

#### 4.1.4 Monte Jaseur

Cristais de olivina de diversos tamanhos são observados. Três grupos com composições distintas foram analisados: macrofenocristais (Fo<sub>81,6</sub>), fenocristais (Fo<sub>78</sub>) e matriz (Fo<sub>70,1</sub>).

Tabela 13- Composições representativas (wt.%) para olivinas do Monte Jaseur, Oceano Atlântico Sul.  
Monte submarino Jaseur

| Fenocristais de olivina |                      |                    |                     |                                |
|-------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|
|                         | Pequeno <sup>a</sup> | Médio <sup>b</sup> | Grande <sup>c</sup> | Varição observada <sup>d</sup> |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>  | 37,93                | 39,15              | 40,5                | (42,18-37,43)                  |
| <b>FeO</b>              | 26,42                | 20,12              | 17,15               | (28,08-15,18)                  |
| <b>MnO</b>              | 0,49                 | 0,31               | 0,2                 | (0,59-0,13)                    |
| <b>MgO</b>              | 34,83                | 40,13              | 42,61               | (44,64-33,09)                  |
| <b>CaO</b>              | 0,40                 | 0,26               | 0,21                | (0,46-0,16)                    |
| <b>NiO</b>              | 0,02                 | 0,10               | 0,13                | (0,37-0,00)                    |
| <b>Total</b>            | 100,09               | 100,07             | 100,8               |                                |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>   | 70,1                 | 78,0               | 81,6                |                                |
| <b>Fo</b>               | 70,1                 | 78,0               | 81,5                |                                |
| <b>Fa</b>               | 29,9                 | 22,0               | 18,5                |                                |

<sup>a</sup> Composições médias para 11 pontos de análises tomados de um típico cristal pequeno de olivina.

<sup>b</sup> Composições médias para 19 pontos de análises tomados de um típico cristal médio de olivina.

<sup>c</sup> Composições médias para 27 pontos de análises tomados de um típico cristal grande de olivina.

<sup>d</sup> Variação composicional de diversos pontos de fenocristais de olivina.

Observação: a nomenclatura utilizada para agrupar os tamanhos dos cristais é comparativa entre os grupos observados, sendo separados em pequenos, médios e grandes.

Fonte: O autor, 2016.

#### 4.1.5 Monte Montague

Os fenocristais médios (Fo<sub>81,1</sub>) e grandes (Fo<sub>79,7</sub>) de olivina possuem uma composição parecida. Os cristais da matriz apresentam uma composição de menor teor de Mg (Fo<sub>77,9</sub>).

Tabela 14 - Composições representativas (wt.%) para olivinas do Monte Montague, Oceano Atlântico Sul.

| <b>Monte submarino Montague</b> |                            |                          |                           |                                       |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>Fenocristais de olivina</b>  |                            |                          |                           |                                       |
|                                 | <b>Pequeno<sup>a</sup></b> | <b>Médio<sup>b</sup></b> | <b>Grande<sup>c</sup></b> | <b>Variação observada<sup>d</sup></b> |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>          | 38,75                      | 38,98                    | 38,03                     | (41,24-35,54)                         |
| <b>FeO</b>                      | 20,44                      | 18,00                    | 19,14                     | (21,69-15,95)                         |
| <b>MnO</b>                      | 0,34                       | 0,24                     | 0,28                      | (0,49-0,14)                           |
| <b>MgO</b>                      | 40,44                      | 43,27                    | 42,14                     | (45,43-39,22)                         |
| <b>CaO</b>                      | 0,31                       | 0,24                     | 0,25                      | (0,42-0,15)                           |
| <b>NiO</b>                      | 0,12                       | 0,09                     | 0,07                      | (0,22-0,05)                           |
| <b>Total</b>                    | 100,40                     | 100,82                   | 99,91                     |                                       |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>           | 77,9                       | 81,1                     | 79,7                      |                                       |
| <b>Fo</b>                       | 77,9                       | 81,1                     | 79,7                      |                                       |
| <b>Fa</b>                       | 22,1                       | 18,9                     | 20,3                      |                                       |

<sup>a</sup> Composições médias para 8 pontos de análises tomados de um típico cristal pequeno de olivina.

<sup>b</sup> Composições médias para 22 pontos de análises tomados de um típico cristal médio de olivina.

<sup>c</sup> Composições médias para 8 pontos de análises tomados de um típico cristal grande de olivina.

<sup>d</sup> Variação composicional de diversos pontos de fenocristais de olivina.

Observação: a nomenclatura utilizada para agrupar os tamanhos dos cristais é comparativa entre os grupos observados, sendo separados em pequenos, médios e grandes.

Fonte: O autor, 2016.

#### 4.1.6 Martin Vaz

A tabela 15 mostra a composição química dos minerais presentes nos derrames ankaramíticos (MVA-03, MVA-04 e MVA-09) e nas intrusivas fonolíticas (MVA-05 e MVA-08) da ilha principal de Martin Vaz. A figura 31 apresenta as amostras analisadas no diagrama de classificação dos piroxênios.

