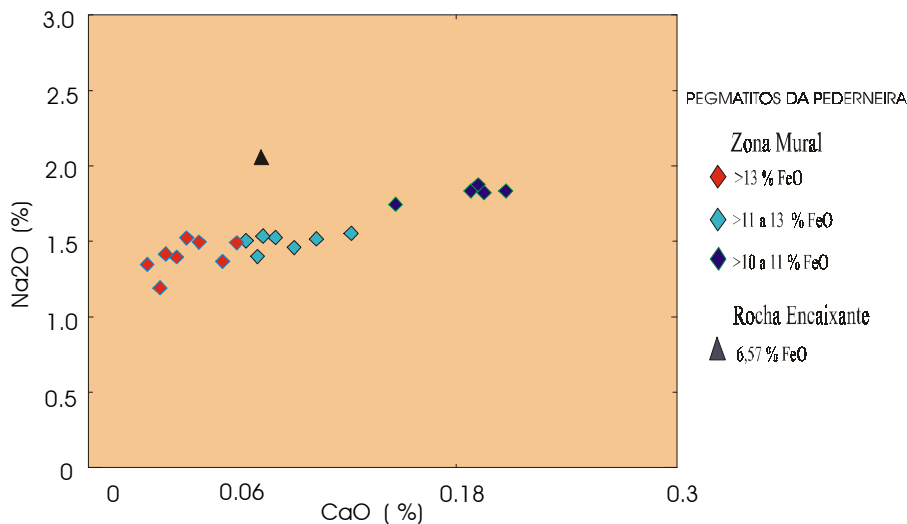


turmalina nos Pegmatitos da Pederneira, ocorre um decréscimo do conteúdo de magnésio, cálcio e sódio e aumento do conteúdo de ferro. Por outro lado, os parâmetros da cela unitária das turmalinas de coloração negra, representadas no diagrama de Epprecht (Gráfico 6), mostraram que estas turmalinas enquadram-se na série elbaíta-schorlita e que estão mais próximas da elbaíta. Isto parece implicar que, num determinado estágio da evolução geoquímica, haveria a reação do fluido altamente fracionado, rico em lítio e boro, com

**Gráfico 24 – Diagrama MgO x CaO das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira**



**Gráfico 25 – Diagrama CaO x Na2O das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira**



os minerais de biotita da rocha encaixante. O produto dessa reação resultaria na liberação do ferro das biotitas que seria assimilado no líquido residual. Depois, ocorreria a incorporação deste elemento nas turmalinas negras e nas moscovitas marrons ricas em ferro. As fases fluidas da turmalina foram identificadas nas análises de espectrografia de absorção de raios X no infravermelho, sendo determinadas as presenças de H<sub>2</sub>O, grupo OH<sup>-</sup>, hidrocarboneto e boro.

Com relação às análises de ferro da turmalina da Pederneira, existe uma certa semelhança com às do veio 3 da Mina do Cruzeiro, pois os teores de ferro são particularmente altos na zona mais interna do pegmatito, onde grande quantidade de cristais grandes de schorlita são formados, conforme dados de César Mendes et al. (1998). O enriquecimento de manganês, também, é comum em zonas mais interiores desses diques.

## 12.1. GÊNESE DOS PEGMATITOS DA PEDERNEIRA

As características químicas, mineralógicas, texturais e estruturais dos Pegmatitos da Pederneira tornaram-se possível fazer considerações sobre sua gênese.

A formação dos Pegmatitos da Pederneira é melhor compreendida por meio de uma fusão silicática residual de origem magmática, rica em componentes voláteis e elementos raros. A cristalização das zonas primárias segue o modelo de Jahns (1982), começando da zona de borda para o centro. A cristalização teria sido desenvolvida através da cristalização progressiva de frações que deram origem aos pegmatitos. Essa cristalização ocorreu, possivelmente, sem influência da rocha encaixante. Este fato é confirmado pelo contato abrupto entre a rocha hospedeira e os pegmatitos.

Na zona marginal e zona mural, ocorre a predominância de microclina que se encontra associada ao quartzo e moscovita e turmalina negra. Nesta zona, surgem locais que exibem textura de intercrescimento gráfico de K-feldspato e quartzo. Na seqüência da cristalização fracionada, com o aumento dos componentes voláteis e diminuição da viscosidade do magma, ocorre associação mineralógica de albita, microclina e quartzo na zona intermediária. A microclina está pertitizada e com textura de grãos mais grossos do que nas zonas anteriores. Ainda nesta zona, ocorrem a mica marrom, turmalina negra e granada que estão distribuídas erratically na massa feldspática. As turmalinas indicam ser originadas por cristalização primária, sendo formadas a partir de fusões silicatadas portadoras de boro. E o núcleo é constituído essencialmente por quartzo leitoso.

Segundo Ginsburg (1979), com seqüência do desenvolvimento do processo pegmatítico, a composição dos minerais formadores de rocha muda regularmente: o plagioclásio é substituído por microclina e este por espodumênio, quartzo ou quartzo e moscovita; então dá-se o processo de albitização, o qual é seguido por greisenização e lepidolitização. Pode-se notar que toda variedade mineralógica é causada principalmente pela presença de álcalis (Na, Ca, K, Li), água e flúor.

Nesse estágio, o magma residual tornou-se enriquecido em componentes voláteis e minerais raros como rubídio, cézio, lítio e boro. Entretanto, uma parte importante do material é ainda composta pelos

elementos: silício, alumínio, potássio e sódio. Nessa fase, ocorre a formação dos corpos de substituição da Pederneira, apresentando associação mineralógica constituída por lepidolita, cleavelandita verde-azulada, microclina, quartzo e turmalina corada (verde-rosa). A liberação de fluido supercrítico como boro pode ser responsável pela geração de geodos (caldeirões) e preenchimentos de fraturas, dando origem às turmalinas de interesses gemológicos e zonas mineralizadas em metais raros. Outros minerais, citados na literatura, são formados nesta unidade, como amblygonita-montebrosita, berilo róseo, columbita-tantalita e fosfato (apatita).

O boro foi identificado nas análises de turmalina por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Este elemento exerce um importante papel no processo pegmatítico nos estágios iniciais e tardios, pois a turmalina negra é constante nas zonas murais e intermediárias e as turmalinas coloridas (verdes, rosas e azuis) ocorrem nos geodos dos corpos de substituição da Pederneira.

Os teores de céσιο são relativamente baixos na parte mais interna do corpo pegmatítico da Pederneira, enquanto que, existe um certo enriquecimento deste elemento na zona mais externa. A não formação de minerais de céσιο (pollucita) neste jazimento sugere o enriquecimento do céσιο nos fluidos residuais. Estes fluidos, sob pressão confinada, migraram da zona central para a zona externa por processo de refluxo de fluidos residuais. Os teores relativamente elevados de céσιο na zinnwaldita da zona mural confirmam esta evolução.

A mudança do comportamento dos álcalis em diferentes estágios do processo e o aparecimento dos voláteis durante os últimos estágios caracterizaram a evolução geoquímica do Sistema Pegmatítico da Pederneira. Assim, pode-se considerar que o processo geoquímico se desenvolveu numa série de estágios químicos, cada um sendo caracterizado pelo enriquecimento em álcalis e acompanhados de elementos raros. O rubídio, lítio e céσιο são elementos que entraram na formação dos minerais tardios. Os elementos ferro, magnésio e cálcio sofreram um decréscimo no sentido em que se verifica a evolução, enquanto que o manganês, rubídio e lítio ocorrem um aumento de teores da zona externa para o centro. Particularmente, o céσιο migrou da zona do centro para a zona externa através do processo de refluxo de fluidos residuais, culminando com a formação das zinnwalditas.

A evolução geoquímica do processo pegmatítico ocorreu a partir de fusões residuais e que o processo pode-se desenvolver num sistema semi-fechado, mas que é possível sofrer pequenas influências da rocha encaixante. Os dados espectrais de absorção de raios X no infravermelho de minerais dos Pegmatitos da Pederneira indicam a presença de fluidos, formados por hidrocarbonetos, possivelmente, metano e CO<sub>2</sub>. É provável que houve dissolução de rochas calciossilicáticas no líquido residual, pois existe

ocorrência desta rocha a 500 metros no sudoeste do pegmatito (amostra SS-251 e Fotomicrografia 2). O enriquecimento de ferro nas moscovitas marrons e turmalinas negras podem indicar que houve assimilação do ferro no líquido residual, sendo proveniente da reação desse líquido com as biotitas da rocha encaixante.

É grande a possibilidade desse pegmatito complexo e altamente diferenciado ser proveniente de corpos graníticos não aflorantes da geração de granito tipo Santa Rosa. Pois, existe ocorrência deste granito a 19 km de distância dos Pegmatitos da Pederneira, situado no sul de São José da Safira. Por outro lado, no extremo nordeste da Folha de Santa Maria do Suaçuí, são mais abundantes a presença desses granitos que constituem na fonte geradora de todos os pegmatitos do Campo Pegmatito Serra do Cruzeiro.

Os pegmatitos de origem anatética são caracterizados por pegmatitos de origem simples e com teores relativamente altos de cálcio, bário e estrôncio, sendo incipiente o fracionamento de álcalis raros. São corpos autóctones e estão inseridos em ambientes metamórficos de alto grau ( fácies anfíbolito alto a granulito), conforme concepção de pesquisadores relatados no capítulo 8. Ao contrário desta concepção, os corpos pegmatíticos da Pederneira apresentam uma estrutura heterogênea com teores baixos de cálcio e estrôncio e ausência de bário, de acordo com os dados de microsonda eletrônica e fluorescência de raios X. Os pegmatitos estão inseridos nas supracrustais como uma cobertura brasileira de idade neoproterozóica, com grau metamórfico de fraco a médio. Estas evidências mostram que estes pegmatitos não têm origem anatética.

Os Pegmatitos da Pederneira estão enquadrados nos pegmatitos classificados como portadores de elementos raros, classificação de Ginsburg (1979, 1984), situando-se nas formações com metamorfismo do tipo abukuma de baixa pressão, gerados por fracionamento de granitos alóctones diferenciados. Os pegmatitos estão encaixados em rochas de fácies xisto verde a anfíbolito, sob condição de temperatura entre 500 a 650°C, pressão variando de 2 a 4 kbars e profundidade de 7 a 13 km.

Os minerais de espodumênio, lepidolita, zinnwaldita, micas intermediárias e turmalina encontrados neste corpo caracterizam a presença de elementos de lítio, rubídio, céσιο e boro, os quais integram aos fluidos do magma residual. O líquido residual seria gerado durante a cristalização da massa granítica e a migração feita através das rochas encaixantes da Formação São Tomé, preenchendo locais de descontinuidade. No Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, os Pegmatitos do Cruzeiro, Aricanga e Pederneira são os mais econômicos e, possivelmente, estão mais distantes da fonte granítica. Estes pegmatitos apresentam um grau de fracionamento mais elevado em relação, por exemplo, aos Pegmatitos da Terra Branca, Safirinha, Marcelo I e outros mais próximos do granito Santa Rosa.

## Capítulo 13

# CONCLUSÕES

---

**A**s observações e os resultados obtidos nos Pegmatitos da Pederneira levaram às seguintes conclusões:

### 1) Geologia

- Os Pegmatitos da Pederneira estão encaixados no quartzo-biotita xisto da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce. A foliação da encaixante apresenta direção de N80W e mergulho de 25° SW. As atitudes variam por causa da deformação originada pela intrusão do corpo pegmatítico, apresentando mergulhos verticais a subverticais;

- Na área de estudo, ocorrem dois pegmatitos denominados de Pederneira I (Mina) e Pederneira II (Garimpo). O Pegmatito da Pederneira I é um pegmatito de composição ácida (classificação de Landes, 1933), complexo e com estrutura zonada. Apresenta zona de borda, zona mural, zona intermediária e núcleo, além de corpos de substituição, indicando ser um pegmatito de grau de fracionamento elevado. Já o Pegmatito da Pederneira II é um corpo simples, pouco diferenciado;

- O corpo principal possui cerca de 150 metros de extensão, 20 metros de espessura e, aproximadamente, 40 metros de largura, sendo enquadrado como um jazimento de tamanho grande, segundo classificação de Issa Filho, Moura & Fanton (1980);

- Os Pegmatitos da Pederneira estão bem distantes da rocha fonte granítica, sendo classificados como pegmatitos exteriores, segundo classificação de Gevers (1936). Estes pegmatitos são provenientes da geração de granito tipo Santa Rosa, possivelmente, de corpos não aflorantes;

- Existe ocorrência do granito a 19 km de distância dos Pegmatitos da Pederneira, situado no sul de São José da Safira. Por outro lado, no extremo nordeste da Folha de Santa Maria do Suaçuí, é mais abundante a presença deste tipo de granito que se parece constituir na fonte geradora de todos os pegmatitos do Campo Pegmatito Serra do Cruzeiro.

### 2) Espectroscopia de Absorção no Infravermelho

- Nos gráficos de infravermelho dos feldspatos, as bandas de frequência entre 700 a 800  $\text{cm}^{-1}$  apresentam diferenças nítidas que permitiram identificar os minerais de feldspato: microclina e albita;

- A maioria das micas identificadas foram de moscovita, com exceção das amostras das micas lilás (PD-14, PD-26, PD-46 e PD-53) que apresentam

uma estrutura de transição. Porém, os dados de microsonda eletrônica identificaram como sendo de micas intermediárias, lepidolita e zinnwaldita;

- Duas regiões do infravermelho caracterizaram as vibrações moleculares d'água. A primeira refere-se às bandas de estiramento O-H, correspondendo às variações entre 3.400 a 3.470  $\text{cm}^{-1}$  e 3.520 a 3.600  $\text{cm}^{-1}$ , indicando que a água tenha sido absorvida na estrutura molecular do mineral. A segunda refere-se à banda de dobramento O-H, compreendida entre 1.610 a 1.640  $\text{cm}^{-1}$ , significando a presença de água adsorvida;

- Os gráficos de infravermelho do feldspato e da mica revelaram a existência de fases fluidas. A composição dos fluidos é formada principalmente por  $\text{H}_2\text{O}$ . Algumas amostras apresentam bandas de absorção nas regiões de 2.830  $\text{cm}^{-1}$  a 2.920  $\text{cm}^{-1}$ , caracterizando a presença de hidrocarboneto, provavelmente, metano. Apenas uma amostra apresenta registro na faixa espectral de 2.350  $\text{cm}^{-1}$ , indicando a presença de dióxido de carbono;

- Os gráficos de infravermelho possibilitaram identificar as estruturas silicáticas dos minerais de berilo, turmalina e granada. Os gráficos de turmalina permitiram identificar, também, os componentes voláteis do fluido gerador desses corpos pegmatíticos. Os componentes detectados foram:  $\text{CO}_2$ , OH, B e  $\text{CH}_4$ ;

- Os dados espectrais de absorção de raios X no infravermelho de minerais dos Pegmatitos da Pederneira indicaram a presença de fluidos, formados por hidrocarbonetos, possivelmente, metano e  $\text{CO}_2$ . As evidências desses componentes nos fluidos podem significar que tenham sido originados pela dissolução de rochas calciossilicáticas no líquido residual, pois existe ocorrência desta rocha a 500 metros no sudoeste do pegmatito (amostra SS-251 e Fotomicrografia 2);

- O centro da turmalina verde-rosa foi identificado como moscovita pelo gráfico de infravermelho. Portanto, ocorre uma intensa substituição de turmalina pela moscovita no sentido do centro para as bordas dos cristais de turmalina.

### 3) Difração de Raios X

- Os resultados indicam que, no ambiente pegmatítico da Pederneira, o politipo  $2M_1$  caracteriza tanto as micas dioctaédricas (moscovitas) como as micas trioctaédricas, lepidolitas (estas últimas exibindo estruturas mistas);

- Os parâmetros da cela unitária da microclina e albita apresentam variações que podem ter sido causadas por misturas naturais, provenientes de minerais micropertitizados ou por minerais secundários oriundos do processo de intemperização ou mesmo pelo grau de triclinicidade dos feldspatos de diferentes zonas dos pegmatitos;



- Algumas amostras de microclina e de albita apresentaram valores incompatíveis com seus respectivos padrões. É provável que muitas dessas amostras estejam sofrendo processos de intemperização, tendo os resultados sido influenciados pela caulinita e outros minerais secundários;

- A turmalina foi identificada no gráfico de Epprechet (1953) como da série schorlita-elbaíta. Nota-se, também, que os valores estão mais próximos da molécula da elbaíta. Apesar da coloração negra das amostras, os dados obtidos são intermediários entre a schorlita e a elbaíta. Os minerais de turmalinas podem estar caracterizando dois estágios de formação do pegmatito. A turmalina negra (schorlita) estaria indicando o processo de cristalização primária, enquanto que as turmalinas coradas, o ambiente dos corpos de substituição tardios.