Tabela 15 – Composição química dos minerais presentes nos derrames ankaramíticos e nas intrusivas fonolíticas da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul. (Continua)

| Kaersutita (MVA-03, MVA-05)     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Noseana (MVA-05, MVA-08) |        |       |        |       |        |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                | 38,87 | 39,12 | 39,25 | 39,75 | 38,77 | 38,29 | 37,88 | 38,56 | 40,49 | 38,2                     | 41,37  | 41,17 | 41,14  | 41,7  | 41,17  | 41,67 | 34,37 | 42,26 | 41,47 |
| TiO <sub>2</sub>                | 4,98  | 6,56  | 5,44  | 5,45  | 5,9   | 6,43  | 6,16  | 6,34  |       |                          |        |       |        |       |        |       |       |       |       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 13,94 | 12,18 | 11,92 | 12,1  | 13,01 | 12,15 | 12,66 | 13,2  | 29,79 | 28,54                    | 29,88  | 29,68 | 30,07  | 29,9  | 30,36  | 30,5  | 25,92 | 30,34 | 29,81 |
| FeO                             | 10,57 | 10,11 | 10,5  | 10,62 | 10,45 | 10    | 11,23 | 10,27 | 0,24  | 0,28                     | 0,34   | 0,34  | 0,37   | 0,31  | 0,33   | 0,3   | 0,28  | 0,25  | 0,26  |
| MnO                             | 0,21  | 0,11  | 0,13  | 0,17  | 0,12  | 0,1   | 0,09  | 0,14  |       |                          |        |       |        |       |        |       |       |       |       |
| MgO                             | 13,15 | 13,56 | 13,92 | 13,67 | 13,09 | 13,53 | 11,92 | 13,02 |       |                          |        |       |        |       |        |       |       |       |       |
| CaO                             | 11,44 | 11,75 | 11,93 | 11,63 | 11,51 | 12,54 | 11,89 | 11,84 | 0,08  | 0,21                     | 0,09   | 0,17  | 0,38   | 0,13  | 0,07   | 0,05  | 0     | 0,39  | 0,57  |
| Na <sub>2</sub> O               | 3,23  | 3,01  | 3,21  | 3,45  | 3,38  | 3,57  | 3,63  | 3,08  | 22,46 | 21,64                    | 22,91  | 22,66 | 22,63  | 21,38 | 22,4   | 21,33 | 18,98 | 19,67 | 22,17 |
| K <sub>2</sub> O                | 1,79  | 1,73  | 1,73  | 1,67  | 1,82  | 1,73  | 1,73  | 1,79  | 0,37  | 0,43                     | 0,4    | 0,38  | 0,42   | 0,36  | 0,35   | 0,37  | 0,4   | 0,33  | 0,48  |
| H <sub>2</sub> O <sup>(T)</sup> | 1,26  | 1,26  | 1,26  | 1,26  | 1,26  | 1,26  | 1,26  | 1,26  |       |                          |        |       |        |       |        |       |       |       |       |
| SO <sub>3</sub>                 |       |       |       |       |       |       |       |       | 6,32  | 10,55                    | 5,6    | 5,49  | 5,51   | 5,55  | 5,51   | 5,43  | 19,38 | 5,97  | 5,43  |
| Total                           | 99,44 | 99,39 | 99,29 | 99,76 | 99,32 | 99,6  | 98,45 | 99,5  | 99,74 | 99,85                    | 100,58 | 99,89 | 100,52 | 99,33 | 100,19 | 99,64 | 99,33 | 99,2  | 100,2 |

H<sub>2</sub>O(T): Valores somados da literatura (Deer, Howie & Zussman, 1966) PARA H<sub>2</sub>O+, H<sub>2</sub>O-, F;

Classificação baseada em Deer, Howie &amp; Zussman (1966);

| Álcali-Feldspato (Sanidina - MVA-03, MVA-08) |        |        |       |       |        |       |        |       |       |       |        | Ca-Perovskita (MVA-09) |        |       |       |      |        |        |       |       |        |
|--|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------------------------|--------|-------|-------|------|--------|--------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>                             | 65,22  | 63,45  | 62,19 | 61,76 | 64,87  | 64,14 | 66,12  | 63,87 | 65,65 | 62,03 | 65,61  | L.D.                   | L.D.   | 0,12  | 2,71  | L.D. | 7,73   | L.D.   | 2,58  | 0,95  | L.D.   |
| MgO  |        |        |       |       |        |       |        |       |       |       |        | 0,23                   | 0,24   | 0,31  | 1,12  | 0,22 | 3,09   | 0,1    | 1,44  | 0,5   | 0,12   |
| CaO  | 0,02   | 0      | 0,04  | 0,03  | 0,03   | 0,16  | 0,09   | 0,12  | 0,03  | 0,13  | 0,01   | 39,43                  | 39,85  | 39,04 | 37    | 37,2 | 37,27  | 38,52  | 38,74 | 38,71 | 39,78  |
| K <sub>2</sub> O                             | 12,57  | 11,79  | 11,03 | 11,22 | 13,49  | 13,63 | 10,39  | 10,84 | 11,75 | 8,97  | 11,54  |                        |        |       |       |      |        |        |       |       |        |
| Na <sub>2</sub> O                            | 2,91   | 3,02   | 2,94  | 2,69  | 2,35   | 2,02  | 3,81   | 4,21  | 3,54  | 5,41  | 3,85   | 0,63                   | 0,63   | 0,69  | 0,82  | 0,64 | 0,67   | 0,53   | 0,68  | 0,69  | 0,5    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 18,41  | 18,9   | 19,18 | 19,16 | 18,21  | 16,84 | 18,51  | 19,17 | 17,96 | 21,54 | 18,07  | 0,26                   | 0,39   | 0,23  | 0,36  | 0,16 | 0,76   | 0,21   | 0,4   | 0,33  | 0,43   |
| FeO  | 0,43   | 0,49   | 0,52  | 0,64  | 0,77   | 2,08  | 0,81   | 0,72  | 0,86  | 1,2   | 0,89   | 1,11                   | 1,31   | 1,15  | 1,23  | 1,12 | 1,86   | 1,07   | 1,43  | 1,19  | 1,15   |
| TiO <sub>2</sub>                             |        |        |       |       |        |       |        |       |       |       |        | 54,97                  | 55,24  | 54,79 | 53,09 | 56,9 | 46,9   | 56,61  | 50,36 | 53,84 | 55,29  |
| BaO  | 0,5    | 2,38   | 3,88  | 4,07  | 0,36   | 0,18  | 1,12   | 0,92  | 0,1   | 0,02  | 0,07   |                        |        |       |       |      |        |        |       |       |        |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               |        |        |       |       |        |       |        |       |       |       |        | 0,84                   | 1,13   | 1,06  | 1,03  | 1,07 | 0,94   | 0,9    | 1,03  | 0,95  | 0,95   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               |        |        |       |       |        |       |        |       |       |       |        | 2,64                   | 2,44   | 2,55  | 2,48  | 2,34 | 2,29   | 2,58   | 2,46  | 2,19  | 2,14   |
| Total  | 100,05 | 100,03 | 99,77 | 99,58 | 100,08 | 99,05 | 100,84 | 99,85 | 99,88 | 99,3  | 100,05 | 99,81                  | 100,98 | 99,94 | 99,84 | 99,6 | 101,51 | 100,32 | 99,12 | 99,37 | 100,07 |