#### 4) Geoquímica

- Os dados geoquímicos de microsonda sobre rubídio e céσιο indicam que os Pegmatitos da Pederneira apresentam um grau de fracionamento bem diferenciado;

- O Pegmatito da Pederneira I está enquadrado no pegmatito classificado como portador de elementos raros, classificação de Ginsburg (1979, 1984), situando-se nas formações com metamorfismo do tipo abukuma de baixa pressão, gerados por fracionamento de granitos alóctones diferenciados. Pode ser classificado, também, como pegmatito enriquecido em elementos raros (tipo 3 de Rudenko et al., 1975 e tipo complexo a lepidolita de Černý, 1990);

- As características químicas, observadas nos minerais estudados, mostram que as espécies minerais dos pegmatitos apresentam um sentido evolutivo à medida que se segue da zona externa para o centro do corpo. Assim, os teores de manganês e rubídio das micas aumentam da borda para o centro, enquanto que os teores de ferro, magnésio e cálcio decrescem;

- A presença da lepidolita e micas intermediárias nos corpos de substituição indicam a existência de lítio, evidenciando a evolução normal do sistema pegmatítico. Entretanto, os teores de céσιο são relativamente baixos na parte mais interna do corpo pegmatítico, uma vez que ocorre um certo enriquecimento deste elemento na zona externa. A não formação de minerais de céσιο (pollucita) neste jazimento sugere que deva ter ocorrido um enriquecimento do céσιο nos fluidos residuais e, que sob pressão confinada, os fluidos teriam migrado da zona central para a zona externa no processo de refluxo de fluidos residuais. Os teores relativamente elevados de céσιο na zinnwaldita da zona mural parece confirmar esta evolução;

- Nos diagramas geoquímicos ternários (Gráficos 16, 17 e 18), têm-se confirmadas as tendências normais de concentrações dos elementos. O magnésio está mais concentrado nas biotitas da rocha encaixante, o sódio e

potássio estão mais enriquecidos nas moscovitas da zona mural e o rubídio está mais concentrado nas lepidolitas dos corpos de substituição. Estes dados implicam que a evolução do Sistema Pegmatítico da Pederneira tenha sido originado a partir do fracionamento do líquido residual;

- No estudo da fluorescência de raios X, os diagramas de  $Nb_xY$  e  $Nb_xZr$  separam claramente os minerais de feldspato: albita e microclina. Os minerais de albita apresentam-se mais enriquecidos em nióbio e zircônio, enquanto que a microclina contém uma maior concentração de ítrio;

- O bário praticamente não foi detectado nos corpos pegmatíticos, exceção feita a algumas amostras que apresentaram baixos teores. Entretanto, as rochas encaixantes contêm valores relativamente altos. A ausência de bário no pegmatito vem confirmar a natureza do líquido como proveniente do líquido de fracionamento residual;

- Os diagramas de turmalina indicam que as turmalinas mais ferríferas, maiores que 13% de  $FeO$ , estão relativamente mais enriquecidas de manganês e mais empobrecidas de sódio, magnésio e cálcio. As turmalinas da rocha encaixante mostram baixos teores de ferro, porém, são mais ricas em magnésio e sódio do que as turmalinas do pegmatito. É provável que as turmalinas mais ricas de ferro sejam as mais evoluídas. Isto parece implicar que, num determinado estágio da evolução geoquímica, haveria a reação do fluido altamente fracionado, rico em lítio e boro, com as biotitas da rocha encaixante. O produto dessa reação resultaria na liberação do ferro das biotitas que seria assimilado no líquido residual. Depois, ocorreria a incorporação deste elemento nas turmalinas negras e nas moscovitas marrons ricas em ferro;

- O boro foi identificado nas análises de turmalina por espectroscopia de absorção de raios X no infravermelho. Este elemento exerce um papel importante no processo pegmatítico nos estágios iniciais e tardios, pois a turmalina negra tem presença constante nas zonas murais e intermediárias e as turmalinas coloridas (verdes, rosas e azuis) ocorrem nos geodos dos corpos de substituição. A liberação do fluido supercrítico, contendo elemento como boro, pode ter sido responsável pela geração de geodos (caldeirões) e preenchimentos de fraturas, dando origem às turmalinas de interesse gemológico e às zonas mineralizadas em metais raros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AHRENS, L.H. 1952. The use of ionization potentials. In: *Geochemica et Cosmochemica*. v.2, p.155-169.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1967. *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro: DNPM/DGM. b.241, p.36.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1968. Evolução Tectônica do Centro-Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior. In: *Academia Brasileira de Ciência. Anais...* Rio de Janeiro. v.40, p.285-295. (Suplemento).
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. 1976. The upper precambrian of South America. In: *Boletim do Instituto de Geociências da USP*. São Paulo: USP. v.7, p.45-80.
- ALMEIDA, F. F. M. de et al. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 2. Atas 8*. Campina Grande: SBG. p.363-391.
- AMARAL, G. 1984. Províncias Tapajós e Rio Branco. Coordenadores Fernando Flávio Marques de Almeida e Yociteru Hasui. In: *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgar Blücher. p.6-35.
- ANDERSEN, O. 1931. Discussions of certain phases of the genesis of pegmatites. In: *Norsk Geol. Tidssdr.* v.12, p.1-56.
- ANDRADE, G.F.; DANNI, J.C.M. 1978. As mineralizações de estanho, berílio e cobre de granito da Serra Branca, Cavalcante, GO. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Anais..* Recife: SBG. v.6, p.2579-2593.
- AURISICCHIO, C. 1994. Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. In: *The Canadian Mineralogist*.v.32, p.55-68.

- BAILEY, S.W. 1984. Classification and structures of the micas. In: *Micas; Reviews in mineralogy*. Blacksburg: Mineralogical Society of America, v.13, p.1-12.
- BAILEY, S.W. 1984. Appendix – X-Ray powder patterns of micas. In: *Micas; reviews in mineralogy*. Blacksburg: Mineralogical Society of America. v.13, p.573-584.
- BARBOSA, A.L de M. et al. 1964. *Geologia das Quadrículas de Barra do Cuieté e Conselheiro Pena, Minas Gerais*. Rio de Janeiro: DNPM/DGM. b.64, 285p.
- BARTH, T. F. W. *Feldspars*. 1969. New York, London: Wiley Interscience, p.261.
- BIONDI, João. C. 1986. *Depósitos de Minerais Metálicos de Filiação Magmática*. São Paulo: CBMM. p.602.
- BRAGG, W. L. 1937. *Atomic Structure of Minerals*. Corncil University Press.
- BRAUN, O. P.G. 1980. Revisão estratigráfica na área central de Goiás. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Anais...* Balneário de Camboriú: SBG. v.2, p.705-719.
- BRAUN, O. P.G. 1981. Uma discussão sobre alguns aspectos geotectônicos e estratigráficos das seqüências pré-cambrianas do centro-oeste de Goiás. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 1. Atas...*Goiânia: SBG.v.2, p.9-27.
- BRITO NEVES, B. B.; PESSOA, R. J. R. 1974. Considerações sobre as rochas graníticas do Nordeste Oriental. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Anais...* Porto Alegre: SBG. v.4, p.143-157.
- CAMERON E.N. et al. 1949. Internal structure of granitic pegmatites. In: *Economia Geology*. Monograph 2, 115p.

- CASTAÑEDA, C. 1997. *Caracterização Mineralógica das Turmalinas do Distrito Pegmatítico de Araçuaí, MG*. Ouro Preto: DG/UFOP. p.149. (Dissertação de mestrado).
- CASTAÑEDA, C.; CARVALHO, L. T. 1992. *Geologia do Pegmatito Turmalinífero da Pederneira e do Garimpo de Água-Marinha da Fazenda Colonião, São José da Safira, Minas Gerais – Uma Introdução*. Ouro Preto: DEGEO/UFOP. 135p.
- CASTRO, L. de O. 1995. Arqueterra um supercontinente mesoarqueano. In: *Arqueterra*. Belo Horizonte: Imprensa. p.125-154.
- CDM/RN.1989.*Projeto Cadastramento dos corpos pegmatíticos, mármores e granitos do Rio Grande do Norte*. Natal. 72p. (Inédito).
- CÉSAR MENDES, J. 1995. *Mineralogia e Gênese dos Pegmatitos Turmaliníferos da Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais*. São Paulo: USP/IG. 260p. (Tese de doutoramento).
- CÉSAR MENDES, J. et al. 1998. Compositional variation of tourmaline in the granitic pegmatite dykes of the Cruzeiro Mine, Minas Gerais, Brazil. In: *The Canadian Mineralogist*. Ouro Preto: UFOP/DEGEO. p.415-431.
- ČERNÝ P. 1982 a. Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: *Granitic Pegmatites in Science and Industry*. Winnipeg: MAC Short Course Handbook. v.8, p.1-39.
- ČERNÝ P.1982b. Petrogenesis of granitic pegmatites. In: *Granitic Pegmatite in Science and Industry*. Winnipeg: MAC Short Course Handbook. v.8, p.405-461.
- ČERNÝ P. 1990. Distribution affiliation and derivation of rare-element Granitic pegmatites in the Canadian Shield. In: *Geologische Rundschau*. v.79, p.183-226.
- ČERNÝ P. 1991b. Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to Global environments and petrogenesis. In: *Geoscience Canada*. v.18, p.68-81.

- ČERNÝ 1993a. Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. In: *Ore Deposit Models*. Geoscience Canada Reprint Series 6. v.II, p.29-47.
- ČERNÝ 1993b. Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional global environments and petrogenesis. In: *Ore Deposit Models*. Geoscience Canada Reprint Series 6, v.II, p.49-62.
- CORREIA NEVES, J. M. 1962. *Pegmatitos de Região da Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu)*. Coimbra: Editora Coimbra. n.54, p.153. (Memórias e Notícias).
- CORREIA NEVES, J. M. 1981. *Pegmatitos Graníticos: morfologia, mineralogia, geoquímica, gênese e metalogênese*. Belo Horizonte: IGC/UFMG. p.262. (Tese apresentada em concurso a Professor Titular da UFMG).
- CORREIA NEVES, J. M. 1989. *Pegmatitos*. Belo Horizonte: UFMG/IGC. 25p. (Inédito).
- CORREIA NEVES, J. M. 1991. *Fundamentos Teóricos*. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 1991. v.1, p.220. (Inédito).
- CORREIA NEVES, J.M.; PEDROSA SOARES, A.C.; MARCIANO, V.R. P.R.O. 1986. *A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais*. In: *Revista Brasileira Geociências*. Belo Horizonte: IGC/UFMG. v.16, n.1, p.106-118.
- COSTA, F.E.V.T.B.da.1973. *Perfil analítico da columbita-tantalita*. Rio de Janeiro: DNPM. n.3, 43p.
- DAMON, P.E.; KULP, J.L. 1958. Excess helium and argon in beryl and others minerals. In: *American Mineralogist*. v.43, p.433-459.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J.1963. *Rock-forming Minerals; Framework Silicates*. 4.ed. London: Longmans. v.4, p.435.

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1966. *Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução*. Traduzido por Luís E. Nabais Conde. Lisboa: Fundação Gulbenkian, p.558.
- EBERT, H.D. 1970. The Precambrian geology of the Borborema belt, State of Paraíba and Rio Grande do Norte, Northeast Brazil. In: *Geologische Rundschau*. 59 (3). p.1299-1326.
- EBERT, H.D. et al. 1993. Arcabouço estrutural e tectônica transpressiva das faixas móveis da borda sul e sudeste do Cráton do São Francisco e da sintaxe de Guaxupé. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*. Belo Horizonte: SBG-MG. b.12, p.71-166.
- EPPRECHT, W. 1953. Die Gitterkonstanten der turmaline. In: *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. v.33, p.481-505.
- ERNST, W.G. 1971. *Minerais e Rochas*. Tradução e Adaptação de Evaristo Ribeiro Filho. São Paulo: Blücher. p.162.
- FERSMAN, A.E. 1951. *Les pegmatites, leur importance scientifique et pratique*. In: Acad. Sci. URSS, 1931. Traduzido para o francês por R. du Trien de Terdonck e J. Thoureau. Universidade de Louvain, Bélgica, v.3, 675p.
- FILHO, Salim J. et al. 1987. Vegetação. As Regiões Fitoecológicas, sua Natureza e seus Recursos Econômicos. In: *Levantamento de Recursos Naturais – Folha SE.24 Rio Doce*. Rio de Janeiro: IBGE. v.34, p.353-416.
- FLEISCHER, M. 1995. Glossary of mineral species. In: *The Mineralogical Record Inc*. Tucson. 270p.
- FONTES, C.Q. et al. 1978. *Projeto Jequitinhonha*. Belo Horizonte: CPRM. v.1, p.542.
- FOSTER, M. D. 1960. Layer charge relations in the dioctahedral and trioctahedral micas. In: *The American Mineralogist*. v.45, p.383-398.



- GARIBALDI, E. 1994. *Ocorrências Gemológicas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Real.116p.
- GEVERS, T.W.1936. Phases of mineralization in Namaqualand pegmatites. In: *Geol. Soc. South Africa Trans. And Proc.* p.331-377.
- GIBBS, G. V.; BRECK, D. W.; MEAGHER, E. P. 1968. Structural refinements of hydrous and anhydrous synthetic beryl,  $Al_2(Be_3Si_6)O_{18}$  and emerald  $Al_{1.9}Cr_{0.1}(Be_3Si_6)O_{18}$ . In: *Lithos*.v.1, p.275-285.
- GINSBURG, A. I. 1971. *Feições Geoquímicas Típicas do Processo Pegmatítico*. Porto Alegre: CAEG/UFRGS.30p.
- GINSBURG, A. I. 1984. The geological condition of the location and the formation of granitic pegmatites. In: *International Geological Congress*, 27. Canada. v.15, p.245-260.
- GINSBURG, A.I.; TIMOFEYEV, I.N.; FELDMAN, L.G.1979. Principle of geology of the granitic pegmatites. In: *Nedra Moscow*. p.296.
- GODOY, A.C. de. 1968. Mapa de ocorrências minerais do Estado de Goiás, com localização dos principais maciços básicos e/ou ultrabásicos. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 22. *Anais...* Belo Horizonte: SBG.p.223-229.
- GONZALES, C. T.; FERNANDEZ, M.; SANZ, J. 1988. Infrared and electron micropobe analysis in tourmalines. In: *Phys. Chem. Min.* v.15, p.452-460.
- GUIMARÃES, D.1965. *Princípios de Metalogênese e Geologia Econômica do Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. b.121, p.625.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.; COIMBRA, A.M.1975. The Ribeira Folded Belt. In: *Revista Brasileira de Geociências*. v.5, p.257-266.
- HAWTHORNE, F. C.; ČERNÝ P. 1982. The mica group. In: *Granitic Pegmatite in Science and Industry*. Winnipeg: MAC Short Course Handbook.v.8, p.63-98.

- HEINRICH, E. W. 1953. Zoning in pegmatite districts. In: *American Mineralogist*. v.38, p.68-87.
- ISSA FILHO, A.; MOURA, O.J.M.; FANTON, J.J. 1980. Reconhecimentos dos Pegmatitos da Província Oriental Brasileira, entre Aimorés e Itambacuri, MG. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Anais...* Balneário de Camboriú: SBG.v.3, p.1552-1563.
- JAHNS, R. H. 1955. The study of pegmatites. In: *Economic Geology*, 50th. Anniversary. v.2, p.1025-1130.
- JAHNS, R. H. 1982. Internal evolution of pegmatite bodies. In: *Granitic Pegmatites in Science and Industry*. Winnipeg: MAC Short Course Handbook. v.8, p.293-327.
- JOHNSTON JR., W.D. 1945. *Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil* Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. b.12, 85p.
- KLOOSTERMAN, J.B. 1970. Characterization of the tin-tantalum veins of Amapá Territory, Brazil. In: *Guiana Geol. Conference*, Proceed.8. paper 2, 13p.
- KÖPPEN, W. 1948. *Climatologia: Com un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Econômico. 478p.
- LANDES, K. K. 1933. Origin and classification of pegmatites. In: *American Mineralogist*. v.18, n.2, p.33-56, 95-103.
- LOPES NUNES, J. B. 1973. Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique. In: *Science de la Terre*. Nancy. n.26, p.261. (Mémoire).
- MARCIANO, V.R.P.O. 1985. *Contribuição ao Estudo da Mineralogia e Geoquímica de Pegmatitos da Região de Governador Valadares, Minas Gerais*. São Paulo: USP/IG.213p. (Dissertação de mestrado).

- MARINI, O. J. et al. 1977. Contribuição à geologia do pré-cambriano da Porção Central de Goiás. In: *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo: SBG. 7(4). p.304-324.
- MASON, B.H. 1971. *Princípios de Geoquímica*. Tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo: USP. p.403.
- MISI, A.; AZEVEDO, H.C.A. 1971. A província pegmatítica do extremo sul da Bahia. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 25. São Paulo: SBG. p.65. [Resumos das comunicações].
- MOENKE, H. 1966. *Mineralspektren*, Parts I and II. Berlin: Akademie-Verlag.
- MOURA, O. J.M. 1981. *Gems from Brazil*. Belo Horizonte: METAMIG, 68p.
- MOURA, O. J. M.; FANTON, J. J.; ARIOLI, E. A. 1978. Pesquisa de Pegmatitos na Serra do Urucum, Médio Rio Doce, MG. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30. *Anais...* Recife: SBG. v.4, p.1836-1850.
- MURDOCK, T.G.; HUNTER, C.E. 1944. *Mica na Região de Santa Maria do Suassuí, Estado de Minas Gerais*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. 27p. (Avulso 53).
- NETTO, C.; ARAÚJO, M. C. 1997. *Projeto Leste, Minas Gerais: Cadastramento Mineral: blocos 1 e 2*. Belo Horizonte: COMIG/CPRM. 74p. (Relatório preliminar).
- NETTO, C. et al. 1998. *Projeto Leste, Minas Gerais: Cadastramento de Recursos Minerais*. Belo Horizonte: CPRM/COMIG/ SEME.200p.
- NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE/DRNEA. 422 p. il.
- OLIVEIRA, N.S.M. 1996. *Os Pegmatitos Capoeira (RN): Mineralogia, Classificação e Considerações Genéticas*. Belo Horizonte: UFMG/IGC. 145p. (Dissertação de mestrado).

- PAIVA, Glycon de. 1946. *Províncias Pegmatíticas do Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. b.78, p.72.
- PECORA, W.T. et al. 1949. *Mica Deposits in Minas Gerais, Brazil*. U. S. Geol. Survey. b.964-c, 305p.
- PEDROSA SOARES, A. C. et al. 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) Belt. In: *Journal of South American Earth Sciences*. v. 6, n. ½, p.33-47.
- PEDROSA SOARES, A. C. et al. 1994. *Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Mineraias do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: SEME/COMIG. p.97.
- PIMENTA, D. 1966. *A Mata do Peçanha*. Belo Horizonte. p.15-16.
- PROCTOR, K. 1984. Gems pegmatites of Minas Gerais, Brazil: exploration, occurrence and aquamarine deposits. In: *Gems & Gemology*. v.20, p.78-100.
- PUTZER, H. 1976. *Metallogenetische Provinzen in Südamerika*. Stuttgart. E. Schweizerbartische Verlagsbuchhandlung. 318p.
- QUÉMÉNEUR, J.J.G. 1998. Micas trioctaédricas da zona marginal de dois pegmatitos da região de Araçuaí (MG) como indicadores de refluxo dos fluidos residuais. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 40. Belo Horizonte: SBG. p.285. [Anais].
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; BARAUD, R. 1987. Relatório Técnico Final Referente à Região de São José del Rei. In: *Avaliação das Províncias Pegmatíticas de Minas Gerais*. Belo Horizonte: IG/UFMG. p.174-187.
- QUÉMÉNEUR, J.J.G.; LAGACHE, M.; CORREIA NEVES, J.M. 1993. Le pegmatite Urubu Araçuaí, Minas Gerais (Brazil), exemple de pegmatite complex à petalite zonalite mineralogique et geochimie des micas et tourmalines. In: *C.R. Acad. Sc. Paris. Série II*, p.1425-1431.
- QUIRKE, T.T.; KREMERS, H.E. 1943. Pegmatite crystalization. In: *American Mineralogist*. v.28, p.571-580.

- RABELLO, C. de Q. 1945. Mina de Mica do Cruzeiro, Santa Maria do Suaçuí, Minas Gerais. In: *Mineração e Metalurgia*. v.9, n.52, p.171-176.
- RIBBE, P.H.1975. The chemistry, structure and nomenclature of feldspars. In: *Feldspar Mineralogy*. Mineral Society of America. Short Course Notes. v.2, p.1-205.
- RIBBE, P.H.1994. The crystal structures of the aluminum-silicate feldspars. In: Parson I. (Org.), *Feldspars and Their Reactions*. Kluwer Academic Publishers. p.1-49.
- RIBEIRO, L.F.S. 1995. *Relatório Final de Pesquisa*; Substância: Pegmatito. Belo Horizonte: GEMA. p.34. (Distritos e Municípios de Santa Maria do Suaçuí e São José da Safira, Estado de Minas Gerais).
- RILEY, C.M. 1967. Principles of ore deposition, In: *Our Mineral Resources*. 4.ed. New York: Wiley. cap.1, p.11-55.
- ROY, P.L.; DOTTIN, O.; MADON, H.L. 1964. *Estudo dos Pegmatitos do Rio Grande do Norte e da Paraíba*. Recife: SUDENE/DRN. 130p. (Série Geologia Econômica, Nº 1).
- RUDENKO, S .A. et al. 1975. Conditions of formation and controls of distribution of muscovite objects of the North-Baikal muscovite province, and some general problem of pegmatite consolidation. In: *Muscovite Pegmatites of the URSS*. Leningrado: Nauka. p.174-182.
- SÁ, J. H. da S. 1977. *Pegmatitos Litiníferos da Região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais*. São Paulo: IG/USP. 112p. (Tese de doutoramento).
- SANTOS, J.H.G. dos et al. 1987. Pedologia. Levantamento Exploratório de Solos. In: *Levantamento de Recursos Naturais - Folha SE.24 Rio Doce*. Rio de Janeiro: IBGE. v.34, p.229-352.
- SCHOBENHAUS, C. et al. 1984. *Geologia do Brasil; texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000*. Brasília: DNPM/DGM.501p.

- SCOVIL, Jeffrey. 1997. Tourmaline Pederneira mine Minas Gerais, Brazil. In: *The Mineralogical Record*. Tucson. v.28, n.3, (Ilustração de capa).
- SHIMODA, S. 1970. A hydromuscovite from the Shakanai mine, Akita Prefecture, Japan. In: *Clays & Clay Minerals*. v.31, p.209-235.
- SIGA JR., O. et al. 1982. O padrão geológico-geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da Faixa Ribeira, a norte do Rio de Janeiro In: *Cong. Lat. Geol.* Buenos Aires. v.1, p. 349-370.
- SILVA, J. M. R. et al. 1987. *Projeto RADAMBRASIL, Folha SE-24: Rio Doce*. Rio de Janeiro: IBGE. v.34, p.23-174.
- SILVA, S. L.da. 1997. *Folha Santa Maria do Suaçuí – SE.23-Z-B-III*, escala 1:100.000. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM. 31p. (Projeto Leste de Minas Gerais).
- SMITH, J. V. 1974. *Feldspar Minerals; Crystal Structure and Physical Properties*. New York: Springer-Verlag. v.1, p.627.
- SMITH, J.V.; YODER, H. S. 1956. Experimental and theoretical studies of the mica polymorphs. In: *Mineralogical Magazine*.v.31, p.209-235.
- SOLODOV, N. A. 1962. *Internal structure and geochemistry of rare-element granitic pegmatites*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR. p.243.
- SOLODOV, N. A. 1964. The criteria of evaluation of rare-metal granite pegmatites. In: *International Geological Congress, 22*.New Delhi. v.4, p.193-212.
- SOLODOV, N.A. 1971. *Scientific principles of perspective evaluation of rare-element pegmatites*. Moscow: Nauka. p.292.
- SOUZA, E.C. de.1985. Granitos e mineralizações associadas. In: *Publicação Técnica CPRM*. Rio de Janeiro: CPRM. v.1, n.1, p.5-104.
- STEWART, G.W.; FLINT, N. K. 1954. – *U. S. Geol. Surv.* Prof. Paper 255.

- SUSZCZYNSKI, E.F. 1975. *Os Recursos Minerais Reais e Potenciais do Brasil e sua Metalogenia*. Rio de Janeiro: Interciência. p.533.
- TAYLOR, W. H. 1933. The structure of sanidine and other feldspars. In: *Zeitsch. Kristallographie*.v.85, p.425-442.
- TURNER, F. J.; VERHOOGEN, John. 1960. Pegmatites. In: *Igneous and Metamorphic Petrology*. 2.ed. New York: McGraw-Hill.cap.14, p.402-430.
- ÜEBEL, P. J. 1977. Internal structure of pegmatites, its origin and nomenclature. In: *N. Jb. Miner. Abh.* v.31, p.318-332.
- UHLEIN, A.; TROMPETTE, R. 1997. As faixas dobradas Araçuaí-Paramirim e os eventos geológicos no limite meso-neoproterozóico. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9. Anais...*Ouro Preto: SBG/MG. p.34-35.
- VARLAMOFF, N. 1972. Central and West African rare-metal granitic pegmatites, related aplites, quartz veins and mineral deposits. In: *Mineralium Deposita*. v.7, p.202-216.
- WERNICK, E.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de. 1978. As regiões de dobramento nordeste e sudeste. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 30. *Anais...* Recife: SBG-PE. v.6, p.2493-2507.
- WERNICK, E. et al.1981. A tectônica rígida do fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda Sul e Sudeste do Cráton do São Francisco: tentativa de modelo preliminar. In: *SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MAGINAIS*. Salvador: SBG-BA. p.164-168. (Anais).
- WINCHELL, A. N. 1933. *Elements of Optical Mineralogy*. 3.ed. New York: John Wiley and Sons. Part II, p.183.
- WINKLER, H.G.F. 1977. *Petrogênese das rochas metamórficas*. Traduzido por Carlos Burger Júnior. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher. p.254.



WOOD, D. L.; NASSAU, K. 1968. The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. In: *American Mineralogist*. v.53, p.777-800.

YODER, H.S.; EUGSTER, H.P. 1955. Synthetic and natural muscovites. In: *Geochimica et Cosmochimica*. p.225-280. (Acta 8).

ANEXO I

Características e Principais Minerais do  
Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro  
(Tabelas 5a e 5b)



**Tabela 5a – Principais minerais econômicos das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro.**

NOME	COORDENADAS UTM (E)	COORDENADAS UTM (N)	MUNICÍPIO	PRINCIPAIS MINERAIS ECONÔMICOS
Aricanga	798146	7976945	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul, verde e vermelha, morganita, cristal de rocha e quartzo.
Cruzeiro	797610	7978228	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul, verde e vermelha, morganita, cristal de rocha, água marinha, columbita e mica.
Lava-Pés	796297	7972863	Santa Maria do Suaçuí.	Granada e morganita.
Marcelo I	805878	7972020	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha e quartzo.
Pederneira I	797600	7982500	Santa Maria do Suaçuí	Amostra de coleção, turmalinas azul, verde e vermelha, morganita, albita, feldspato e quartzo.
Rolador	797512	7978212	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul, verde e vermelha, morganita, cristal de rocha, água marinha e berilo.
VT 1	797828	7974298	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, morganita, cristal de rocha, kunzita, columbita, quartzo, berilo e água marinha.
Alair	806521	7972888	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, berilo, água marinha, cristal de rocha, columbita e quartzo.
Amuro	806130	7965650	São José da Safira	Quartzo (lascas).
Benedito	808210	7981002	Água Boa	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha, quartzo, columbita e berilo.
Brejo	800170	7976817	São José da Safira	Moscovita, feldspato, diopsídio, caulim e quartzo.
Cabeceira do Safirinha	797290	7974920	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, columbita, berilo e água marinha.

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

<b>Tabela 5a – Principais minerais econômicos das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)</b>				
NOME	COORDENADAS UTM (E)	COORDENADAS UTM (N)	MUNICÍPIO	PRINCIPAIS MINERAIS ECONÔMICOS
Cavalo Morto	798570	7977835	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha, berilo e quartzo.
Chafic	800146	7977853	São José da Safira	Amostra de coleção, cristal de rocha, água marinha, turmalina verde e berilo.
Chiar	797793	7975222	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, morganita, cristal de rocha, água marinha, kunzita, berilo, columbita e quartzo.
Chinha	805880	7969024	São José da Safira	Água marinha, turmalina verde, berilo e cristal de rocha.
Criminoso	806686	7986579	Água Boa	Amostra de coleção, cristal de rocha, água marinha, feldspato e feldspato gráfico.
Córrego do Barro I	802830	7978227	São José da Safira	Água marinha, cristal de rocha, berilo e columbita.
Córrego do Barro II	802664	7978341	São José da Safira	Água marinha, cristal de rocha, berilo e columbita.
Córrego do Barro III	804363	7977756	São José da Safira	Água marinha, cristal de rocha, berilo e columbita.
Guiazinho	806860	7987600	São José da Safira	Cristal de rocha, columbita e berilo.
Lincoln	809004	7981300	Água Boa	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha, berilo, columbita e quartzo.
Marcelo II	805785	7972175	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha e morganita.
Palmeira	802608	7985468	Água Boa	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha e berilo.
Palmeirão	803029	7984383	Água Boa	Amostra de coleção, turmalina verde, cristal de rocha, água marinha, feldspato, columbita e berilo.
Pederneira II	797641	7982872	Santa Maria do Suaçuí.	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, morganita, água marinha e berilo.

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

**Tabela 5a – Principais minerais econômicos das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)**

NOME	COORDENADAS UTM (E)	COORDENADAS UTM (N)	UMNICÍPIO	PRINCIPAIS MINERAIS ECONÔMICOS
Pitimba	805670	7973023	São José da Safira	Amostra de coleção, cristal de rocha, turmalinas azul e verde e quartzo.
Safirão	798785	7977488	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha e morganita.
Safirinha	805964	7968947	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha, berilo, morganita e mica.
São Pedrão	804600	7966700	São José da Safira	Quartzo (lascas).
Sexta Feira I	800610	7978038	São José da Safira	Amostra de coleção, cristal de rocha e columbita.
Sexta Feira II	800748	7977879	São José da Safira	Amostra de coleção, cristal de rocha, turmalina verde, berilo, água marinha e columbita.
Terra Branca	806430	7969600	São José da Safira	Água marinha, cristal de rocha, berilo e columbita.
Toá	806089	7973106	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, columbita e quartzo.
Valdivino	805401	7975048	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha e quartzo.
Zé Alemão	807927	7980878	São José da Safira	Amostra de coleção, turmalinas azul e verde, cristal de rocha, água marinha, berilo, columbita, quartzo e mica.
Bandeira	796598	7976381	Santa Maria do Suaçuí.	Turmalina verde e cristal de rocha.
Beira Rio	806150	7985269	Água Boa	Cristal de rocha e quartzo.
Cassiano	805710	7968220	São José da Safira	Água marinha, cristal de rocha, berilo e turmalinas verde.

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

<b>Tabela 5a – Principais minerais econômicos das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)</b>				
NOME	COORDENADAS UTM (E)	COORDENADAS UTM (N)	MUNICÍPIO	PRINCIPAIS MINERAIS ECONÔMICOS
Colonião	805821	7985220	Água Boa	Água marinha, cristal de rocha, berilo, turmalina verde e morganita.
Cutia	807517	7970505	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Esmeralda	801260	7982913	Água Boa	Diopsídio.
Goiabeira	802423	7969271	São José da Safira	Turmalina verde, berilo e água marinha.
José Gonçalves	803740	7977398	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha, columbita e mica.
Milton Godinho	804308	7970482	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Molhado	806859	7970879	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Morcego	807098	7964234	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Mula Morta	796388	7976634	Santa Maria do Suaçuí	Turmalina verde e cristal de rocha.
Pedregal	807428	7984998	Água Boa	Turmalina verde e cristal de rocha, columbita e quartzo.
Perdido I	807191	7964983	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Perdido II	807656	7964914	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha e columbita.
Valdivino II	805264	7973554	São José da Safira	Água marinha, berilo, cristal de rocha.

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).



**Tabela 5b – Características das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro.**

NOME	TAMANHO DO JAZIMENTO	FORMA	ROCHA ENCAIXANTE	STATUS
Aricanga	Pegmatito grande	Tabular/ameboidal	Quartzito	Mina ativa
Cruzeiro	Pegmatito muito grande	Tabular/ameboidal	Quartzito	Mina ativa
Lava-Pés	Pegmatito grande	Tabular	Micaxisto	Mina ativa
Marcelo I	Pegmatito grande	Complexo Tabular	Micaxisto	Mina ativa
Pederneira I	Pegmatito grande	Tabular ramificado	Quartzo-biotita xisto	Mina ativa
Rolador	Pegmatito grande	Tabular	Quartzo xisto	Mina ativa
VT 1	Pegmatito médio	Tabular	Moscovita-biotita xisto	Mina ativa
Alair	Pegmatito grande	Tabular ramificado	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Amuro	Elúvio	Veios		Garimpo ativo
Benedito	Pegmatito grande	Lenticular	Micaxisto	Garimpo ativo
Brejo	Pegmatito médio	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo
Cabeceira do Safirinha	Pegmatito médio	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

**Tabela 5b – Características das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)**

NOME	TAMANHO DO JAZIMENTO	FORMA	ROCHA ENCAIXANTE	STATUS
Cavalo Morto	Pegmatito grande	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Chafic	Pegmatito médio	Lenticular/tabular	Quartzito	Garimpo ativo
Chiar	Pegmatito médio	Tabular	Moscovita-biotita xisto	Garimpo ativo
Chinha	Pegmatito grande	Lenticular/tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Criminoso	Pegmatito médio	Bolsão	Quartzo-biotita xisto	Garimpo ativo
Córrego do Barro I	Pegmatito pequeno	Lenticular	Estaurolita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Córrego do Barro II	Pegmatito pequeno	Lenticular	Estaurolita-cianita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Córrego do Barro III	Pegmatito pequeno	Lenticular	Quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Guiazinho	Pegmatito médio	Lenticular	Micaxisto	Garimpo ativo
Lincoln	Pegmatito grande	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Marcelo II	Pegmatito grande	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo
Palmeira	Pegmatito médio	Lenticular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Palmeirão	Pegmatito médio	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Pederneira II	Pegmatito grande	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

**Tabela 5b – Características das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)**

NOME	TAMANHO DO JAZIMENTO	FORMA	ROCHA ENCAIXANTE	STATUS
Pitimba	Pegmatito médio	Tabular ramificado	Estauroлита-cianita mica-xisto	Garimpo ativo
Safirão	Pegmatito grande	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo ativo
Safirinha	Pegmatito grande	Tabular	Estauroлита micaxisto	Garimpo ativo
São Pedrão	Elúvio	Veios		Garimpo ativo
Sexta Feira I	Pegmatito médio	Lenticular	Quartzito	Garimpo ativo
Sexta Feira II	Pegmatito grande	Tabular	Quartzito	Garimpo ativo
Terra Branca	Pegmatito grande	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo
Toá	Pegmatito grande	Tabular ramificado	Micaxisto	Garimpo ativo
Valdivino	Pegmatito grande	Tabular ramificado	Quartzo-granada mica-xisto	Garimpo ativo
Zé Alemão	Pegmatito grande	Tabular	Micaxisto	Garimpo ativo
Bandeira	Pegmatito médio	Tabular	Cianita xisto	Garimpo paralisado
Beira Rio	Pegmatito pequeno	Lenticular	Quartzo-cianita xisto	Garimpo paralisado
Cassiano	Pegmatito médio	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo paralisado

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

**Tabela 5b – Características das minas e garimpos do Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro. (continuação)**

NOME	TAMANHO DO JAZIMENTO	FORMA	ROCHA ENCAIXANTE	STATUS
Colonião	Pegmatito médio	Tabular/ameboidal	Quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Cutia	Pegmatito pequeno	Lenticular	Estaurolita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Esmeralda	Pegmatito médio		Quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Goiabeira	Pegmatito médio	Tabular	Quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
José Gonçalves	Pegmatito pequeno	Lenticular	Estaurolita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Milton Godinho	Pegmatito pequeno	Tabular	Cianita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Molhado	Pegmatito pequeno	Tabular	Estaurolita-quartzo micaxisto	Garimpo paralisado
Morcego	Pegmatito/ Elúvio médio	Tabular/disseminado	Moscovita xisto	Garimpo paralisado
Mula Morta	Pegmatito médio	Tabular	Cianita xisto	Garimpo paralisado
Pedregal	Pegmatito pequeno/Elúvio	Tabular/eluvial	Micaxisto	Garimpo paralisado
Perdido I	Elúvio	Disseminado	Moscovita xisto	Garimpo paralisado
Perdido II	Pegmatito/ Elúvio médio	Tabular/disseminado	Moscovita xisto	Garimpo paralisado
Valdivino II	Pegmatito médio	Tabular	Biotita-quartzo xisto	Garimpo paralisado

• Dados extraídos de Netto & Araújo (1997), Netto et al. (1998).