|           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Ab</b> | 26    | 26,7  | 84,93 | 26,68 | 20,89 | 18,26 | 35,63 | 36,92 | 31,38 | 47,53 | 33,65 |
| <b>Na</b> | 0,09  | 0,09  | 0,16  | 0,19  | 0,16  | 0,79  | 0,44  | 0,58  | 0,13  | 0,65  | 0,06  |
| <b>Or</b> | 73,92 | 73,21 | 14,92 | 73,13 | 78,95 | 80,95 | 63,92 | 62,51 | 68,49 | 51,82 | 66,29 |

Classificação baseada em Deer, Howie & Zussman (1966);

| Fenocristais de clinopiroxênio (core - MVA-09) <sup>1</sup> - Nefelinito |        |       |       |        |        |        |       | Fenocristais de clinopiroxênio (rim - MVA-09) <sup>1</sup> - Nefelinito |        |       |       |        |       |        |       | Clinopiroxênios da matriz (MVA-09) <sup>1</sup> - Nefelinito |       |        |        |        |        |        |  |
|--|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|---|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| <b>SiO<sub>2</sub></b>   | 50,91  | 48,09 | 49,47 | 49,81  | 51,31  | 50,26  | 49,7  | 50,38   | 50,13  | 48,69 | 46,67 | 50,81  | 49,6  | 48,88  | 45,59 | 45,33  | 47,43 | 46,49  | 48,08  | 51,26  | 50,43  | 49,9   |  |
| <b>MgO</b>   | 9,3    | 9,58  | 9,05  | 9,55   | 8,75   | 9,32   | 9,14  | 15,1  | 15,11  | 13,7  | 13,95 | 15,31  | 14,97 | 13,89  | 12,71 | 12,71  | 13,46 | 12,78  | 13,36  | 14,98  | 15,13  | 15,63  |  |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                                       | 4,49   | 4,23  | 4,67  | 4,45   | 3,95   | 4,54   | 4,77  | 3,95  | 4,27   | 5,73  | 6,62  | 3,79   | 4,12  | 5,43   | 7,69  | 7,72   | 5,82  | 7,98   | 6,31   | 4,38   | 4,51   | 4,36   |  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>   | 1,83   | 1,74  | 1,85  | 1,9    | 2,22   | 1,73   | 2,03  | 0,47  | 0,58   | 0,85  | 0,55  | 0,51   | 0,33  | 0,69   | 0,63  | 0,67   | 0,7   | 0,75   | 0,61   | 0,48   | 0,51   | 0,41   |  |
| <b>FeO</b>   | 12,63  | 12,11 | 12,76 | 12,82  | 14,11  | 13     | 12,65 | 4,87  | 4,96   | 5,49  | 5,33  | 4,81   | 4,76  | 6,11   | 6,11  | 6,28   | 6,08  | 6,87   | 6,2    | 4,89   | 0,04   | 4,92   |  |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>   | 0,74   | 1,09  | 0,87  | 0,95   | 0,72   | 0,83   | 1,06  | 1,69  | 1,87   | 2,15  | 2,62  | 1,67   | 1,83  | 2,15   | 3,38  | 2,98   | 2,07  | 3      | 2,64   | 1,71   | 1,9    | 1,84   |  |
| <b>MnO</b>   | 0,48   | 0,49  | 0,57  | 0,51   | 0,53   | 0,57   | 0,58  | 0,06  | 0,08   | 0,09  | 0,1   | 0,09   | 0,12  | 0,15   | 0,06  | 0,06   | 0,1   | 0,1    | 0,11   | 0,1    | 0,05   | 0,08   |  |
| <b>CaO</b>   | 19,92  | 19,94 | 19,89 | 20,27  | 19,33  | 20,28  | 19,49 | 22,51   | 22,7   | 22,12 | 22,2  | 22,76  | 22,6  | 22,7   | 22,77 | 22,83  | 23,04 | 21,87  | 23,02  | 22,98  | 22,9   | 22,87  |  |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                                       | 0      | 0     | 0     | 0,07   | 0      | 0      | 0,02  | 0,26  | 0,34   | 0,6   | 0,58  | 0,42   | 0,36  | 0,44   | 0,59  | 0,6  | 0,29  | 0,56   | 0,49   | 0,35   | 0,44   | 0,35   |  |
| <b>Total</b>   | 100,28 | 97,26 | 99,11 | 100,32 | 100,94 | 100,52 | 99,43 | 99,29   | 100,03 | 99,42 | 98,62 | 100,18 | 98,7  | 100,43 | 99,54 | 99,17  | 98,99 | 100,41 | 100,83 | 101,14 | 100,89 | 100,35 |  |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>  | 56,8   | 58,5  | 55,8  | 57     | 52,5   | 56,1   | 56,3  | 84,7  | 84,4   | 81,6  | 82,3  | 85     | 84,9  | 80,2   | 78,7  | 78,3   | 79,8  | 76,8   | 79,3   | 84,5   | 99,9   | 85     |  |
| <b>Wo</b>  | 46,6   | 46,7  | 46,9  | 46,5   | 45,5   | 46,7   | 46,3  | 47,6  | 47,7   | 48,6  | 48,5  | 47,6   | 47,9  | 48,5   | 50,3  | 50,3   | 49,5  | 48,6   | 49,6   | 48,2   | 47,8   | 47,2   |  |
| <b>En</b>  | 30,3   | 31,2  | 29,7  | 30,5   | 28,6   | 29,9   | 30,2  | 44,4  | 44,2   | 41,9  | 42,4  | 44,5   | 44,2  | 41,3   | 39    | 39   | 40    | 39     | 40     | 44     | 44     | 45     |  |
| <b>Fs</b>  | 23,1   | 22,1  | 23,5  | 23     | 25,9   | 23,4   | 23,4  | 8   | 8,1    | 9,4   | 9,1   | 7,9    | 7,9   | 10,2   | 10,5  | 10,8   | 10,2  | 11,9   | 10,4   | 8      | 8,2    | 7,9    |  |
| <b>Al<sub>IV</sub></b>   | 0,132  | 0,117 | 0,1   | 0,107  | 0,062  | 0,097  | 0,101 | 0,132   | 0,151  | 0,186 | 0,242 | 0,131  | 0,147 | 0,19   | 0,287 | 0,288  | 0,213 | 0,271  | 0,223  | 0,134  | 0,155  | 0,164  |  |
| <b>Al<sub>VI</sub></b>   | 0,066  | 0,078 | 0,111 | 0,092  | 0,114  | 0,106  | 0,114 | 0,041   | 0,035  | 0,065 | 0,051 | 0,033  | 0,035 | 0,047  | 0,053 | 0,056  | 0,046 | 0,079  | 0,052  | 0,054  | 0,039  | 0,025  |  |