ANEXO II

Características das Amostras  
(Tabelas 7 a 11)

**Tabela 7 – Características das amostras de feldspato dos Pegmatitos da Pederneira.**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 1</b> (Microclina)	Pederneira I	3	Mineral de cor creme e hábito tabular. Tamanho da amostra é de 12 cm e apresenta brilho vítreo, opaco e clivagem.	Corpo de Substituição
<b>PD - 2</b> (Albita)	Pederneira I	3	Amostra com 10 cm de tamanho, contendo fratura irregular, aspecto maciço e coloração verde-azulada.	Corpo de Substituição
<b>PD - 4</b> (Albita)	Pederneira I	3	Mineral de matiz verde-azulada está agregado à mica lilás e ao quartzo. O tamanho da amostra é de 10 cm, possui brilho vítreo e aspecto maciço.	Corpo de Substituição
<b>PD - 6</b> (Microclina)	Pederneira I	3	Apresenta-se em forma tabular, com duas clivagens imperfeitas, opaca, cor creme e bem compacta. O tamanho da amostra é de 7 cm.	Corpo de Substituição
<b>PD - 29</b> (Microclina)	Pederneira I	1	Mineral branco com aspecto maciço, mostrando-se bastante alterado e com uma superfície rugosa. A amostra tem 6 cm de tamanho.	Zona Mural
<b>PD - 31</b> (Microclina)	Pederneira I	1	Trata-se de um feldspato pouco caulinizado, branco e clivagem imperfeita. Apresenta-se com hábito tabular e com superfície rugosa. A amostra tem 7 cm de tamanho.	Zona Mural
<b>PD - 34</b> (Microclina)	Pederneira I	1	Amostra de 12 cm de tamanho, cor branca, opaca e muito decomposta em caulim. Possui manchas marrons de impurezas e superfície rugosa.	Zona Mural

**Tabela 7 – Características das amostras de feldspato dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD – 36</b> (Micro-clina)	Pederneira I	1	Mineral branco, opaco, hábito tabular e com 6 cm de tamanho. Possui clivagem imperfeita, brilho vítreo e superfície rugosa.	Zona Mural
<b>PD – 38</b> (Micro-clina)	Pederneira I	2	Feldspato branco, opaco e forma tabular. Amostra tem 6 cm de tamanho e apresenta-se com brilho vítreo e pouca impureza.	Zona Mural
<b>PD - 41</b> (Micro-clina)	Pederneira I	2	Mineral com forma tabular, opaco, branco leitoso e com 8 cm de tamanho. Possui brilho vítreo, superfície rugosa e clivagem imperfeita.	Zona Mural
<b>PD - 43</b> (Micro-clina)	Pederneira I	3	Feldspato de coloração creme rosado, hábito tabular e massa compactada. O tamanho da amostra é de 10 cm e exibe brilho vítreo, clivagem imperfeita e fratura irregular, estando associado ao quartzo e albita verde-azulada.	Corpo de Substituição
<b>PD - 44</b> (Micro-clina)	Pederneira I	3	Mineral com 9 cm de tamanho, cor branca, opaco e brilho vítreo. Apresenta-se com hábito tabular e superfície rugosa.	Zona Intermediária
<b>PD - 48</b> (Albita)	Pederneira I	3	Mineral branco com hábito tabular, opaco e de 7 cm de tamanho. Possui superfície rugosa, clivagem imperfeita e brilho vítreo, estando associado ao quartzo.	Corpo de Substituição

**Tabela 7 – Características das amostras de feldspato dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 51</b> (Albita)	Pederneira I	4	Feldspato com hábito tabular, branco, opaco e com 8 cm de tamanho. Apresenta-se com clivagem imperfeita, brilho vítreo e superfície rugosas.	Zona Intermediária
<b>PD - 54</b> (Albita)	Pederneira I	4	Mineral de cor branca com 8 cm de tamanho, opaco, apresentando fratura irregular, brilho vítreo e aspecto maciço.	Corpo de Substituição
<b>PD - 63</b> (Microclina)	Pederneira I	3	Feldspato branco, hábito tabular, opaco e com 5 cm de tamanho. Possui clivagem imperfeita, brilho vítreo e superfície rugosa. Está associado à mica clara.	Corpo de Substituição
<b>PD - 66</b> (Albita)	Pederneira I	3	Mineral verde-azulado, com superfície rugosa e 8 cm de tamanho. Ocorre com aspecto maciço e fratura irregular. Está associado com quartzo, mica lilás e turmalina verde-rosa.	Corpo de Substituição
<b>PD - 67</b> (Albita)	Pederneira I	3	Feldspato opaco, aspecto maciço com 6 cm de tamanho. Possui clivagem imperfeita, brilho vítreo e superfície rugosa.	Corpo de Substituição
<b>PD - 69</b> (Microclina)	Pederneira I	4	Mineral de hábito tabular e de cor creme. Apresenta-se com brilho vítreo, opaco e clivagem. O tamanho da amostra é de 8 cm.	Corpo de Substituição
<b>PD - 70</b> (Microclina)	Pederneira I	4	Mineral verde-azulado, aspecto maciço e brilho vítreo. O tamanho da amostra é de 8 cm e está associado à mica lilás e ao quartzo.	Corpo de Substituição



**Tabela 7 – Características das amostras de feldspato dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 8</b> (Albita)	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Ocorre de forma maciça, com superfície rugosa e cor branca. O tamanho da amostra é de 7 cm e apresenta-se bastante intemperizada.	Zona Mural
<b>PD - 12</b> (Microclina)	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Mineral branco, bem compactado e hábito tabular. Apresenta-se brilho vítreo, clivagem e fratura irregular. O tamanho da amostra é de 8 cm.	Zona Intermediária
<b>PD - 15</b> (Albita)	Pederneira II	Superior	Ocorre em hábito lamelar, típico da cleavelandita, e com tamanho de 8 cm. Possui coloração branca e está agregada à moscovita.	Zona Mural
<b>PD - 17</b> (Microclina)	Pederneira II	Superior	Feldspato branco, brilho vítreo, forma tabular, clivagem e fratura irregular. Está associado ao quartzo. O tamanho da amostra é de 10 cm.	Zona Mural
<b>PD - 22</b> (Microclina)	Pederneira II	Inferior	Feldspato branco, bastante caulinizado, ocorrendo em massas opacas. A amostra possui 8 cm de tamanho, brilho vítreo e superfície áspera.	Zona Mural
<b>PD - 61</b> (Microclina)	Pederneira II	Inferior	Amostra com 10 cm de tamanho, sendo o feldspato constituído por uma massa compacta, branca e opaca. Apresenta-se com brilho vítreo, clivagem imperfeita e superfície rugosa. Ocorre junto ao quartzo formando um intercrescimento gráfico.	Zona Mural

**Tabela 8 – Características das amostras de moscovita e mica lilás dos Pegmatitos da Pederneira.**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 3</b>	Pederneira I	3	Mineral formado por placas com dimensão de 17 cm de seção basal. Mica incolor a marrom com manchas escuras, translúcidas e clivagem perfeita.	Corpo de Substituição
<b>PD - 5</b>	Pederneira I	3	Mica incolor com brilho vítreo. A amostra possui 5 cm de tamanho e encontra-se associado ao quartzo e feldspato. Tem inclusões de caulim entre as suas lamelas.	Corpo de Substituição
<b>PD - 14</b>	Pederneira I	2	Mica lilás que ocorre associada à albita. Amostra tem 9 cm de tamanho, brilho vítreo, cor lilás e manchas brancas.	Corpo de Substituição
<b>PD - 26</b>	Pederneira I	3	A amostra possui 8 cm de tamanho, manchas brancas e brilho vítreo. Mica de coloração lilás e que se acha associada à albita.	Corpo de Substituição
<b>PD - 28</b>	Pederneira I	1	Mica incolor a marrom de 5 cm de seção basal. Mineral com manchas escuras, translúcido, brilho vítreo e fratura irregular.	Zona Mural
<b>PD - 30</b>	Pederneira I	1	Mica incolor, translúcida e com tamanho de 6 cm. Contém caulim aderido entre as suas palhetas.	Zona Mural
<b>PD - 35</b>	Pederneira I	1	Mica incolor com hábito lamelar característico. A amostra tem 3 cm de seção basal e possui impurezas de caulim em suas palhetas, causando aspecto translúcido.	Zona Mural

**Tabela 8 – Características das amostras de moscovita e mica lilás dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD – 40</b>	Pederneira I	2	Mica esbranquiçada com tamanho de 9 cm de seção basal. Ocorrem impurezas de óxido de ferro em sua superfície.	Zona Mural
<b>PD – 42</b>	Pederneira I	3	Mica com brilho vítreo, fratura irregular, incolor a marrom. A amostra tem 9 cm de seção basal e ocorrem manchas escuras na sua superfície. É um mineral que apresenta parte transparente e outra parte translúcida.	Zona Mural
<b>PD – 46</b>	Pederneira I	3	Mica lilás que se encontra associada à albita branca. A amostra possui 7 cm de tamanho, brilho vítreo, cor lilás e manchas brancas.	Corpo de Substituição
<b>PD – 47</b>	Pederneira I	3	Mica incolor a marrom, constituído por lâminas de 5 cm de seção basal. O mineral é translúcido, possuindo manchas escuras, clivagens quebradiças, estando associado ao quartzo e feldspato.	Zona Intermediária
<b>PD – 50</b>	Pederneira I	4	Mica incolor a marrom, clivagem típica, transparente a translúcido e fratura irregular. A amostra tem 20 cm de seção basal, contendo, em sua superfície plana e lisa, manchas amarronzadas. Possui caulim aderente em suas lamelas.	Zona Mural
<b>PD – 52</b>	Pederneira I	4	Amostra tem uma dimensão de 7 cm de seção basal. Apresenta-se com formato de livro. A mica é incolor a marrom, ocorrendo como um mineral translúcido, de clivagens quebradiças e manchas escuras.	Zona Intermediária

**Tabela 8 – Características das amostras de moscovita e mica lilás dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD – 53</b>	Pederneira I	4	Mica lilás com 8 cm de tamanho. Contém manchas brancas, brilho vítreo e está associada à albita e ao quartzo.	Corpo de Substituição
<b>PD - 62</b>	Pederneira I	3	Mica incolor com 4 cm de seção basal. Apresenta-se em formato de livro, brilho vítreo, translúcido e superfície plana e lisa.	Corpo de Substituição
<b>PD– 65b</b>	Pederneira I	3	Mica rósea que se situa na parte interna da turmalina de cor verde-rosa. Cristal opaco, prismático, alterado, com 10 cm de tamanho.	Corpo de Substituição
<b>PD - 9</b>	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Mica marrom com placas de dimensão de 24 cm de seção basal. Encerra clivagem perfeita e superfície plana e lisa.	Zona Mural
<b>PD - 11</b>	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Amostra com dimensão de 14 cm de seção basal, incolor, contendo lâminas bem delgadas e quebradiças. Ocorre clivagem típica e inclusões de caulim em suas lamelas.	Zona Intermediária
<b>PD - 16</b>	Pederneira II	Superior	Mineral incolor com dimensão de 10 cm de seção basal. Apresenta-se com clivagem perfeita, brilho vítreo e lâminas finamente delgadas. Mica translúcida que tem caulim em suas lamelas.	Zona Mural
<b>PD - 21</b>	Pederneira II	Inferior	Mineral translúcido, incolor e com placas de 12 cm de seção basal. As lâminas são delgadas e contém impurezas, formando clivagem perfeita de palheta quebradiça.	Zona Mural

**Tabela 8 – Características das amostras de moscovita e mica lilás dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD – 56</b>	Pederneira II	Inferior	Mica incolor a esbranquiçada com brilho vítreo e fratura irregular. Ocorre em formato de livro com 7 cm de seção basal, apresentando-se com clivagem típica. O mineral é translúcido e está associado ao quartzo.	Zona Mural
<b>PD – 57</b>	Pederneira II	Inferior	Mica esverdeada em formato de livro com 10 cm de seção basal. Mineral translúcido, exibindo brilho vítreo e fratura irregular, estando associado ao feldspato.	Zona Mural
<b>PD – 58</b>	Pederneira II	Inferior	Mica incolor a marrom com brilho vítreo, fratura irregular e hábito em formato de livro. A amostra tem 5 cm de seção basal e encerra manchas marrons e caulim entre as suas lamelas.	Zona Mural
<b>PD – 59</b>	Pederneira II	Inferior	Mica esverdeada com 8 cm de seção basal. Apresenta-se com formato de livro, brilho vítreo e translúcido. Ocorrem manchas escuras e caulim nas suas clivagens.	Zona Mural

**Tabela 9 – Características das amostras de turmalina dos Pegmatitos da Pederneira.**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 27</b>	Pederneira I	1	Cristal opaco, estriado e negro, com tamanho de 4 a 5 cm. Ocorre em hábito prismático e ocorre associado ao quartzo.	Zona Mural
<b>PD - 32</b>	Pederneira I	1	Cristal prismático de cor negra com 3 cm de tamanho. Mineral de brilho vítreo, opaco, estriado e com impurezas de caulim.	Zona Mural
<b>PD - 33</b>	Pederneira I	1	Agregado de cristais de 3 a 4 cm de tamanho. Mineral opaco de coloração negra, brilho vítreo e forma prismática. Encontra-se associado ao quartzo, feldspato e impurezas de caulim.	Zona Mural
<b>PD - 37</b>	Pederneira I	1	Cristal negro, prismático e com 2 cm de tamanho. Possui fratura irregular e brilho vítreo.	Zona Mural
<b>PD - 39</b>	Pederneira I	2	Ocorre em uma massa granular de 3 a 4 cm de tamanho. Exibe cor negra e fratura irregular,	Zona Mural
<b>PD - 45</b>	Pederneira I	3	Ocorre com tamanho de 2 a 3 cm de tamanho em forma de massa granular. Apresenta-se de cor negra, sendo um mineral opaco com fratura irregular.	Zona Mural
<b>PD - 49</b>	Pederneira I	3	Mineral opaco, constituído por uma massa granular de cor negra, brilho vítreo e fratura irregular. Apresenta-se com cerca de 2 a 3 cm de tamanho.	Zona Intermediária

**Tabela 9 – Características das amostras de turmalina dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD- 65a</b>	Pederneira I	3	Amostra corresponde a parte externa, envoltório verde da turmalina bicolor verde-rosa.	Corpo de Substituição
<b>PD - 7</b>	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Cristal prismático de 5 cm de tamanho, opaco e de cor negra. Possui inclusões de feldspato.	Zona Mural
<b>PD - 64</b>	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Cristal prismático, negro e brilho vítreo. Estriado e com fratura irregular, ocorre associado ao feldspato e quartzo. O tamanho do agregado cristalino é de 2 a 3 cm.	Zona Intermediário
<b>PD - 18</b>	Pederneira II	Superior	Massa granular de cor negra com tamanho de 4 cm. O mineral apresenta-se com brilho vítreo, fratura irregular e superfície estriada.	Zona Mural
<b>PD - 20</b>	Pederneira II	Inferior	Massa granular de 3 cm, cor negra, opaco e brilho vítreo.	Zona Mural
<b>PD - 55</b>	Pederneira II	Inferior	Cristal prismático de cor negra, possuindo um tamanho de 4 cm. Exibe brilho vítreo, fratura irregular, estrias e está associado ao quartzo.	Zona Mural
<b>PD - 60</b>	Pederneira II	Superior	Mineral formado por uma massa granular de cor negra. Apresenta-se em torno de 2 a 3 cm de tamanho, fratura irregular, opaco e brilho vítreo.	Zona Mural

**Tabela 10 – Características das amostras de berilo e granada dos Pegmatitos da Pederneira.**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD - 68</b> (Granada)	Pederneira I	3	Ocorre em massa granular com cerca 3 a 4 cm de tamanho. Apresenta cor vermelha escura, brilho vítreo, opaco e fratura irregular. O mineral está associado ao quartzo, feldspato e turmalina negra.	Zona Intermediária
<b>PD -19</b> (Berilo)	Pederneira II	Superior	Mineral esverdeado com 11 cm de tamanho. Encontra-se associado ao quartzo.	Zona Mural



**Tabela 11 – Características das amostras da rocha encaixante (quartzo-biotita xisto) dos Pegmatitos da Pederneira.**

<b>Amostra</b>	<b>Pegmatito</b>	<b>Nível da Galeria</b>	<b>Característica Macroscópica</b>	<b>Zona de Ocorrência</b>
<b>PD -13</b>	Pederneira I	2	Possui superfície rugosa e nítida xistosidade. Rocha de cor cinza, contendo quartzo, biotita e feldspato.	Rocha Encaixante
<b>PD - 25</b>	Pederneira I	3	Amostra apresenta uma superfície rugosa com xistosidade. Rocha cinza contendo quartzo, biotita e feldspato.	Rocha Encaixante
<b>PD -10</b>	Pederneira (galeria do Venâncio)	2	Ocorre em massa granular com cerca 3 a 4 cm de tamanho. Apresenta cor rósea, brilho vítreo, opaco e fratura irregular. O mineral está associado ao quartzo, feldspato e turmalina negra.	Rocha Encaixante

ANEXO III

Difração de Raios X  
(Tabelas 12 a 17)

Tabela 12 – Dados da **microclina** dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária.

<b>AMOSTRA</b>	<b>A<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>B<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>C<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>α (GRAUS)</b>	<b>β (GRAUS)</b>	<b>α (GRAUS)</b>	<b>VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å<sup>3</sup>)</b>
<b>PD-1</b>	8,512	12,927	7,200	90,558	116,073	89,089	711,533
<b>PD-6</b>	8,523	12,963	7,188	90,461	115,985	88,969	714,332
<b>PD-12</b>	8,502	12,943	7,197	90,556	115,992	88,924	712,054
<b>PD-29</b>	8,555	12,941	7,200	90,603	115,952	88,808	717,090
<b>PD-34</b>	8,579	12,935	7,214	90,531	116,157	88,942	718,488
<b>PD-36</b>	8,530	12,940	7,208	90,738	116,086	88,611	714,275
<b>PD-38</b>	8,554	12,927	7,198	90,407	116,009	89,254	714,261
<b>PD-41</b>	8,512	12,944	7,180	90,536	115,998	88,909	711,394
<b>PD-43</b>	8,579	12,944	7,180	90,418	115,863	89,045	718,497
<b>PD-44</b>	8,547	12,936	7,196	90,457	115,895	88,977	713,209
<b>PD-69</b>	8,586	12,953	7,202	90,401	115,903	88,942	709,431

Tabela 13 - Dados da **albita** dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária.

<b>AMOSTRA</b>	<b>A<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>B<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>C<sub>0</sub> (Å)</b>	<b>α (GRAUS)</b>	<b>β (GRAUS)</b>	<b>α (GRAUS)</b>	<b>VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å<sup>3</sup>)</b>
<b>PD-2</b>	8,138	12,830	7,139	93,985	116,652	87,822	664,482
<b>PD-8</b>	8,520	13,000	7,201	90,536	116,404	89,011	712,908
<b>PD-15</b>	8,110	12,788	7,105	94,186	116,374	87,672	658,366
<b>PD-51</b>	8,085	12,687	7,050	93,848	115,783	88,357	650,062
<b>PD-66</b>	8,159	12,805	7,157	93,728	116,925	87,898	665,320

Tabela 14 – Dados da mica dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha, politipo e volume de cela unitária.

AMOS-TRA	A <sub>0</sub> (Å)	B <sub>0</sub> (Å)	C <sub>0</sub> (Å)	β (GRAUS)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å <sup>3</sup> )	POLI- TIPO	OBSERVAÇÃO
PD-3	5,404	8,910	19,925	94,989	955,782	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-5	5,174	8,980	20,056	95,696	927,272	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-9	5,194	8,958	20,017	95,604	927,035	2M <sub>1</sub>	Moscovita marrom
PD-11	5,163	8,981	20,071	95,939	925,590	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-14	5,481	8,859	19,990	94,734	967,274	2M <sub>1</sub>	*Lepidolita
PD-16	5,161	8,961	20,070	95,559	923,797	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-21	5,166	8,940	20,065	95,819	921,984	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-26	5,185	8,824	19,946	95,696	907,979	2M <sub>1</sub>	*Lepidolita
PD-28	5,164	8,974	20,021	95,550	923,578	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-30	5,187	8,977	20,047	95,609	928,917	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-35	5,176	8,987	20,023	95,795	926,665	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor
PD-40	5,184	8,979	20,009	95,617	926,921	2M <sub>1</sub>	Moscovita esbranquiçada

- Estruturas mistas de moscovita e lepidolita que apresentam os parâmetros da célula unitária mais próximas dos parâmetros da moscovita. No diagrama do infravermelho apresenta parte do espectro semelhante à moscovita e outra parte semelhante à lepidolita.

Tabela 14 – Dados da mica dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha, politipo e volume de cela unitária. (continuação)

AMOS-TRA	A <sub>0</sub> (Å)	B <sub>0</sub> (Å)	C <sub>0</sub> (Å)	β (GRAUS)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å)	POLI- TIPO	OBSERVAÇÃO
PD-42	5,353	8,969	19,974	95,606	954,440	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-46	5,323	8,960	19,957	94,769	948,546	2M <sub>1</sub>	*Lepidolita
PD-47	5,292	8,941	20,038	95,658	943,439	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-50	5,182	8,973	20,432	95,196	946,078	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-52	5,158	8,961	19,973	95,651	918,730	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-53	5,182	8,968	20,020	95,546	925,993	2M <sub>1</sub>	*Lepidolita
PD-56	5,178	8,998	20,028	95,862	928,196	2M <sub>1</sub>	Moscovita esbranquiçada
PD-57	5,174	8,935	20,039	95,785	921,618	2M <sub>1</sub>	Moscovita esverdeada
PD-58	5,147	9,017	20,187	96,264	931,372	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor a marrom
PD-59	5,436	8,656	20,135	97,190	940,046	2M <sub>1</sub>	Moscovita esverdeada
PD-62	5,153	8,933	19,977	95,620	915,224	2M <sub>1</sub>	Moscovita incolor

- Estruturas mistas de moscovita e lepidolita que apresentam os parâmetros da célula unitária mais próximas dos parâmetros da moscovita. No diagrama do infravermelho apresenta parte do espectro semelhante à moscovita e outra parte semelhante à lepidolita.