| Clinopiroxênios da matriz (MVA-09) <sup>2</sup> - Nefelinito |       |       |       |       |       |       |       | Clinopiroxênios da matriz (MVA-09) <sup>3</sup> - Nefelinito |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>SiO<sub>2</sub></b>                                       | 50,11 | 50,22 | 47,54 | 49,19 | 51,95 | 49,47 | 49,48 | 54,7   | 53,17 | 54,24 | 48,46 | 47,76 | 54,98 | 54,88 | 54,44 |
| <b>MgO</b>   | 14,33 | 14,68 | 15,49 | 14,82 | 15,48 | 14,83 | 14,54 | 16,26  | 15,35 | 15,8  | 14,2  | 13,63 | 16,41 | 16,15 | 16,48 |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                           | 3,6   | 4,14  | 4,98  | 4,53  | 3,09  | 4,48  | 5,28  | 0,87   | 2,94  | 1,84  | 5,08  | 6,32  | 0,94  | 1,18  | 1,39  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>                                       | 0,48  | 0,43  | 0,88  | 0,62  | 0,43  | 0,57  | 0,62  | 0,42   | 0,73  | 0,58  | 0,57  | 0,54  | 0,53  | 0,62  | 0,46  |
| <b>FeO</b>   | 5,16  | 5,01  | 5,51  | 5,11  | 5,01  | 5,32  | 5,46  | 4,45   | 5,28  | 4,58  | 6,01  | 6,6   | 4,45  | 4,63  | 4,65  |