Tabela 15 – Dados da **turmalina** dos Pegmatitos da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária.

AMOSTRA	SCHORLITA			ELBAÍTA		
	A <sub>0</sub> (Å)	C <sub>0</sub> (Å)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å <sup>3</sup> )	A <sub>0</sub> (Å)	C <sub>0</sub> (Å)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å <sup>3</sup> )
PD-7				15,907	7,115	1800,351
PD-32				15,893	7,126	1800,134
PD-33	15,878	7,098	1789,449			
PD-39				15,887	7,120	1797,068
PD-49	15,943	7,062	1795,070			
PD-55				15,913	7,122	1803,542
PD-60				15,834	7,093	1778,327
PD-64				15,881	7,095	1789,362

Tabela 16 – Dados do **berilo** do Pegmatito da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária.

AMOSTRA	$A_0$ (Å)	$C_0$ (Å)	$\beta$ (GRAUS)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å <sup>3</sup> )
PD-19	9,110	9,316	90,000	773,088

Tabela 17 – Dados da **granada** do Pegmatito da Pederneira obtidos através de análises de **difração de raios X** e do programa Miller2 para cálculos dos parâmetros de malha e volume de cela unitária.

AMOSTRA	$A_0$ (Å)	$\beta$ (GRAUS)	VOLUME DA CÉLULA UNITÁRIA (Å <sup>3</sup> )
PD-68	11,562	90,000	1545,655



ANEXO IV

Espectroscopia de Absorção de  
Raios X no Infravermelho  
(Tabelas 18 a 23)

Tabela 18 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **microclina** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.129 da microclina, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.129</b>	<b>PD-1</b>	<b>PD-6</b>	<b>PD-12</b>	<b>PD-17</b>	<b>PD-22</b>	<b>PD-29</b>	<b>PD-31</b>	<b>PD-34</b>
<b>3.620</b>	3.551	3.553	3.543	3.545	3.549	3.545	3.553	3.552
<b>3.430</b>	3.411	3.411	3.408	3.437	3.414	3.445	3.415	3.414
<b>2.920</b>	-	-	-	-	-	-	2.905	-
<b>2.850</b>	-	-	-	-	-	-	2.835	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.635</b>	1.614	1.615	1.617	1.630	1.616	1.612	1.615	1.617
<b>1.140</b>	1.133	1.125	1.143	1.126	1.114	1.145	1.125	1.124
<b>1.085</b>	1.098	1.043	1.088	1.075	1.080	1.077	1.074	1.073
<b>1.052</b>	1.041	1.028	1.052	1.040	1.026	1.035	1.035	1.044
<b>1.018</b>	993	993	993	997	999	995	993	998
<b>772</b>	743	745	751	747	744	750	750	752
<b>728</b>	703	703	705	705	704	705	705	706
<b>650</b>	613	618	621	617	619	614	611	614
<b>607</b>	553	553	555	554	552	555	553	555
<b>584</b>	508	508	511	505	509	513	506	512
<b>537</b>	389	391	393	389	439	386	387	394
<b>467</b>	353	353	363	354	354	355	355	359
<b>430</b>	303	298	301	294	295	295	295	304

Tabela 18 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **microclina** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.129 da microclina, Segundo Moenke (1966). (continuação)

<b>Padrão 6.129</b>	<b>PD-36</b>	<b>PD-38</b>	<b>PD-41</b>	<b>PD-43</b>	<b>PD-44</b>	<b>PD-61</b>	<b>PD-63</b>	<b>PD-69</b>
<b>3.620</b>	3.547	3.544	3.525	3.546	3.558	3.552	3.546	3.565.
<b>3.430</b>	3.415	3.409	3.445	3.452	3.425	3.409	3.412	3.425
<b>2.920</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2.850</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.635</b>	1.615	1.614	1.617	1.622	1.627	1.616	1.616	1.620
<b>1.140</b>	1.125	1.152	1.133	1.119	1.133	1.125	1.124	1.130
<b>1.085</b>	1.075	1.126	1.035	1.040	1.039	1.039	1.076	1.077
<b>1.052</b>	1.033	1.074	1.017	1.007	1.007	1.023	1.034	1.037
<b>1.018</b>	997	994	995	988	993	990	988	975
<b>772</b>	750	746	746	790	747	748	746	750
<b>728</b>	705	704	703	705	705	704	703	707
<b>650</b>	622	623	620	618	621	612	619	625
<b>607</b>	554	554	555	552	550	558	555	555
<b>584</b>	510	506	507	508	507	508	504	510
<b>537</b>	385	384	385	388	385	386	384	383
<b>467</b>	343	342	343	342	344	349	350	345
<b>430</b>	295	298	293	296	291	289	294	299

Tabela 18 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **microclina** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.129 da microclina, segundo Moenke (1966). (continuação)

<b>Padrão 6.129</b>	<b>PD-70</b>
<b>3.620</b>	3.581
<b>3.430</b>	3.423
<b>2.920</b>	-
<b>2.850</b>	-
<b>2.350</b>	-
<b>1.635</b>	1.633
<b>1.140</b>	1.153
<b>1.085</b>	1.131
<b>1.052</b>	1.081
<b>1.018</b>	1.024
<b>772</b>	765
<b>728</b>	744
<b>650</b>	725
<b>607</b>	705
<b>584</b>	622
<b>537</b>	603
<b>467</b>	505
<b>430</b>	435

Tabela 19 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **albita** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.124 da albita, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.124</b>	<b>PD-2</b>	<b>PD-4</b>	<b>PD-8</b>	<b>PD-15</b>	<b>PD-48</b>	<b>PD-51</b>	<b>PD-66</b>	
<b>3.620</b>	3.543	3.525	3.524	3.593	3.585	3.554	3.544	
<b>3.430</b>	3.412	3.425	3.464	3.415	3.424	3.414	3.414	
<b>2.920</b>	-	-	-	-	traço	-	2.906	
<b>2.850</b>	-	-	-	-	traço	-	2.836	
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	
<b>1.635</b>	1.615	1.615	1.615	1.638	1.614	1.618	1.616	
<b>1.165</b>	1.162	1.155	1.104	1.158	1.158	1.168	1.164	
<b>1.103</b>	1.144	1.145	1.079	1.124	1.139	1.144	1.139	
<b>1.045</b>	1.086	1.085	1.008	1.085	1.084	1.082	1.083	
<b>1.010</b>	1.024	1.025	1.023	1.023	1.025	1.016	1.016	
<b>990</b>	984	985	896	983	986	986	984	
<b>786</b>	766	765	770	768	764	764	765	
<b>762</b>	743	740	718	743	742	740	753	
<b>742</b>	728	723	724	724	724	724	724	
<b>723</b>	704	703	704	704	702	704	703	
<b>650</b>	626	623	624	624	624	624	624	
<b>610</b>	604	600	603	603	602	602	602	
<b>590</b>	564	561	563	563	559	560	560	
<b>533</b>	504	503	505	505	502	504	504	
<b>475</b>	434	443	439	435	432	429	434	
<b>463</b>	384	375	389	378	374	374	372	
<b>428</b>	354	353	342	351	343	340	362	
<b>405</b>	304	300	295	305	294	294	300	

Tabela 20 – Frequências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **moscovita** e **lepidolita** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.91-6.89 da moscovita e 6.96 da lepidolita, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.91-6.89 e 6.96</b>	<b>PD-3</b>	<b>PD-5</b>	<b>PD-9</b>	<b>PD-11</b>	<b>PD-14</b>	<b>PD-16</b>	<b>PD-21</b>	<b>PD-26</b>
<b>3.620</b>	3.623	3.624	3.616	3.642	3.625	3.632	3.625	3.624
<b>3.430</b>	3.420	3.444	3.409	3.414	3.414	3.414	3.424	3.413
<b>2.920</b>	-	-	-	-	-	2.884	-	-
<b>2.850</b>	-	-	-	-	-	2.839	-	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.635</b>	1.633	1.634	1.636	1.633	1.615	1.624	1.619	1.618
<b>1.060</b>	1.063	1.070	1.064	1.053	1.082	1.064	1.050	1.073
<b>1.030</b>	1.022	1.028	1.009	1.015	1.004	1.004	1.014	993
<b>930</b>	915	926	924	931	918	914	925	954
<b>828</b>	809	812	804	813	774	804	806	773
<b>800</b>	793	784	774	785	732	774	784	725
<b>750</b>	728	734	726	733	704	724	729	692
<b>692</b>	695	675	704	703	672	663	669	661
<b>535</b>	507	512	509	514	508	505	508	503
<b>480</b>	448	456	454	454	452	449	453	453
<b>435</b>	409	404	423	413	394	379	409	413
<b>415</b>	386	384	404	383	375	370	384	391

Tabela 20 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **moscovita** e **lepidolita** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.91-6.89 da moscovita e 6.96 da lepidolita, segundo Moenke (1966). (continuação)

<b>Padrão 6.91-6.89 e 6.96</b>	<b>PD-28</b>	<b>PD-30</b>	<b>PD-35</b>	<b>PD-40</b>	<b>PD-42</b>	<b>PD-46</b>	<b>PD-47</b>	<b>PD-50</b>
<b>3.620</b>	3.625	3.625	3.632	3.625	3.625	3.625	3.624	3.612
<b>3.430</b>	3.420	3.450	3.444	3.410	3.445	3.430	3.416	3.424
<b>2.920</b>	-	-	-	-	2.905	-	-	traço
<b>2.850</b>	-	-	-	-	2.833	-	-	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	1.710	-	-
<b>1.635</b>	1.633	1.625	1.634	1.627	1.636	1.633	1.635	1.632
<b>1.060</b>	1.057	1.053	1.065	1.055	1.056	1.046	1.054	1.065
<b>1.030</b>	1.005	1.005	989	1.005	1.005	994	1.004	1.012
<b>930</b>	920	925	924	925	923	953	924	929
<b>828</b>	807	809	806	805	805	785	810	808
<b>800</b>	783	780	780	775	783	765	782	779
<b>750</b>	730	730	729	727	729	726	732	724
<b>692</b>	690	685	696	699	701	664	664	684
<b>535</b>	510	513	506	507	505	505	506	508
<b>480</b>	447	450	448	452	445	452	449	452
<b>435</b>	405	395	402	400	405	394	404	399
<b>415</b>	385	380	380	380	377	368	379	380

Tabela 20 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **moscovita** e **lepidolita** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.91-6.89 da moscovita e 6.96 da lepidolita, segundo Moenke (1966). (continuação)

<b>Padrão 6.91-6.89 e 6.96</b>	<b>PD-52</b>	<b>PD-53</b>	<b>PD-56</b>	<b>PD-57</b>	<b>PD-58</b>	<b>PD-59</b>	<b>PD-62</b>	<b>PD-65 b</b>
<b>3.620</b>	3.612	3.613	3.618	3.632	3.627	3.623	3.634	3.629
<b>3.430</b>	3.409	3.446	3.424	3.432	3.417	3.441	3.439	3.465
<b>2.920</b>	traço	-	traço	-	-	-	2.912	-
<b>2.850</b>	traço	-	-	-	-	-	2.834	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.635</b>	1.622	1.634	1.634	1.629	1.635	1.629	1.630	1.630
<b>1.060</b>	1.016	1.048	1.064	1.073	1.080	1.055	1.104	1.054
<b>1.030</b>	994	1.004	1.015	995	1.003	1.012	1.019	1.005
<b>930</b>	926	957	924	915	920	971	933	917
<b>828</b>	804	814	806	805	806	803	812	814
<b>800</b>	778	766	784	785	785	773	784	787
<b>750</b>	728	734	730	730	729	725	734	731
<b>692</b>	694	668	672	695	665	703	674	679
<b>535</b>	504	504	504	505	504	503	504	509
<b>480</b>	448	449	445	445	447	443	442	450
<b>435</b>	396	394	406	390	395	383	389	405
<b>415</b>	374	368	384	375	380	368	378	380



Tabela 21 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **turmalina** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.50 da turmalina, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.50</b>	<b>PD-7</b>	<b>PD-18</b>	<b>PD-20</b>	<b>PD-27</b>	<b>PD-32</b>	<b>PD-33</b>	<b>PD-37</b>	<b>PD-39</b>
<b>3.620</b>	3548	3.543	3.523	3.556	3.550	3.548	3.550	3.555
<b>3.430</b>	3.478	3.463	3.465	3.474	3.497	3.478	3.480	3.477
	3.415	3.423	3.403	3.409	3.433		3.413	3.414
<b>2.920</b>	-	2.915	2.905	-	2.915	2.903	-	-
<b>2.850</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	1.713	-	-	-	-	-	-
<b>1.660</b>	1.638	1.624	1.625	1.644	1.637	1.628	1.636	1.661
<b>1.635</b>	1.615	1.624	1.625	1.614	1.615	1.615	1.615	1.615
<b>1.330</b>	1.324	1.354	1.321	1.344	1.363	1.321	1.323	1.325
<b>1.280</b>	1.264	1.273	1.263	1.259	1.214	1.264	1.259	1.259
<b>1.110</b>	1.091	1.153	1.149	1.084	1.086	1.099	1.093	1.085
<b>1.030</b>	1.013	1.055	1.093	1.024	1.033	1.012	1.013	1.023
<b>780</b>	763	763	758	762	763	761	763	759
<b>750</b>	733	733	728	724	731	732	725	730
<b>710</b>	681	694	691	684	687	683	685	685
<b>520</b>	583	534	549	504	523	587	555	575
<b>475</b>	473	468	479	474	465	473	470	465
<b>425</b>	399	391	388	402	415	403	375	375

Tabela 21 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **turmalina** dos Pegmatitos da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.50 da turmalina, segundo Moenke (1966). (continuação)

<b>Padrão 6.50</b>	<b>PD-45</b>	<b>PD-49</b>	<b>PD-55</b>	<b>PD-60</b>	<b>PD-64</b>	<b>PD-65 a</b>		
<b>3.620</b>	3.545	3.556	3.555	3.565	3.554	3.548		
<b>3.430</b>	3.485	3.479	3.485	3.495	3.482	3.478		
	3.465	3.404	3.445	3.465	3.419		-	-
<b>2.920</b>	traço	-	traço	-	traço	-		
<b>2.850</b>	-	-	-	-	-	-		
<b>2.350</b>	-	-	-	-	-	-		
						1.712		
<b>1.660</b>	1.660	1.635	1.663	1.625	1.634	1.662		
<b>1.635</b>	1.607	1.609	1.633	1.615	1.624	1.629		
<b>1.330</b>	1.343	1.324	1.325	1.325	1.324	1.354		
<b>1.280</b>	1.265	1.266	1.261	1.263	1.264	1.292		
<b>1.110</b>	1.085	1.093	1.090	1.095	1.084	1.084		
<b>1.030</b>	1.005	1.004	1.005	1.047	1.004	1.004		
<b>780</b>	763	761	760	759	759	764		
<b>750</b>	730	724	735	725	728	729		
<b>710</b>	689	684	685	680	694	702		
<b>520</b>	585	603	603	581	574	619		
<b>475</b>	480	474	479	470	474	484		
<b>425</b>	385	373	385	376	396	369		

Tabela 22 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **berilo** do Pegmatito da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.48 do berilo, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.48</b>	<b>PD-19</b>
<b>3.620</b>	3.695
<b>3.430</b>	3.405
<b>2.920</b>	2.903
<b>2.850</b>	2.835
<b>2.350</b>	-
<b>1.635</b>	1.617
<b>1.210</b>	1.193
<b>1.086</b>	1.128
<b>1.025</b>	1.008
<b>975</b>	943
<b>918</b>	898
<b>810</b>	788
<b>745</b>	733
<b>745</b>	719
<b>685</b>	655
<b>655</b>	630
<b>595</b>	563
<b>530</b>	495
<b>497</b>	463
<b>440</b>	403
<b>415</b>	387

Tabela 23 – Freqüências das bandas de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ) obtidas por **espectroscopia de infravermelho** através de amostras de **almandina** do Pegmatito da Pederneira, comparando-se com as do padrão 6.8 da almandina, segundo Moenke (1966).

<b>Padrão 6.8</b>	<b>PD-68</b>
<b>3.620</b>	3.548
<b>3.430</b>	3.484
	3.414
<b>2.920</b>	2.906
<b>2.850</b>	-
<b>2.350</b>	-
<b>1.635</b>	1.640
<b>1.090</b>	1.076
<b>1.000</b>	982
<b>970</b>	937
<b>902</b>	870
<b>872</b>	845
<b>638</b>	611
<b>570</b>	534
<b>527</b>	494
<b>480</b>	453
<b>455</b>	416

ANEXO V

Composição Química Média de Óxidos por  
Microsonda Eletrônica  
(Tabelas 26 a 30)

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**.