|                                    |       |       |       |        |        |       |       |        |        |        |       |       |        |        |        |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | 2,34  | 2,1   | 2,38  | 2,68   | 1,9    | 2,6   | 2,3   | 0,88   | 1,92   | 1,44   | 2,6   | 2,93  | 1,14   | 1,23   | 1,47   |
| <b>MnO</b>                         | 0,06  | 0,09  | 0,1   | 0,06   | 0,11   | 0,12  | 0,1   | 0,07   | 0,12   | 0,13   | 0,11  | 0,11  | 0,05   | 0,14   | 0,11   |
| <b>CaO</b>                         | 23,67 | 23,07 | 18,28 | 22,97  | 23,03  | 23,03 | 22,08 | 23,13  | 22,44  | 22,93  | 22,51 | 22,43 | 22,85  | 22,57  | 23,53  |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,09  | 0,09  | 0,06  | 0,03   | 0,05   | 0,07  | -0,05 | 0      | 0,08   | 0      | 0     | 0     | 0      | 0,02   | 0      |
| <b>Total</b>                       | 99,84 | 99,83 | 95,21 | 100,01 | 101,05 | 100,5 | 99,8  | 100,78 | 102,01 | 101,53 | 99,53 | 100,3 | 101,32 | 101,41 | 102,53 |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>              | 83,2  | 83,9  | 83,4  | 83,8   | 84,6   | 83,2  | 82,6  | 86,7   | 83,8   | 86     | 80,8  | 78,6  | 86,8   | 86,1   | 86,3   |
| <b>Wo</b>                          | 49,7  | 48,7  | 41,4  | 48,3   | 47,5   | 48,2  | 47,4  | 47     | 46,8   | 47,3   | 47,9  | 48,2  | 46,5   | 46,4   | 47     |
| <b>En</b>                          | 42    | 43    | 49    | 43     | 44     | 43    | 43    | 46     | 44,6   | 45,3   | 42,1  | 40,7  | 46,5   | 46,2   | 45,8   |
| <b>Fs</b>                          | 8,5   | 8,2   | 9,7   | 8,4    | 8,1    | 8,7   | 9,1   | 7      | 8,6    | 7,4    | 10    | 11,1  | 7      | 7,4    | 7,2    |
| <b>Al<sub>IV</sub></b>             | 0,141 | 0,143 | 0,143 | 0,017  | 0,108  | 0,176 | 0,17  | 0,017  | 0,086  | 0,046  | 0,019 | 0,227 | 0,019  | 0,018  | 0,053  |
| <b>Al<sub>VI</sub></b>             | 0,016 | 0,037 | 0,037 | 0,057  | 0,025  | 0,018 | 0,06  | 0,02   | 0,039  | 0,033  | 0,032 | 0,05  | 0,021  | 0,022  | 0,006  |

| Fenocristais de clinopiroxênio (MVA-03) - Nefelinito |       |        |        |        |        |       |        |        |       |       | Fenocristais de clinopiroxênio (MVA-08) - Fonolito |       |        |       |       |       |       |       |        |        |       |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| <b>SiO<sub>2</sub></b>                               | 47,12 | 49,75* | 50,77* | 50,77* | 50,08* | 49,47 | 50,54  | 49,95  | 50,45 | 50,61 | 50,49*   | 48,58 | 48,76  | 49,45 | 46,78 | 44,8  | 48,78 | 45,95 | 49,02  | 46,33  | 48,88 |
| <b>MgO</b>   | 7,47  | 7,51   | 7,73   | 7,88   | 7,69   | 9,7   | 8,83   | 8,56   | 8,76  | 9,65  | 7,22   | 10,71 | 10,65  | 10,58 | 10,35 | 11,13 | 10,24 | 11,46 | 7,68   | 10,06  | 9,04  |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                   | 4,86  | 2,68   | 2,24   | 2,21   | 2,47   | 3,52  | 2,5    | 2,82   | 2,55  | 2,51  | 2,41   | 4,12  | 4,32   | 3,43  | 5,41  | 7,4   | 3,51  | 6,79  | 3,16   | 6,02   | 3,65  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>                               | 1,94  | 2,82   | 3,09   | 3      | 2,82   | 1,74  | 2,33   | 2,22   | 2,41  | 1,64  | 3,31   | 1,01  | 1,16   | 1,42  | 1,12  | 0,76  | 1,23  | 0,76  | 2,37   | 1,32   | 1,9   |
| <b>FeO</b>   | 15,27 | 16,56  | 16,3   | 16,05  | 15,74  | 12,79 | 14,68  | 15,25  | 14,64 | 13,34 | 16,55  | 11,61 | 11,16  | 11,52 | 11,28 | 9,15  | 11,98 | 8,74  | 15,87  | 11,26  | 14,13 |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>                               | 2,18  | 0,92   | 0,57   | 0,61   | 0,68   | 0,98  | 0,62   | 0,81   | 0,65  | 0,68  | 0,75   | 1,48  | 1,36   | 1,14  | 2     | 3,46  | 1,47  | 3,01  | 1,11   | 2,53   | 1,21  |
| <b>MnO</b>   | 0,03  | 0      | 0      | 0      | 0,01   | 0     | 0      | 0,01   | 0,01  | 0     | 0,01   | 0,02  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,01   | 0,01   | 0,01  |
| <b>CaO</b>   | 20,56 | 18,84  | 18,79  | 18,95  | 19,36  | 21,34 | 20,5   | 20,5   | 20,44 | 21,5  | 18,15  | 22,63 | 22,62  | 22,35 | 22,47 | 23,11 | 22,16 | 23,13 | 19,67  | 22,53  | 21,16 |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                   | 0,02  | 0      | 0,01   | 0,01   | 0      | 0,03  | 0      | 0,02   | 0,01  | 0     | 0,02   | 0     | 0      | 0,02  | 0,01  | 0     | 0,03  | 0,02  | 0,03   | 0,02   | 0,02  |
| <b>NiO</b>   | 0,03  | 0,01   | 0      | 0      | 0      | 0     | 0,02   | 0      | 0,04  | 0,01  | 0  | 0,03  | 0      | 0,01  | 0,03  | 0     | 0,01  | 0,01  | 0      | 0,04   | 0,01  |
| <b>ZnO</b>   | 0,03  | 0,1    | 0,04   | 0,08   | 0,07   | 0,01  | 0      | 0,02   | 0,03  | 0     | 0,08   | 0     | 0      | 0,06  | 0,03  | 0     | 0     | 0,02  | 0      | 0,06   | 0     |
| <b>Total</b>   | 99,5  | 99,18  | 99,54  | 99,55  | 98,91  | 99,58 | 100,01 | 100,15 | 99,98 | 99,94 | 98,98  | 100,2 | 100,02 | 99,96 | 99,46 | 99,81 | 99,41 | 99,88 | 98,91  | 100,17 | 99,99 |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>                                | 46,6  | 44,7   | 45,8   | 46,7   | 46,5   | 57,5  | 51,7   | 50     | 51,6  | 56,3  | 43,7   | 62,2  | 63     | 62,1  | 62    | 68,4  | 60,4  | 70    | 46,3   | 61,4   | 53,3  |
| <b>Wo</b>  | 48,15 | 44,88  | 44,71  | 44,9   | 45,96  | 47,77 | 46,53  | 46,47  | 46,59 | 47,55 | 44,4   | 48,67 | 49,14  | 48,66 | 49,34 | 50,64 | 48,55 | 50,49 | 46,23  | 49,88  | 47,47 |
| <b>En</b>  | 24,33 | 24,89  | 25,61  | 25,97  | 25,39  | 30,2  | 27,9   | 27     | 27,8  | 29,69 | 24,57  | 32,06 | 32,18  | 32,04 | 31,62 | 33,93 | 31,22 | 34,8  | 25,313 | 30,98  | 28,21 |
| <b>Fs</b>  | 27,53 | 30,22  | 29,68  | 29,13  | 28,65  | 22,03 | 25,57  | 26,53  | 25,61 | 22,76 | 31,03  | 19,27 | 18,68  | 19,29 | 19,04 | 15,43 | 20,23 | 14,71 | 28,64  | 19,14  | 24,32 |