AMOSTRA	PD1 (3)	PD1 (5)	PD2 (4)	PD4 (4)	PD6 (7)	PD8 (3)
MINERAL	Albita	K-Feldspato	Albita	Albita	K-Feldspato	Albita
SiO <sub>2</sub>	68,98	65,92	69,36	68,75	64,77	66,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	18,92	20,44	20,42	18,76	21,52
FeO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
MgO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,09	0,08	0,00	1,82
Na <sub>2</sub> O	10,85	2,37	9,96	10,55	0,59	9,45
K <sub>2</sub> O	0,12	12,27	0,10	0,15	15,74	0,27
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00
MnO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,43	0,00	0,00	0,04	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,01	0,06	0,01	0,02	0,04	0,02
Total em Óxidos	100,00	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00
Albita	99,18	21,74	98,88	98,67	5,43	88,84
K-feldspato	0,74	78,26	0,65	0,94	94,57	1,71
Anortita	0,08	0,00	0,47	0,39	0,00	9,45

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	PD10 (4)	PD10 (8)	PD15 (4)	PD17 (4)	PD17 (6)	PD22 (8)
MINERAL	Albita	K-Feldspato	Albita	Albita	K-Feldspato	K-Feldspato
SiO <sub>2</sub>	68,72	64,27	68,95	66,84	62,16	64,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,55	18,95	20,17	22,69	21,88	18,75
FeO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	10,51	0,77	10,69	10,25	0,71	0,89
K <sub>2</sub> O	0,13	15,40	0,06	0,12	15,17	15,42
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
MnO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,49	0,00	0,00	0,02	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,04	0,07	0,06	0,01	0,01	0,05
Total em Óxidos	99,99	99,99	100,00	99,99	99,99	99,99
Albita	99,07	7,08	99,38	98,96	6,71	8,06
K-feldspato	0,82	92,92	0,39	0,78	93,29	91,92
Anortita	0,10	0,00	0,23	0,26	0,00	0,02

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	<sup>2</sup> D29 (2)	PD29 (8)	<sup>3</sup> D31 (3)	PD31 (4)	<sup>2</sup> D36 (2)	PD36 (8)
MINERAL	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato
SiO <sub>2</sub>	69,03	64,46	68,70	64,58	65,34	64,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,36	19,08	20,48	18,66	25,15	18,87
FeO	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0,02
MgO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CaO	0,08	0,00	0,29	0,00	0,12	0,00
Na <sub>2</sub> O	10,34	0,74	10,32	0,53	9,20	0,64
K <sub>2</sub> O	0,15	15,70	0,11	16,16	0,11	15,84
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,05
Total em Óxidos	99,99	100,00	99,99	99,99	100,00	100,01
Albita	98,63	6,69	97,77	4,78	98,44	5,78
K-feldspato	0,97	93,31	0,72	95,22	0,81	94,22
Anortita	0,40	0,00	1,51	0,00	0,74	0,00

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	PD38 (2)	PD38 (3)	PD41 (2)	PD41 (2)	<sup>2</sup> D44 (3)	PD44 (8)
MINERAL	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato
SiO <sub>2</sub>	69,00	64,41	69,12	64,65	68,25	64,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,43	19,14	20,10	18,67	20,96	18,63
FeO	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
MgO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
CaO	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00
Na <sub>2</sub> O	10,36	0,83	10,52	0,67	10,33	0,74
K <sub>2</sub> O	0,10	15,46	0,16	15,93	0,23	15,78
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02
Cs <sub>2</sub> O	0,03	0,00	0,05	0,05	0,09	0,03
Total em Óxidos	99,99	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00
Albita	99,31	7,52	98,86	6,01	98,28	5,54
K-feldspato	0,61	92,48	1,01	93,99	1,55	94,46
Anortita	0,09	0,00	0,14	0,00	0,17	0,01

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	PD48 (8)	PD51 (8)	PD61 (7)	PD63 (5)	PD63 (7)	PD65(4)
MINERAL	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato	Albita
SiO <sub>2</sub>	64,65	67,98	64,51	68,47	64,58	69,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,72	21,13	18,87	21,01	18,66	19,91
FeO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CaO	0,00	1,14	0,00	0,04	0,00	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,69	9,57	0,67	10,30	0,43	10,71
K <sub>2</sub> O	15,84	0,14	15,82	0,12	16,10	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Rb <sub>2</sub> O	0,02	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,04	0,01	0,04	0,03	0,07	0,03
Total em Óxidos	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Albita	6,22	92,97	6,06	99,03	3,92	98,95
K-feldspato	93,78	0,91	93,94	0,75	96,08	0,66
Anortita	0,00	6,12	0,00	0,22	0,01	0,39

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 26 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) dos **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por **mi-crossonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	PD66 (4)	PD69 (4)	PD69 (8)	PD70 (4)	PD70 (7)
MINERAL	Albita	Albita	K-Feldspato	Albita	K-Feldspato
SiO <sub>2</sub>	69,16	69,42	64,97	69,12	64,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,15	19,96	18,63	20,10	18,95
FeO	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00
Na <sub>2</sub> O	10,48	10,49	0,26	10,55	0,60
K <sub>2</sub> O	0,11	0,07	15,73	0,16	14,82
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
MnO	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,32	0,00	0,73
Cs <sub>2</sub> O	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07
Total em Óxidos	100,00	100,00	100,00	100,00	100,01
Albita	99,09	99,51	2,45	98,96	5,78
K-feldspato	0,66	0,46	97,55	0,97	94,22
Anortita	0,25	0,03	0,00	0,06	0,00

(\*) – Número de pontos de microsonda



Tabela 27 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) das **micas** dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por **microsonda eletrônica**.

AMOSTRA	PD12 (12)	PD13 (7)	PD13 (3)	PD14 (9)	PD25 (16)	PD25 (8)
MINERAL	Moscovita	Biotita	Moscovita	Mica lilás	Biotita	Moscovita
SiO <sub>2</sub>	45,36	35,69	50,61	48,34	35,98	46,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,89	19,45	31,20	34,50	19,53	35,68
FeO	3,52	19,64	0,97	0,04	19,65	1,25
MgO	1,17	8,46	0,63	0,01	8,94	0,84
CaO	0,03	0,02	1,58	0,01	0,02	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,05	2,87	0,29	0,14	0,66
K <sub>2</sub> O	10,01	9,30	6,86	11,01	9,10	9,72
TiO <sub>2</sub>	0,43	2,88	0,67	0,00	2,27	0,69
MnO	0,81	0,43	0,00	0,27	0,36	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,00	0,03	0,04	0,01	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,61	0,03	0,00	0,82	0,00	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,51	0,08	0,01	0,15	0,03	0,02
H <sub>2</sub> O	4,41	3,96	4,58	4,52	3,97	4,54
Total em Óxidos	100,01	99,99	100,01	100,00	100,00	99,99

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 27 – Composição química **média** de óxidos (% em peso e normalizada) das **micas** dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por **microsonda eletrônica**. (continuação)

AMOSTRA	PD26 (10)	PD46 (11)	PD53 (10)	PD56 (19)	PD57 (8)
MINERAL	Mica lilás	Mica lilás	Mica lilás	Moscovita	Moscovita
SiO <sub>2</sub>	47,90	50,67	49,90	46,51	46,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,97	31,52	32,91	36,91	36,75
FeO	0,03	0,18	0,03	1,81	1,47
MgO	0,00	0,01	0,01	0,04	0,13
CaO	0,01	0,01	0,01	0,06	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,25	0,31	0,64	0,60
K <sub>2</sub> O	11,18	11,17	10,52	9,04	10,11
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04
MnO	0,21	0,44	0,44	0,07	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
Rb <sub>2</sub> O	0,77	1,00	1,15	0,25	0,10
Cs <sub>2</sub> O	0,12	0,19	0,16	0,04	0,06
H <sub>2</sub> O	4,51	4,51	4,52	4,54	4,52
Total em Óxidos	100,00	100,00	100,00	99,99	100,01

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 28 – Composição química **média** de óxidos (% em peso) das **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por **microsonda ele-trônica**.

AMOSTRA	PD22 (1)	PD25 (1)	PD27 (5)	PD33 (5)	PD45 (5)	PD55 (5)
MINERAL	Turmalina	Turmalina	Turmalina	Turmalina	Turmalina	Turmalina
SiO <sub>2</sub>	45,21	36,05	50,61	45,07	35,93	46,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,49	19,00	31,20	38,55	19,40	35,68
FeO	3,17	19,59	0,97	0,01	19,73	1,25
MgO	1,05	8,54	0,63	0,00	8,92	0,84
CaO	0,03	0,00	1,58	0,00	0,02	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,05	2,87	0,37	0,15	0,66
K <sub>2</sub> O	10,00	9,40	6,86	10,85	9,06	9,72
TiO <sub>2</sub>	0,50	2,85	0,67	0,00	2,36	0,69
MnO	0,75	0,43	0,00	0,05	0,39	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,60	0,03	0,00	0,42	0,00	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,48	0,09	0,01	0,13	0,05	0,02
H <sub>2</sub> O	4,42	3,96	4,58	4,52	3,98	4,54
Total em Óxidos	99,99	99,99	100,01	100,01	100,01	99,99

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 29 – Composição química **média** de óxidos (% em peso) do **berilo** do Pegmatito da Pederneira, analisado por **microsonda eletrônica**.

AMOSTRA	PD-19 (5)
MINERAL	Berilo
SiO <sub>2</sub>	66,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,91
FeO	0,51
MgO	0,08
CaO	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,29
K <sub>2</sub> O	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,00
MnO	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,00
Cs <sub>2</sub> O	0,02
H <sub>2</sub> O	4,57
Total em Óxidos	91,10

(\*) – Número de pontos de microsonda

Tabela 30 – Composição química **média** de óxidos (% em peso) da **granada** do Pegmatito da Pederneira, analisada por **microsonda eletrônica**.

AMOSTRA	PD-68 (10)
MINERAL	Granada
SiO <sub>2</sub>	39,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,59
FeO	10,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01
MgO	0,01
CaO	0,19
Na <sub>2</sub> O	1,08
K <sub>2</sub> O	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,02
MnO	26,97
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02
Total em Óxidos	98,62

(\*) – Número de pontos de microsonda

ANEXO VI

Análises Químicas por Microsonda  
Eletrônica  
(Tabelas 31 a 35)

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira.

AMOS-TRAS	PD1F4	PD1F5	PD1F8	PD1F7	PD1F7b
SiO <sub>2</sub>	69,33	68,72	68,80	64,84	64,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,14	19,75	20,07	18,91	18,76
FeO	-	0,01	-	0,01	0,01
MgO	0,01	-	0,01	-	-
CaO	-	0,02	0,03	0,01	-
Na <sub>2</sub> O	11,08	10,75	10,73	0,37	0,20
K <sub>2</sub> O	0,14	0,13	0,10	14,72	14,96
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
MnO	-	-	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	0,53	0,46
Cs <sub>2</sub> O	0,01	0,01	-	0,01	0,03

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD1F11	PD1F12	PD1F13	PD2F1	PD2F2
SiO <sub>2</sub>	69,38	64,16	64,70	69,70	70,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,65	18,45	18,39	20,66	20,88
FeO	0,01	-	0,10	-	0,04
MgO	-	-	-	-	-
CaO	0,01	-	-	0,07	0,10
Na <sub>2</sub> O	10,85	0,17	0,20	10,06	10,23
K <sub>2</sub> O	0,08	15,36	15,91	0,10	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	-	0,03	0,04
MnO	0,02	-	0,02	0,01	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	0,56	0,59	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	0,20	0,04	0,05	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD2F3	PD2F4	PD4F1	PD4F3	PD4F4
SiO <sub>2</sub>	70,08	70,35	68,05	68,02	68,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,61	20,41	21,18	19,80	20,17
FeO	0,01	-	-	0,01	-
MgO	-	0,01	-	0,01	-
CaO	0,08	0,10	0,08	0,08	0,07
Na <sub>2</sub> O	9,93	10,04	10,26	10,58	10,55
K <sub>2</sub> O	0,09	0,10	0,14	0,15	0,13
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,01	-	0,01
MnO	-	0,03	0,03	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
.Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD4F5	PD6F3	PD6F4	PD6F5	PD6F6
SiO <sub>2</sub>	68,98	63,29	64,36	64,52	64,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,16	19,12	18,41	18,63	18,67
FeO	0,03	0,07	-	-	0,01
MgO	-	-	-	-	-
CaO	0,08	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	10,62	0,22	0,79	0,60	0,88
K <sub>2</sub> O	0,19	16,20	15,56	15,56	15,19
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	-	0,01	-
MnO	-	0,01	0,05	-	0,04
Rb <sub>2</sub> O	-	0,09	0,06	0,05	0,02
Cs <sub>2</sub> O	0,08	0,09	0,01	0,01	0,17

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD6F7	PD6F8	PD6F12	PD8F4	PD8F5
SiO <sub>2</sub>	65,19	64,52	64,48	66,20	66,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,85	18,43	18,51	21,51	21,31
FeO	0,01	-	0,04	0,03	0,03
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	1,79	1,79
Na <sub>2</sub> O	0,83	0,26	0,55	9,36	9,39
K <sub>2</sub> O	15,21	16,25	15,64	0,30	0,21
TiO <sub>2</sub>	-	0,01	0,02	-	-
MnO	0,01	0,03	-	0,01	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,06	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD8F15	PD10F6	PD10F1	PD10F2	PD10F3
SiO <sub>2</sub>	65,92	68,88	63,84	64,10	64,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,12	20,35	19,14	18,63	18,78
FeO	-	-	-	-	0,06
MgO	-	0,02	-	-	-
CaO	1,82	0,03	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	9,32	10,78	0,86	0,88	0,83
K <sub>2</sub> O	0,31	0,16	15,46	15,06	15,34
TiO <sub>2</sub>	-	0,01	-	-	-
MnO	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02
Rb <sub>2</sub> O	-	-	0,55	0,51	0,47
Cs <sub>2</sub> O	0,05	-	0,08	-	0,18

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD10F4	PD10F5	PD10F7	PD10F8	PD10F9
SiO <sub>2</sub>	64,52	63,41	64,70	69,05	69,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,97	18,76	18,70	20,81	20,63
FeO	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	0,01	-
CaO	-	-	-	0,02	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,93	0,49	0,91	10,61	10,35
K <sub>2</sub> O	15,28	15,49	15,35	0,12	0,16
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,07	0,03	0,01	0,01
MnO	-	-	0,02	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	0,54	0,53	0,58	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,11	0,09	-	0,01	0,03

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD10F11	PD10F10	PD10F12	PD15F2	PD15F3
SiO <sub>2</sub>	69,01	63,78	63,97	67,93	69,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,76	19,44	18,62	20,80	19,88
FeO	-	0,04	0,01	0,01	-
MgO	-	-	-	0,01	-
CaO	0,01	0,01	-	0,02	-
Na <sub>2</sub> O	10,49	0,57	0,70	10,46	10,72
K <sub>2</sub> O	0,09	15,58	15,27	0,06	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,03	-	0,01
MnO	-	-	-	0,02	-
Rb <sub>2</sub> O	-	0,30	0,49	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,14	0,03	0,09	0,08	0,14



Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD15F4	PD15F5	PD17F3	PD17F4	PD17F5
SiO <sub>2</sub>	69,70	68,25	60,93	57,69	57,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,61	20,18	30,47	26,95	25,63
FeO	-	0,01	-	0,01	0,01
MgO	0,01	0,01	0,03	-	-
CaO	0,04	0,12	0,05	-	-
Na <sub>2</sub> O	10,83	10,65	8,92	0,70	0,66
K <sub>2</sub> O	0,06	0,09	0,11	14,01	14,35
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	0,01
MnO	0,01	0,01	0,01	-	0,03
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0,01
Cs <sub>2</sub> O	0,04	-	0,03	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD17F8	PD17F9	PD17F10	PD17F11	PD17F12
SiO <sub>2</sub>	64,52	68,74	61,35	68,38	68,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,71	19,91	21,71	20,09	19,94
FeO	-	-	0,02	-	0,01
MgO	-	0,01	-	0,01	0,01
CaO	-	0,04	0,01	0,05	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,72	10,79	0,78	10,47	10,66
K <sub>2</sub> O	15,76	0,12	14,94	0,15	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	-	-	-
MnO	-	-	0,03	0,02	-
Rb <sub>2</sub> O	0,09	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,05	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD17F13	PD17F14	PD22F1	PD22F2	PD22F10
SiO <sub>2</sub>	64,61	64,32	64,33	64,35	63,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,73	18,67	18,49	18,48	18,46
FeO	-	0,01	0,01	-	-
MgO	-	-	0,02	-	-
CaO	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,89	0,51	0,74	1,00	0,85
K <sub>2</sub> O	15,37	15,99	15,73	15,17	15,50
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	0,04	0,02	-
MnO	0,02	0,03	0,03	-	0,04
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD22F15	PD22F16	PD22F17	PD22F18	PD22F19
SiO <sub>2</sub>	64,40	65,02	65,14	64,20	65,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,76	18,65	18,91	18,76	18,74
FeO	0,01	-	0,01	-	-
MgO	0,01	-	0,01	-	-
CaO	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,99	0,97	0,95	0,70	0,88
K <sub>2</sub> O	15,10	15,30	15,12	15,53	15,30
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,01	0,03	0,01
MnO	-	0,03	-	0,01	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,09	0,13	0,05	0,12	0,05

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD29F1	PD29F2	PD29F5	PD29F6	PD29F9
SiO <sub>2</sub>	64,20	64,09	62,98	65,03	64,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,01	18,72	19,11	18,89	19,01
FeO	-	-	0,06	-	-
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,81	0,76	0,53	0,84	0,95
K <sub>2</sub> O	15,37	15,62	15,96	15,68	15,35
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,03	0,01
MnO	-	-	0,02	-	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,02	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,01	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD29F11	PD29F12	PD29F13	PD29F14	PD29F15
SiO <sub>2</sub>	63,46	64,19	64,92	68,03	68,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,74	18,64	18,78	19,99	20,16
FeO	-	0,01	0,03	-	0,03
MgO	-	-	-	0,01	0,01
CaO	-	-	-	0,11	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,79	0,91	10,16	10,22
K <sub>2</sub> O	16,32	15,49	15,29	0,16	0,15
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	-	0,01	-
MnO	-	-	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD31F3	PD31F7	PD31F8	PD31F9	PD31F10
SiO <sub>2</sub>	63,83	63,56	68,40	68,01	64,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,57	18,35	20,51	20,10	18,49
FeO	-	-	0,01	0,04	-
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	0,25	0,41	-
Na <sub>2</sub> O	0,75	0,22	10,60	10,00	0,54
K <sub>2</sub> O	15,78	16,39	0,09	0,16	15,95
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	-	-	-
MnO	-	-	0,02	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,01	0,14	0,06

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD31F11	PD31F15	PD36F2	PD36F7	PD36F10
SiO <sub>2</sub>	64,86	68,01	63,78	67,27	65,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,65	20,31	18,59	20,91	18,75
FeO	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03
MgO	-	0,01	-	0,01	-
CaO	-	0,20	-	0,07	-
Na <sub>2</sub> O	0,62	10,12	0,59	9,80	0,82
K <sub>2</sub> O	16,05	0,09	15,69	0,08	15,60
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,02	0,01	0,01	-
MnO	-	0,01	0,01	-	0,02
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,09	-	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD36F11	PD36F12	PD36F13	PD36F14	PD36F15
SiO <sub>2</sub>	64,52	63,89	63,60	63,76	63,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,10	18,64	18,72	18,52	18,64
FeO	-	-	0,05	-	0,01
MgO	-	-	-	-	-
CaO	0,01	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,67	0,79	0,26	0,79	0,83
K <sub>2</sub> O	15,74	15,43	16,39	15,45	15,35
TiO <sub>2</sub>	-	0,01	-	0,01	0,03
MnO	0,02	-	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,01	0,08	0,13	0,06	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD36F16	PD36F17	PD38F2	PD38F5	PD38F6
SiO <sub>2</sub>	63,98	61,05	64,61	64,41	64,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,75	28,47	19,25	19,16	19,08
FeO	0,04	0,09	0,03	-	-
MgO	-	0,04	-	-	-
CaO	-	0,17	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,33	8,27	0,89	0,82	0,76
K <sub>2</sub> O	16,01	0,15	15,31	15,42	15,69
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,04	-
MnO	0,02	0,01	0,03	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,04	-	0,13	0,12	0,15
Cs <sub>2</sub> O	0,09	-	-	0,01	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD38F12	PD41F6	PD41F7	PD41F11	PD41F15
SiO <sub>2</sub>	68,25	70,18	68,28	63,30	65,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,21	20,63	19,63	18,42	18,64
FeO	0,03	0,03	0,01	0,02	-
MgO	0,02	0,01	-	-	-
CaO	0,02	0,01	0,04	-	-
Na <sub>2</sub> O	10,25	10,90	10,18	0,58	0,75
K <sub>2</sub> O	0,10	0,16	0,17	15,72	15,91
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,02	0,02
MnO	-	-	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,07	0,10	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD44F1	PD44F2	PD44F3	PD44F4	PD44F6
SiO <sub>2</sub>	64,72	68,38	64,42	64,56	65,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,67	19,52	18,71	18,55	18,69
FeO	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,33	-	1,10	0,36	1,14
K <sub>2</sub> O	16,12	0,09	15,20	16,12	14,64
TiO <sub>2</sub>	-	0,01	-	0,01	0,03
MnO	-	0,01	-	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,04	0,08	-	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD44F7	PD44F9	PD44F11	PD44F12	PD44F14
SiO <sub>2</sub>	63,79	64,00	68,07	64,95	64,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,31	18,40	19,57	18,76	18,60
FeO	-	-	-	0,03	-
MgO	-	-	0,01	-	-
CaO	-	-	0,03	0,01	-
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,27	10,55	0,78	0,58
K <sub>2</sub> O	16,42	16,45	0,09	15,34	15,64
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	-	-	-
MnO	-	-	-	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	0,03	0,11	-	0,01	-
Cs <sub>2</sub> O	0,06	0,08	0,11	0,08	0,08