|                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Al<sub>IV</sub></b> | 0,016 | 0,057 | 0,03  | 0,032 | 0,044 | 0,102 | 0,057 | 0,076 | 0,059 | 0,064 | 0,028 | 0,15  | 0,145 | 0,134 | 0,202 | 0,295 | 0,127 | 0,259 | 0,083 | 0,229 | 0,118 |
| <b>Al<sub>VI</sub></b> | 0,059 | 0,067 | 0,072 | 0,07  | 0,069 | 0,057 | 0,056 | 0,052 | 0,057 | 0,049 | 0,083 | 0,035 | 0,048 | 0,021 | 0,042 | 0,037 | 0,032 | 0,044 | 0,063 | 0,042 | 0,047 |

\* *aegerina-augita*

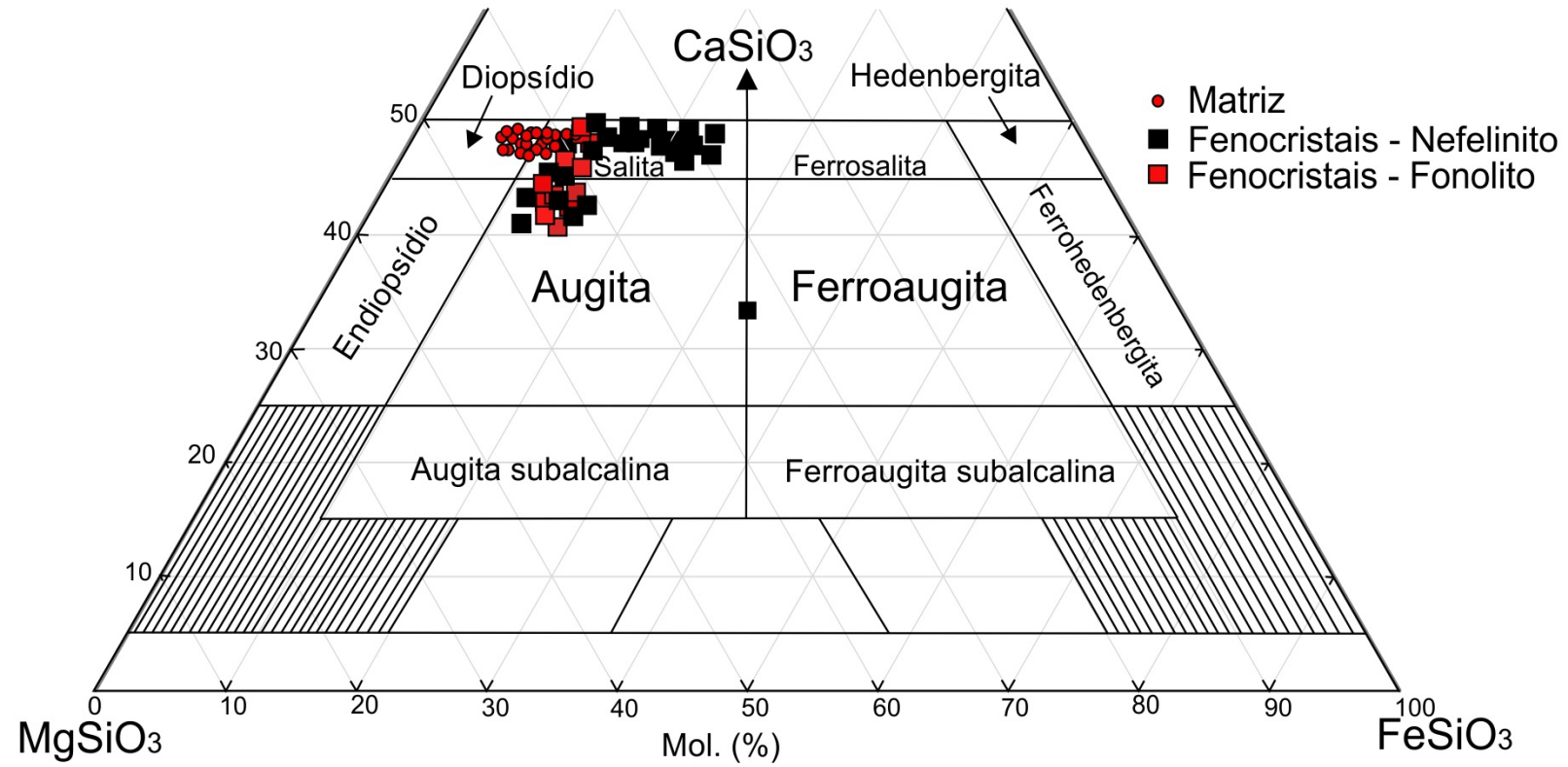
| Olivina - Forsterita (MVA-04) - Nefelinito |       |       |       |       |       |        |       |       | Titanita (MVA-03, MVA-08) - Nefelinito |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--|
| <b>SiO<sub>2</sub></b>                     | 39,18 | 39,01 | 39,48 | 38,88 | 39,44 | 39,24  | 39,99 | 39,01 | <b>SiO<sub>2</sub></b>                 | 30,05 | 30,28 | 30,05 | 30,17 | 30,14 | 30,06 | 29,81 | 30,06  |  |  |  |  |
| <b>MgO</b>                                 | 42,58 | 41,63 | 43,33 | 41,51 | 42,45 | 42,42  | 46,11 | 42,07 | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>     | 3,14  | 3,02  | 3,2   | 2,68  | 2,56  | 1,96  | 2,01  | 4,37   |  |  |  |  |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>         | 0,03  | 0     | 0     | 0,03  | 0     | 0      | 0,01  | 0,01  | <b>CaO</b>                             | 27,2  | 27,25 | 27,06 | 27    | 27,64 | 27,7  | 27,04 | 27,28  |  |  |  |  |
| <b>FeO</b>                                 | 17,19 | 17,39 | 16,3  | 17,41 | 17,12 | 17,39  | 13,09 | 16,63 | <b>TiO<sub>2</sub></b>                 | 35,49 | 36,1  | 34,66 | 36,42 | 37,4  | 37,03 | 36,56 | 36,89  |  |  |  |  |
| <b>CaO</b>                                 | 0     | 0,7   | 0,4   | 0,62  | 0,57  | 0,65   | 0,31  | 0,72  | <b>FeO</b>                             | 1,7   | 2,02  | 1,75  | 1,59  | 1,29  | 1,27  | 1,24  | 1,41   |  |  |  |  |
| <b>MnO</b>                                 | 0,34  | 0,34  | 0,2   | 0,35  | 0,32  | 0,34   | 0,16  | 0,31  | <b>Total</b>                           | 97,58 | 98,66 | 96,72 | 97,86 | 99,03 | 98,03 | 96,65 | 100,01 |  |  |  |  |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>         | 0,01  | 0     | 0,01  | 0     | 0     | 0,02   | 0,01  | 0     |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
| <b>NiO</b>                                 | 0,03  | 0,02  | 0     | 0     | 0     | 0,02   | 0,06  | 0,04  |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
| <b>Total</b>                               | 99,35 | 99,08 | 99,72 | 98,8  | 99,89 | 100,07 | 99,74 | 98,8  |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
| <b>Mg<sup>#</sup></b>                      | 81,5  | 81    | 82,6  | 80,9  | 81,5  | 81,3   | 86,3  | 81,8  |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
| <b>Fo</b>                                  | 81,2  | 81,3  | 80,7  | 82,4  | 81,3  | 81     | 86,1  | 81,6  |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |
| <b>Fa</b>                                  | 18,8  | 18,7  | 19,3  | 17,6  | 18,7  | 19     | 13,9  | 19,4  |  |       |       |       |       |       |       |       |        |  |  |  |  |

Classificação baseada em Deer, Howie & Zussman (1966);

Legenda: Cálculos dos *end members* a partir das planilhas Excel® extraídas de <http://www.gabbrosoft.org/spreadsheets.html>. A classificação de anfibólios foi baseada na classificação de Leake et al., (1997) e dos piroxênios baseada na classificação de Morimoto et al., (1988) e confirmadas através dos cálculos das planilhas Excel® extraídas de [http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT\\_Home\\_2010/Microprobe-2.html](http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/Microprobe-2.html); Giles Droop (*Manchester University*) e Julie Selway (*Ontario Geological Survey*).

Fonte: O autor, 2016.

Figura 31 – Composição química dos clinopiroxênios do derrame nefelínico e das intrusivas fonolíticas da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul, Brasil.



Fonte: O autor, 2016.