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD44F15	PD48F2	PD48F3	PD48F4	PD48F5
SiO <sub>2</sub>	65,48	65,09	64,55	64,79	64,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,91	18,58	18,68	18,93	18,67
FeO	0,10	-	0,03	0,02	-
MgO	0,16	-	-	-	-
CaO	0,02	-	-	0,01	-
Na <sub>2</sub> O	9,11	0,89	0,73	0,45	0,79
K <sub>2</sub> O	0,51	15,53	15,67	16,09	15,57
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	0,03	0,04	0,02
MnO	0,01	-	-	0,01	0,02
Rb <sub>2</sub> O	-	-	0,09	0,01	0,09
Cs <sub>2</sub> O	0,08	0,03	-	0,10	0,10

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD48F6	PD48F7	PD48F8	PD48F9	PD51F1
SiO <sub>2</sub>	64,40	65,27	63,60	63,96	68,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,76	18,63	18,60	18,61	21,30
FeO	0,03	0,01	-	0,02	0,03
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	1,15
Na <sub>2</sub> O	0,70	0,61	0,67	0,69	9,51
K <sub>2</sub> O	15,82	15,88	16,01	15,93	0,11
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,01	0,02	0,01
MnO	0,01	-	0,03	-	0,03
Rb <sub>2</sub> O	0,01	-	-	0,01	-
Cs <sub>2</sub> O	0,04	-	0,01	0,01	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD51F2	PD51F4	PD51F5	PD51F6	PD51F7
SiO <sub>2</sub>	68,31	67,98	69,08	68,19	68,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,19	21,23	21,28	21,24	21,29
FeO	-	-	-	-	-
MgO	0,02	-	-	0,01	-
CaO	1,17	1,17	1,17	1,12	1,14
Na <sub>2</sub> O	9,16	9,76	9,87	9,68	9,73
K <sub>2</sub> O	0,18	0,09	0,13	0,15	0,14
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0,02	0,03
MnO	-	0,01	0,02	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,02	-	0,02



Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD51F8	PD51F9	PD61F1	PD61F3	PD61F4
SiO <sub>2</sub>	67,15	68,16	64,73	63,96	64,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,12	21,10	18,82	18,80	19,02
FeO	0,02	0,02	0,01	-	-
MgO	-	-	-	-	-
CaO	1,15	1,10	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	9,30	9,90	0,66	0,72	0,75
K <sub>2</sub> O	0,23	0,11	15,74	15,76	15,54
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	-	-	0,02
MnO	-	-	-	-	0,03
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	0,12	0,06
Cs <sub>2</sub> O	0,05	-	-	0,09	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD61F5	PD61F6	PD61F7	PD61F9	PD63F1
SiO <sub>2</sub>	64,87	63,57	64,61	64,41	69,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,84	18,57	18,87	18,93	20,21
FeO	-	-	0,04	0,04	0,01
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	0,01	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,88	0,28	0,63	0,77	10,29
K <sub>2</sub> O	15,48	16,18	15,97	15,78	0,10
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,01	-	-
MnO	-	0,01	-	0,03	-
Rb <sub>2</sub> O	0,04	0,13	0,09	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,08	0,03	0,10	-	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD63F2	PD63F3	PD63F4	PD63F5	PD63F6
SiO <sub>2</sub>	65,28	64,62	68,59	64,61	64,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,81	18,79	20,24	18,47	18,59
FeO	-	0,03	0,01	0,03	-
MgO	0,02	-	-	-	-
CaO	0,09	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	9,90	0,88	10,38	0,38	0,26
K <sub>2</sub> O	0,14	15,33	0,12	16,28	16,30
TiO <sub>2</sub>	-	0,04	-	0,01	0,01
MnO	0,03	-	0,01	0,03	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	0,12	0,15
Cs <sub>2</sub> O	0,09	0,09	0,04	0,03	0,07

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD63F12	PD63F13	PD63F14	PD63F15	PD63F16
SiO <sub>2</sub>	69,57	64,29	64,87	64,46	69,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,41	18,71	18,78	18,67	20,41
FeO	-	0,01	-	0,01	0,03
MgO	-	-	-	-	-
CaO	0,05	0,01	-	-	0,06
Na <sub>2</sub> O	10,36	0,31	0,37	0,60	10,56
K <sub>2</sub> O	0,12	16,38	16,20	15,97	0,12
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
MnO	0,02	-	-	0,04	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	0,18	0,09	0,05	-
Cs <sub>2</sub> O	0,05	-	0,16	0,05	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD63F18	PD63F19	PD65F2	PD65F3	PD65F6
SiO <sub>2</sub>	64,47	61,21	69,29	68,02	68,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,52	20,24	19,71	19,96	19,63
FeO	0,05	0,03	-	-	0,02
MgO	-	-	0,01	-	-
CaO	-	0,03	0,05	0,09	0,11
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,18	10,83	10,68	10,83
K <sub>2</sub> O	16,27	15,91	0,08	0,10	0,13
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	0,01	-	-
MnO	-	0,03	0,03	0,03	-
Rb <sub>2</sub> O	0,18	0,10	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,11	0,09	-	0,03	0,08

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD65F7	PD66F1	PD66F2	PD66F3	PD66F5
SiO <sub>2</sub>	68,38	69,02	69,04	68,43	69,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,84	20,18	20,12	19,82	20,36
FeO	0,01	-	0,01	0,01	-
MgO	0,02	0,01	-	-	-
CaO	0,06	0,05	0,06	0,01	0,07
Na <sub>2</sub> O	10,21	10,23	10,34	10,70	10,55
K <sub>2</sub> O	0,13	0,10	0,13	0,11	0,08
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	0,01	-	-
MnO	0,05	0,02	0,02	0,04	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	0,03	-	0,03	0,08

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD69F2	PD69F3	PD69F4	PD69F5	PD69F6
SiO <sub>2</sub>	64,82	70,36	69,62	64,24	69,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,65	20,11	20,00	18,58	20,31
FeO	-	-	-	-	0,04
MgO	-	-	0,01	-	0,01
CaO	-	0,01	0,02	-	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,26	10,86	10,46	0,21	10,33
K <sub>2</sub> O	15,03	0,07	0,08	15,56	0,08
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	0,01
MnO	-	0,02	0,01	0,04	-
Rb <sub>2</sub> O	0,32	-	-	0,23	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	0,06	0,03

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD69F9	PD69F10	PD69F11	PD69F12	PD69F13
SiO <sub>2</sub>	64,04	64,84	64,29	70,22	65,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,24	18,57	18,21	20,05	18,68
FeO	-	0,02	0,01	0,02	-
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,22	0,20	0,33	10,62	0,27
K <sub>2</sub> O	16,23	15,56	15,78	0,07	15,60
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	-	0,01	0,02
MnO	0,01	-	-	0,01	0,05
Rb <sub>2</sub> O	0,28	0,33	0,34	-	0,32
Cs <sub>2</sub> O	0,03	-	-	0,07	0,19

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD69F14	PD69F15	PD70F1	PD70F2	PD70F4
SiO <sub>2</sub>	64,67	64,66	69,12	64,08	69,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,65	18,60	20,04	18,81	20,21
FeO	-	0,05	-	-	0,03
MgO	-	-	0,01	-	-
CaO	-	-	0,02	-	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,25	10,54	0,84	10,42
K <sub>2</sub> O	15,73	15,67	0,17	13,99	0,22
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	0,03	0,01	-
MnO	-	-	0,03	0,02	-
Rb <sub>2</sub> O	0,36	0,37	-	0,64	-
Cs <sub>2</sub> O	0,01	0,20	-	0,12	-

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD70F7	PD70F12	PD70F16	PD70F17	PD70F18
SiO <sub>2</sub>	63,60	69,52	64,87	63,96	63,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,77	20,19	18,86	18,67	18,52
FeO	0,02	0,01	-	0,02	0,10
MgO	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,48	10,91	0,67	0,38	0,56
K <sub>2</sub> O	15,06	0,09	14,26	15,01	14,98
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,01	0,01	-
MnO	-	-	-	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	0,68	-	0,72	0,79	0,69
Cs <sub>2</sub> O	0,03	0,11	-	0,01	0,14

Tabela 31 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **feldspatos** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD70F20	PD70F24	PD70F25
SiO <sub>2</sub>	64,05	64,00	69,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,65	18,85	20,11
FeO	0,01	0,03	-
MgO	-	-	-
CaO	-	-	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,49	0,73	10,40
K <sub>2</sub> O	14,73	14,50	0,14
TiO <sub>2</sub>	-	-	-
MnO	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,78	0,71	-
Cs <sub>2</sub> O	0,14	0,05	0,01

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira.

AMOS- TRAS	PD12M4	PD12M5	PD12M6	PD12M7	PD12M8
SiO <sub>2</sub>	44,43	42,15	45,04	44,00	44,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,82	38,20	32,31	32,15	30,55
FeO	1,30	2,23	3,09	3,59	3,98
MgO	0,84	0,81	1,01	1,25	1,30
CaO	0,09	0,03	-	0,03	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,53	0,31	0,25	0,14	0,19
K <sub>2</sub> O	9,54	9,31	10,31	9,56	9,84
TiO <sub>2</sub>	0,92	0,42	0,49	0,37	0,39
MnO	0,21	0,50	0,73	0,77	0,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,01	-	0,03	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	0,54	0,49	0,67
Cs <sub>2</sub> O	-	0,04	0,57	0,26	0,67
H <sub>2</sub> O	4,49	4,42	4,35	4,29	4,27

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD12M9	PD12M10	PD12M12	PD12M13	PD12M14
SiO <sub>2</sub>	45,16	40,90	44,92	44,74	44,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,75	29,61	31,21	29,90	33,34
FeO	3,92	4,18	3,84	3,82	3,60
MgO	1,34	1,41	1,07	1,15	1,01
CaO	-	0,06	-	0,04	-
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,15	0,23	0,17	0,31
K <sub>2</sub> O	10,28	8,72	10,26	10,02	9,71
TiO <sub>2</sub>	0,72	0,20	0,38	0,40	0,48
MnO	0,90	0,90	0,94	0,91	0,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	0,03	0,02	0,05
Rb <sub>2</sub> O	0,45	0,74	0,64	1,22	0,47
Cs <sub>2</sub> O	0,36	0,48	0,70	0,84	0,65
H <sub>2</sub> O	4,28	4,01	4,32	4,25	4,39

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD12M15	PD12M16	PD13XB1	PD13XB2	PD13XB3
SiO <sub>2</sub>	46,11	43,56	34,33	33,69	34,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,38	31,21	18,34	18,05	19,45
FeO	4,04	3,54	19,48	18,80	18,90
MgO	1,36	1,13	8,20	8,21	8,07
CaO	0,01	0,03	-	-	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,17	0,02	0,05	0,05
K <sub>2</sub> O	9,91	9,57	9,13	8,87	9,04
TiO <sub>2</sub>	0,35	0,42	2,78	2,77	2,89
MnO	0,92	0,82	0,43	0,40	0,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	-	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	1,24	0,66	0,04	-	0,03
Cs <sub>2</sub> O	0,52	0,88	0,08	0,07	-
H <sub>2</sub> O	4,30	4,22	3,82	3,75	3,87

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD13XB4	PD13XB6	PD13XB9	PD13XB10	PD13XM11
SiO <sub>2</sub>	35,63	35,22	33,20	35,30	45,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,84	18,72	20,10	18,38	35,15
FeO	18,84	19,44	18,29	19,43	1,38
MgO	8,41	8,33	7,70	8,40	0,95
CaO	-	0,01	0,12	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,08	0,09	0,02	0,47
K <sub>2</sub> O	9,35	9,21	8,34	9,11	10,27
TiO <sub>2</sub>	2,75	2,86	2,71	2,81	0,97
MnO	0,43	0,41	0,38	0,41	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	0,01	0,05
Rb <sub>2</sub> O	-	0,03	0,04	0,05	-
Cs <sub>2</sub> O	0,08	0,06	0,11	0,14	0,01
H <sub>2</sub> O	3,91	3,89	3,78	3,88	4,48



Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD13XM12	PD14L2	PD14L3	PD14L4	PD14L5
SiO <sub>2</sub>	45,54	45,89	45,31	45,39	47,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,50	39,07	38,69	38,47	30,14
FeO	1,57	-	-	-	0,07
MgO	0,93	-	-	-	-
CaO	0,02	0,01	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,40	0,27	0,49	0,37	0,29
K <sub>2</sub> O	10,21	10,96	10,60	10,92	10,47
TiO <sub>2</sub>	1,05	0,02	-	-	-
MnO	-	0,03	0,05	0,07	0,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	0,06	0,04	0,03
Rb <sub>2</sub> O	-	0,23	0,72	0,42	1,17
Cs <sub>2</sub> O	0,01	-	0,09	0,36	0,18
H <sub>2</sub> O	4,50	4,59	4,54	4,54	4,26

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD14L6	PD14L8	PD14L9	PD14L10	PD14L11
SiO <sub>2</sub>	48,32	44,17	50,32	49,13	47,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,92	38,38	29,06	31,00	28,73
FeO	0,14	0,02	-	0,11	-
MgO	-	-	0,02	0,01	0,03
CaO	0,01	-	0,04	-	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,15	0,37	0,21	0,21	0,18
K <sub>2</sub> O	11,03	11,03	10,63	10,46	10,49
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	-	-	-
MnO	0,45	0,04	0,43	0,40	0,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,04	-	0,07	1,08
Rb <sub>2</sub> O	1,17	0,32	0,47	0,06	1,09
Cs <sub>2</sub> O	0,27	0,08	0,12	0,16	0,08
H <sub>2</sub> O	4,25	4,47	4,36	4,39	4,21

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD25XB1	PD25XB2	PD25XB4	PD25XB6	PD25XB8
SiO <sub>2</sub>	35,63	35,18	35,07	35,11	35,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,31	19,39	19,16	19,89	19,32
FeO	19,17	19,22	19,78	19,17	19,04
MgO	8,99	8,70	8,89	8,83	8,94
CaO	-	0,02	0,01	-	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,16	0,15	0,12	0,16
K <sub>2</sub> O	9,25	9,47	9,27	9,21	9,28
TiO <sub>2</sub>	1,91	2,03	1,93	1,98	1,84
MnO	0,41	0,35	0,40	0,34	0,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	0,01	-
Cs <sub>2</sub> O	0,11	-	-	0,01	-
H <sub>2</sub> O	3,93	3,91	3,90	3,87	3,90

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD25XB9	PD25XB10	PD25XB11	PD25XB14	PD25XB15
SiO <sub>2</sub>	35,48	35,22	35,39	35,14	34,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,86	19,01	18,99	18,83	18,61
FeO	18,25	19,12	19,58	20,13	19,25
MgO	8,56	8,70	8,88	8,75	8,65
CaO	0,05	-	0,01	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,11	0,17	0,16	0,13	0,15
K <sub>2</sub> O	8,45	9,05	9,25	8,78	8,90
TiO <sub>2</sub>	1,99	2,00	1,96	2,56	2,34
MnO	0,31	0,37	0,42	0,39	0,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,01	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	0,06	0,02	-	-
H <sub>2</sub> O	3,90	3,88	3,91	3,91	3,83

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD25XB16	PD25XB17	PD25XB18	PD25XB21	PD25XB25
SiO <sub>2</sub>	35,69	35,29	35,43	36,07	35,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,20	18,77	18,99	19,02	19,18
FeO	19,47	19,25	19,67	18,97	19,25
MgO	8,81	8,57	8,79	8,86	8,62
CaO	0,02	0,02	-	0,12	-
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,13	0,18	0,14	0,16
K <sub>2</sub> O	8,81	8,64	8,85	8,09	8,72
TiO <sub>2</sub>	2,42	2,54	2,51	2,75	2,65
MnO	0,30	0,32	0,35	0,38	0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,03	-	0,05	0,04
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0,18
H <sub>2</sub> O	3,88	3,92	3,92	3,95	3,92

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD25XM3	PD25XM12	PD25XM13	PD25XM19	PD25XM22
SiO <sub>2</sub>	47,22	46,94	47,12	46,48	47,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,14	35,64	35,96	36,42	36,03
FeO	1,07	1,31	1,26	1,23	1,33
MgO	0,78	1,04	0,91	0,64	0,85
CaO	-	0,02	0,01	-	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,63	0,71	0,70	0,70	0,66
K <sub>2</sub> O	10,49	10,17	9,84	9,81	9,38
TiO <sub>2</sub>	0,60	0,39	0,49	0,83	0,86
MnO	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,05	-	-	0,04
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,06	-	-
H <sub>2</sub> O	4,60	4,56	4,58	4,57	4,59

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD25XM22	PD25XM23	PD25XM24	PD26L1	PD26L2
SiO <sub>2</sub>	47,15	46,29	47,27	44,91	44,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,03	36,33	35,39	28,68	36,31
FeO	1,33	1,29	1,23	0,04	0,01
MgO	0,85	0,67	1,02	-	-
CaO	0,02	0,06	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,66	0,64	0,63	0,17	0,33
K <sub>2</sub> O	9,38	9,63	9,73	10,72	10,54
TiO <sub>2</sub>	0,86	0,92	0,67	-	-
MnO	0,02	0,01	-	0,41	0,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,01	-	0,07	0,03
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	1,17	0,66
Cs <sub>2</sub> O	-	0,05	0,03	0,28	0,10
H <sub>2</sub> O	4,59	4,56	4,57	4,21	4,38

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD26L3	PD26L4	PD46L5	PD46L6	PD26L7
SiO <sub>2</sub>	44,11	48,19	47,92	48,26	44,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,75	30,38	29,72	29,36	38,58
FeO	0,03	0,03	0,08	0,05	0,03
MgO	-	-	-	0,02	-
CaO	-	-	0,01	0,02	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,22	0,19	0,17	0,36
K <sub>2</sub> O	10,87	11,09	10,98	10,38	10,87
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	-	-	-
MnO	0,05	0,36	0,35	0,34	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,06	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,21	1,15	1,18	1,09	0,22
Cs <sub>2</sub> O	0,01	0,12	-	0,13	0,05
H <sub>2</sub> O	4,43	4,31	4,26	4,25	4,51

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD26L8	PD26L9	PD26L10	PD46L1	PD46L2
SiO <sub>2</sub>	48,49	45,06	44,84	50,14	45,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,19	38,00	38,92	28,30	36,14
FeO	0,07	-	-	0,24	0,17
MgO	-	-	-	-	0,04
CaO	0,01	-	0,04	-	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,33	0,34	0,01	0,70
K <sub>2</sub> O	10,99	11,00	10,92	10,82	9,78
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	0,01	0,01	-
MnO	0,33	0,02	0,04	0,53	0,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	0,02	0,04	0,06
Rb <sub>2</sub> O	1,13	0,24	0,40	1,16	0,70
Cs <sub>2</sub> O	0,06	0,30	0,17	0,22	-
H <sub>2</sub> O	4,37	4,49	4,53	4,32	4,43

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD46L3	PD46L4	PD46L5	PD46L6	PD46L7
SiO <sub>2</sub>	47,71	50,22	49,21	50,55	49,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,93	25,76	29,44	27,72	30,53
FeO	0,14	0,18	0,19	0,23	0,13
MgO	0,02	0,01	0,01	-	-
CaO	0,01	0,02	0,02	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,28	0,17	0,21	0,15	0,17
K <sub>2</sub> O	10,64	10,63	10,74	10,93	11,31
TiO <sub>2</sub>	0,02	-	-	0,04	0,02
MnO	0,25	0,43	0,40	0,70	0,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,04	0,06	0,05	0,05
Rb <sub>2</sub> O	0,84	0,76	1,02	1,25	1,07
Cs <sub>2</sub> O	0,19	0,76	0,17	0,08	0,16
H <sub>2</sub> O	4,30	4,20	4,32	4,32	4,38

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD46L8	PD46L9	PD46L10	PD53L1	PD53L4
SiO <sub>2</sub>	50,63	46,03	49,01	51,56	48,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,13	37,04	30,65	26,41	25,67
FeO	0,25	0,09	0,13	0,04	-
MgO	0,01	-	-	-	0,03
CaO	-	-	-	-	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,39	0,23	0,17	0,19
K <sub>2</sub> O	10,68	10,79	10,89	10,66	10,17
TiO <sub>2</sub>	-	0,01	0,02	-	-
MnO	0,58	0,22	0,46	0,74	0,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,03	0,07	0,01	0,01
Rb <sub>2</sub> O	1,12	0,62	0,93	1,22	1,31
Cs <sub>2</sub> O	0,16	-	0,17	0,13	0,05
H <sub>2</sub> O	4,29	4,51	4,37	4,30	4,07

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD53L6	PD53L7	PD53L8	PD53L9	PD53L10
SiO <sub>2</sub>	50,74	51,32	47,18	51,32	46,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,84	25,40	35,90	25,40	37,11
FeO	0,10	0,03	0,01	0,06	0,05
MgO	0,01	0,01	-	-	-
CaO	0,01	-	-	0,01	-
Na <sub>2</sub> O	0,30	0,19	0,41	0,12	0,32
K <sub>2</sub> O	10,07	10,81	10,63	10,72	10,58
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,01	0,03	0,03
MnO	0,75	0,72	0,21	0,76	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,04	0,01	0,04	0,05
Rb <sub>2</sub> O	1,34	1,47	0,84	1,55	0,76
Cs <sub>2</sub> O	0,23	0,14	0,22	0,17	0,13
H <sub>2</sub> O	4,28	4,25	4,51	4,29	4,50

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD53L11	PD53L12	PD53L13	PD56M1	PD56M2
SiO <sub>2</sub>	46,87	43,59	40,51	43,02	45,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,47	36,73	41,65	34,46	36,49
FeO	0,01	0,01	-	1,78	1,89
MgO	-	0,04	0,05	0,04	0,03
CaO	-	0,05	0,01	0,04	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,50	0,56	0,46	0,60
K <sub>2</sub> O	10,94	9,54	6,55	8,65	8,56
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	0,01	0,05	0,06
MnO	0,22	0,16	0,11	0,03	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,02	0,07	0,02	0,02
Rb <sub>2</sub> O	1,11	0,72	0,69	0,31	0,24
Cs <sub>2</sub> O	0,13	0,19	0,08	0,12	0,04
H <sub>2</sub> O	4,38	4,34	4,36	4,22	4,46

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD56M4	PD56M5	PD56M6	PD56M11	PD56M12
SiO <sub>2</sub>	45,95	45,69	45,18	46,43	46,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,29	36,28	36,19	36,60	36,46
FeO	1,69	1,89	1,79	1,76	1,78
MgO	0,06	0,02	0,04	0,06	0,07
CaO	0,10	0,04	0,01	0,06	0,11
Na <sub>2</sub> O	0,66	0,59	0,66	0,50	0,68
K <sub>2</sub> O	8,22	8,35	8,73	8,96	8,73
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,03	0,03	0,03	0,09
MnO	0,07	0,05	0,15	0,07	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,08	0,02	0,02	-
Rb <sub>2</sub> O	0,29	0,33	0,28	0,30	0,22
Cs <sub>2</sub> O	0,13	-	-	-	-
H <sub>2</sub> O	4,47	4,45	4,43	4,52	4,50

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD56M13	PD56M14	PD56M15	PD56M18	PD56M19
SiO <sub>2</sub>	46,30	45,81	46,24	46,13	46,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,60	36,52	36,75	36,79	36,87
FeO	1,81	1,80	1,87	1,69	1,72
MgO	0,01	0,03	0,05	0,08	0,04
CaO	-	-	0,08	0,11	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,72	0,64	0,66	0,53	0,65
K <sub>2</sub> O	9,00	9,24	9,00	9,46	9,27
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04
MnO	0,11	0,05	0,07	0,03	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	-	0,03	0,04	0,06
Rb <sub>2</sub> O	0,25	0,24	0,24	0,23	0,28
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,05	-	0,07
H <sub>2</sub> O	4,52	4,51	4,55	4,47	4,52

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD56M20	PD56M21	PD56M22	PD56M23	PD56M24
SiO <sub>2</sub>	45,23	45,10	46,66	45,51	45,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,99	35,81	37,14	35,71	36,42
FeO	1,75	1,76	1,74	1,80	1,69
MgO	0,03	0,07	0,02	0,05	0,08
CaO	0,06	0,08	0,05	0,08	0,11
Na <sub>2</sub> O	0,69	0,74	0,69	0,58	0,53
K <sub>2</sub> O	8,92	8,91	8,76	9,01	9,46
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04
MnO	0,09	0,14	0,11	0,08	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,09	-	0,04	0,04
Rb <sub>2</sub> O	0,20	0,25	0,17	0,25	0,23
Cs <sub>2</sub> O	0,05	-	-	-	-
H <sub>2</sub> O	4,42	4,42	4,55	4,43	4,47



Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD56M25	PD56M26	PD57M1	PD57M2	PD57M3
SiO <sub>2</sub>	45,84	46,25	46,09	45,60	46,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,97	36,78	36,97	35,93	37,32
FeO	1,67	1,72	1,25	1,54	1,44
MgO	0,07	0,04	0,07	0,12	0,13
CaO	0,18	0,04	-	0,12	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,65	0,58	0,59	0,57
K <sub>2</sub> O	8,80	9,27	10,30	9,80	10,13
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,04	0,05	0,07	0,06
MnO	0,06	0,01	-	0,04	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,06	0,02	0,03	-
Rb <sub>2</sub> O	0,19	0,28	0,01	0,14	0,03
Cs <sub>2</sub> O	-	0,07	0,25	-	-
H <sub>2</sub> O	4,45	4,52	4,53	4,45	4,57

Tabela 32 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **micas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD57M4	PD57M5	PD57M6	PD57M7	PD57M8
SiO <sub>2</sub>	46,55	46,79	45,42	45,72	46,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,49	37,06	36,22	36,93	37,18
FeO	1,57	1,53	1,51	1,48	1,45
MgO	0,20	0,13	0,12	0,13	0,10
CaO	0,22	-	0,01	-	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,63	0,76	0,53	0,60	0,53
K <sub>2</sub> O	9,93	10,11	10,24	10,36	10,05
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04
MnO	0,04	0,03	0,01	0,02	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,03	0,06	-	0,03
Rb <sub>2</sub> O	0,16	0,07	0,11	0,14	0,16
Cs <sub>2</sub> O	0,22	-	0,13	-	0,10
H <sub>2</sub> O	4,54	4,58	4,46	4,51	4,55

Tabela 33 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira.

AMOS-TRAS	PD22T4	PD25XT1	PD27T1	PD27T2	PD27T3
SiO <sub>2</sub>	48,13	37,37	34,83	34,33	35,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,67	34,58	35,23	35,31	34,90
FeO	0,04	6,57	12,16	11,69	12,00
MgO	0,03	6,46	2,02	2,01	2,18
CaO	0,05	0,07	0,08	0,09	0,12
Na <sub>2</sub> O	-	2,06	1,53	1,46	1,55
K <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,04	0,02	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,13	0,09	0,08	0,19
MnO	-	0,06	0,20	0,17	0,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,01	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,04	0,02	0,04
H <sub>2</sub> O	4,64	4,18	4,01	3,97	4,03

Tabela 33 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD27T5	PD27T9	PD33T1	PD33T2	PD33T3
SiO <sub>2</sub>	34,75	34,25	34,33	34,67	35,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,18	35,11	34,76	34,96	35,23
FeO	11,85	12,07	13,01	13,27	13,19
MgO	2,07	1,86	1,12	1,14	1,10
CaO	0,10	0,08	0,07	0,06	0,03
Na <sub>2</sub> O	1,52	1,54	1,46	1,50	1,54
K <sub>2</sub> O	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,11	0,10	0,23	0,12
MnO	0,20	0,17	0,26	0,29	0,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,02	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	0,05	0,02	-	-
H <sub>2</sub> O	4,00	3,96	3,94	3,98	4,03

Tabela 33 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD33T4	PD33T9	PD45T3	PD45T4	PD45T5
SiO <sub>2</sub>	34,93	34,79	34,33	34,67	35,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,72	35,70	34,76	34,96	35,23
FeO	13,26	13,31	13,01	13,27	13,19
MgO	0,08	0,06	1,12	1,14	1,10
CaO	0,02	0,01	0,07	0,06	0,03
Na <sub>2</sub> O	1,42	1,33	1,46	1,50	1,54
K <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,05	0,10	0,23	0,12
MnO	0,65	0,71	0,26	0,29	0,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	-	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	0,04	0,02	-	-
H <sub>2</sub> O	3,99	3,98	3,94	3,98	4,03

Tabela 33 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD45T6	PD45T7	PD55T1	PD55T2	PD55T3
SiO <sub>2</sub>	35,07	34,59	34,33	34,67	35,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,09	34,27	34,76	34,96	35,23
FeO	10,61	10,78	13,01	13,27	13,19
MgO	3,41	3,32	1,12	1,14	1,10
CaO	0,19	0,21	0,07	0,06	0,03
Na <sub>2</sub> O	1,88	1,83	1,46	1,50	1,54
K <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,18	0,10	0,23	0,12
MnO	0,18	0,18	0,26	0,29	0,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,05	-	-	0,01
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,02	-	-
H <sub>2</sub> O	4,01	3,99	3,94	3,98	4,03

Tabela 33 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **turmalinas** dos Pegmatitos da Pederneira. (continuação)

AMOS- TRAS	PD55T4	PD55T8			
SiO <sub>2</sub>	34,09	34,81			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,48	35,07			
FeO	12,79	13,17			
MgO	1,12	1,08			
CaO	0,06	0,04			
Na <sub>2</sub> O	1,51	1,51			
K <sub>2</sub> O	0,04	0,05			
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,14			
MnO	0,27	0,25			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,03			
Rb <sub>2</sub> O	-	-			
Cs <sub>2</sub> O	0,12	-			
H <sub>2</sub> O	3,91	3,99			

Tabela 34 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **berilo** do Pegmatito da Pederneira.

AMOS- TRAS	PD19BE1	PD19BE2	PD19BE3	PD19BE4	PD19BE8
SiO <sub>2</sub>	66,10	66,50	66,87	66,98	67,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,03	18,97	18,86	18,83	18,86
FeO	0,56	0,48	0,47	0,43	0,59
MgO	0,07	0,08	0,06	0,09	0,07
CaO	0,01	0,01	-	0,01	-
Na <sub>2</sub> O	0,28	0,32	0,27	0,28	0,31
K <sub>2</sub> O	0,04	0,02	-	0,03	0,01
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	-	-	-
MnO	0,01	-	-	0,04	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,01	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
Cs <sub>2</sub> O	0,03	0,05	-	-	0,05
H <sub>2</sub> O	4,55	4,57	4,58	4,58	4,59

Tabela 35 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **granada** do Pegmatito da Pederneira.

AMOS-TRAS	PD68G1	PD68G3	PD68G4	PD68G5	PD68G6
SiO <sub>2</sub>	36,38	36,06	35,91	36,01	36,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,61	20,44	20,53	20,53	20,79
FeO	11,62	11,93	11,84	11,34	11,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-
MgO	-	0,01	0,02	0,01	0,01
CaO	0,19	0,18	0,20	0,15	0,20
Na <sub>2</sub> O	-	0,03	0,02	-	-
K <sub>2</sub> O	0,01	-	-	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02
MnO	29,56	29,53	29,62	30,17	30,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,01	-	-
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	-	-	0,04	0,04

Tabela 35 – Análises químicas por microsonda eletrônica de **granada** do Pegmatito da Pederneira. (continuação)

AMOS-TRAS	PD68G7	PD68G8	PD68G9	PD68G11	PD68G12
SiO <sub>2</sub>	36,04	35,81	36,06	36,07	69,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,57	20,63	20,83	20,72	20,26
FeO	11,15	11,55	11,48	11,48	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,10
MgO	-	-	-	-	0,01
CaO	0,18	0,20	0,16	0,20	0,26
Na <sub>2</sub> O	-	0,01	-	-	10,76
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,13
TiO <sub>2</sub>	-	0,03	0,04	0,01	-
MnO	30,06	30,16	29,94	30,46	0,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,03	0,04	-	0,01
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,05	-	-	0,02

ANEXO VII

Fluorescência de Raios X  
(Tabelas 36 a 41)

Tabela 36 – Análises químicas de elementos-traços dos <b>feldspatos</b> dos Pegmatitos da Pederneira, analisados por <b>fluorescência de raios X</b> .						
AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 1	7	52	436	62	>1000	nd
PD - 2	55	84	34	56	63	nd
PD - 4	53	164	37	58	85	nd
PD - 6	19	56	185	37	>1000	nd
PD – 8	58	88	61	97	125	nd
PD – 12	5	52	604	55	>1000	nd
PD – 15	65	108	56	69	136	nd
PD – 17	29	63	159	49	947	nd
PD – 22	29	63	135	60	666	nd
PD – 29	25	59	163	49	905	nd
PD – 31	24	59	141	41	777	nd
PD – 34	26	61	256	46	>1000	nd
PD – 36	28	60	142	41	926	nd
PD – 38	22	61	289	44	>1000	nd
PD – 41	23	59	150	38	837	nd
PD – 43	25	63	191	91	>1000	77
PD – 44	23	59	190	41	>1000	nd
PD – 48	64	92	59	66	154	nd
PD – 51	60	89	49	71	107	nd
PD – 54	76	102	69	94	174	nd
PD – 61	29	66	213	53	>1000	nd
PD – 63	36	72	248	67	>1000	nd
PD – 66	68	95	74	74	231	nd
PD – 67	72	100	56	83	105	483
PD – 69	25	66	364	62	>1000	nd
PD – 70	38	80	329	72	>1000	nd

nd – não detectado

Tabela 37 – Análises químicas de elementos-traços das <b>micas</b> dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por <b>fluorescência de raios X</b> .						
AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 3	275	61	137	35	775	nd
PD – 5	146	59	690	67	>1000	nd
PD – 9	224	62	136	37	753	nd
PD – 11	131	63	597	46	>1000	nd
PD – 14	91	112	956	61	>1000	nd
PD – 16	88	79	629	50	>1000	nd
PD – 21	332	60	297	38	>1000	nd
PD – 26	105	56	>1000	68	>1000	nd
PD – 28	214	60	201	36	>1000	nd
PD – 30	146	61	377	42	>1000	nd
PD – 35	140	67	390	49	>1000	nd
PD – 40	156	59	670	49	>1000	nd
PD – 42	221	61	117	38	633	nd
PD – 46	95	97	>1000	64	>1000	nd
PD – 47	238	66	357	46	>1000	nd
PD – 50	244	69	131	42	672	nd
PD – 52	247	67	136	42	720	nd
PD – 53	91	79	953	67	>1000	nd
PD – 56	273	67	353	49	>1000	nd
PD – 57	351	69	238	46	>1000	nd
PD – 58	292	68	321	49	>1000	nd
PD – 59	307	72	313	52	>1000	nd
PD – 62	113	68	692	62	>1000	nd
PD – 65b	46	73	586	69	>1000	nd

nd – não detectado



**Tabela 38 – Análises químicas de elementos-traços das turmalinas dos Pegmatitos da Pederneira, analisadas por fluorescência de raios X.**

AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 7	9	35	nd	11	19	nd
PD – 18	8	58	38	16	25	40
PD – 20	11	46	5	19	29	nd
PD – 27	21	35	nd	10	20	40
PD – 32	9	43	5	19	30	nd
PD – 33	nd	30	nd	5	20	nd
PD – 37	nd	76	nd	6	58	nd
PD – 39	5	37	nd	10	22	nd
PD – 45	10	44	nd	18	28	nd
PD – 49	5	40	5	14	71	nd
PD – 55	5	38	nd	14	65	nd
PD – 60	7	41	5	15	30	40
PD – 64	6	45	5	64	68	40
PD – 65a	67	83	148	118	729	nd

nd – não detectado

<b>Tabela 39 – Análises químicas de elementos-traços do berilo do Pegmatito da Pederneira, analisado por fluorescência de raios X.</b>						
AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 19	56	126	47	58	109	nd

nd – não detectado

<b>Tabela 40 – Análises químicas de elementos-traços da granada do Pegmatito da Pederneira, analisada por fluorescência de raios X.</b>						
AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 68	nd	35	nd	nd	6	75

nd – não detectado

<b>Tabela 41 – Análises químicas de elementos-traços da rocha encaixante (quartzo-biotita xisto) dos Pegmatitos da Pederneira, analisada por fluorescência de raios X.</b>						
AMOSTRAS	Nb	Zr	Y	Sc	Rb	Ba
PD – 10	90	211	261	56	>1000	69
PD – 13	25	211	51	89	208	946
PD – 25	32	241	66	124	253	447