As olivinas, tanto dos derrames nefeliníticos dos montes submarinos de Columbia, Davis, Dogoressa, Jaseur e Montague, quanto do *plateau* nefelinítico da ilha principal de Martin Vaz, apresentam valores muito variados do *end member* forsterita (Fo<sub>68,2-87,2</sub>). Maior abundância de outros minerais máficos nas amostras diminui composicionalmente o número de magnésio e ferro, cristalizando olivinas com menor Mg<sup>#</sup>. Os nefelinitos dos montes submarinos apresentam porcentagens baixas a altas de NiO (0,02-0,34 wt.%) e porcentagens baixas a moderadas de CaO (0,15-0,49 wt. %). O derrame máfico de Martin Vaz apresenta valores muito baixos de NiO (0,02-0,06 wt.%) e valores muito altos de CaO (0,31-0,72 wt.%) (figuras 32 e 33). A abundância de NiO em olivinas aponta correlação positiva de Fo ao contrário do comportamento do CaO (figuras 32-37). Segundo a classificação química das olivinas (tabela 16) presente em Deer, Howie e Zussman (1966), aquelas das amostras dos montes submarinos e de Martin Vaz (tabela 17) são incluídas na série da olivina (crisólita). A tabela 16 apresenta os valores normalizados da análise em porcentagem em peso, cátions e átomos por fórmula e o cálculos dos *end members*. O cálculo se encontra no anexo D (cálculo da fórmula química da olivina).

Tabela 16 – Análise normalizada da composição da olivina (crisólita) presente em Deer, Howie e Zussman (1966).

| <b>Análise Normalizada</b>     |       |                 |        |                   |        |
|--------------------------------|-------|-----------------|--------|-------------------|--------|
| óxidos                         | wt %  | cátions         | átomos | <i>end member</i> | mol %* |
| SiO <sub>2</sub>               | 39,87 | Si              | 1,005  | Te                | 0,24   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,03  | Ti              | 0,001  | Fo                | 85,48  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00  | Al              | 0,000  | Fa                | 13,95  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00  | Cr              | 0,000  | Ca-Ol             | 0,34   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00  | Fe <sup>3</sup> | 0,000  |                   |        |
| FeO                            | 14,20 | Fe <sup>2</sup> | 0,278  | soma              | 100,00 |
| MnO                            | 0,22  | Mn              | 0,005  |                   |        |
| MgO                            | 45,38 | Mg              | 1,705  |                   |        |
| CaO                            | 0,25  | Ca              | 0,007  |                   |        |
|                                |       | tot. cat.       | 3,000  |                   |        |
| total                          | 99,95 | tot. oxy.       | 4,005  |                   |        |

Legenda: \**End members* % são baseados somente nas razões de Mn (Te), Mg (Fo), Fe-total (Fa), e Ca.



Tabela 17 – Análise normalizada da média das olivinas presentes nos montes submarinos e no derrame máfico da ilha de Martin Vaz.

| <b>Análise Normalizada</b>     |       |                 |        |                   |        |
|--------------------------------|-------|-----------------|--------|-------------------|--------|
| óxidos                         | wt %  | cátions         | átomos | <i>end member</i> | mol %* |
| SiO <sub>2</sub>               | 39,18 | Si              | 1,002  | Te                | 0,37   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,00  | Ti              | 0,000  | Fo                | 81,23  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,03  | Al              | 0,001  | Fa                | 18,40  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01  | Cr              | 0,000  | Ca-Ol             | 0,00   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00  | Fe <sup>3</sup> | 0,000  |                   |        |
| FeO                            | 17,19 | Fe <sup>2</sup> | 0,368  | soma              | 100,00 |
| MnO                            | 0,34  | Mn              | 0,007  |                   |        |
| MgO                            | 42,58 | Mg              | 1,623  |                   |        |
| CaO                            | 0,00  | Ca              | 0,000  |                   |        |
|                                |       | tot. cat.       | 3,000  |                   |        |
| total                          | 99,32 | tot. oxy.       | 4,002  |                   |        |

Nota: \*End members % são baseados somente nas razões de Mn (Te), Mg (Fo), Fe-total (Fa), e Ca.  
Fonte: O autor, 2016.

Os resultados da química mineral nos fenocristais de clinopiroxênio (diopsídio, salita e augita – figuras 29 e 31) presentes nas amostras dos montes submarinos e de Martin Vaz indicam que eles são zonados e apresentam teores variados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO e MgO. A Tabela ilustra a diferença composicional dos clinopiroxênios destes dois grupos de amostras.

Tabela 18 – Valor médio para as composições químicas de clinopiroxênios.

|                                | <b>Monte Submarino (Columbia)</b> |        |                     |        | <b>Martin Vaz</b>         |        |                     |                             |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------|---------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------|-----------------------------|
|                                | Clinopiroxênios - melanefelinito  |        |                     |        | Cpx – nefelinito          |        |                     | Cpx - fonolito <sup>e</sup> |
|                                | Fenocristais <sup>a</sup>         |        | Matriz <sup>b</sup> |        | Fenocristais <sup>c</sup> |        | Matriz <sup>d</sup> |                             |
| Óxido (wt. %)                  | Borda                             | Núcleo | Borda               | Núcleo | Borda                     | Núcleo |                     |                             |
| MgO                            | 14,01                             | 11,04  | 11,23               | 14,28  | 15,01                     | 9,42   | 15,68               | 9,45                        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8,54                              | 15,23  | 9,99                | 5,52   | 5,23                      | 4,56   | 5,45                | 4,50                        |
| TiO <sub>2</sub>               | 2,72                              | 5,35   | 3,43                | 1,53   | 2,05                      | 1,02   | 2,75                | 1,75                        |
| FeO                            | 8,57                              | 7,34   | 8,31                | 6,45   | 5,15                      | 13,75  | 6,45                | 12,45                       |

<sup>a,b</sup> Composições medias para 20 pontos de análises de bordas e núcleos de fenocristais e matriz.

<sup>c</sup> Composições medias para 13 pontos de análises de bordas e núcleos de fenocristais e matriz.

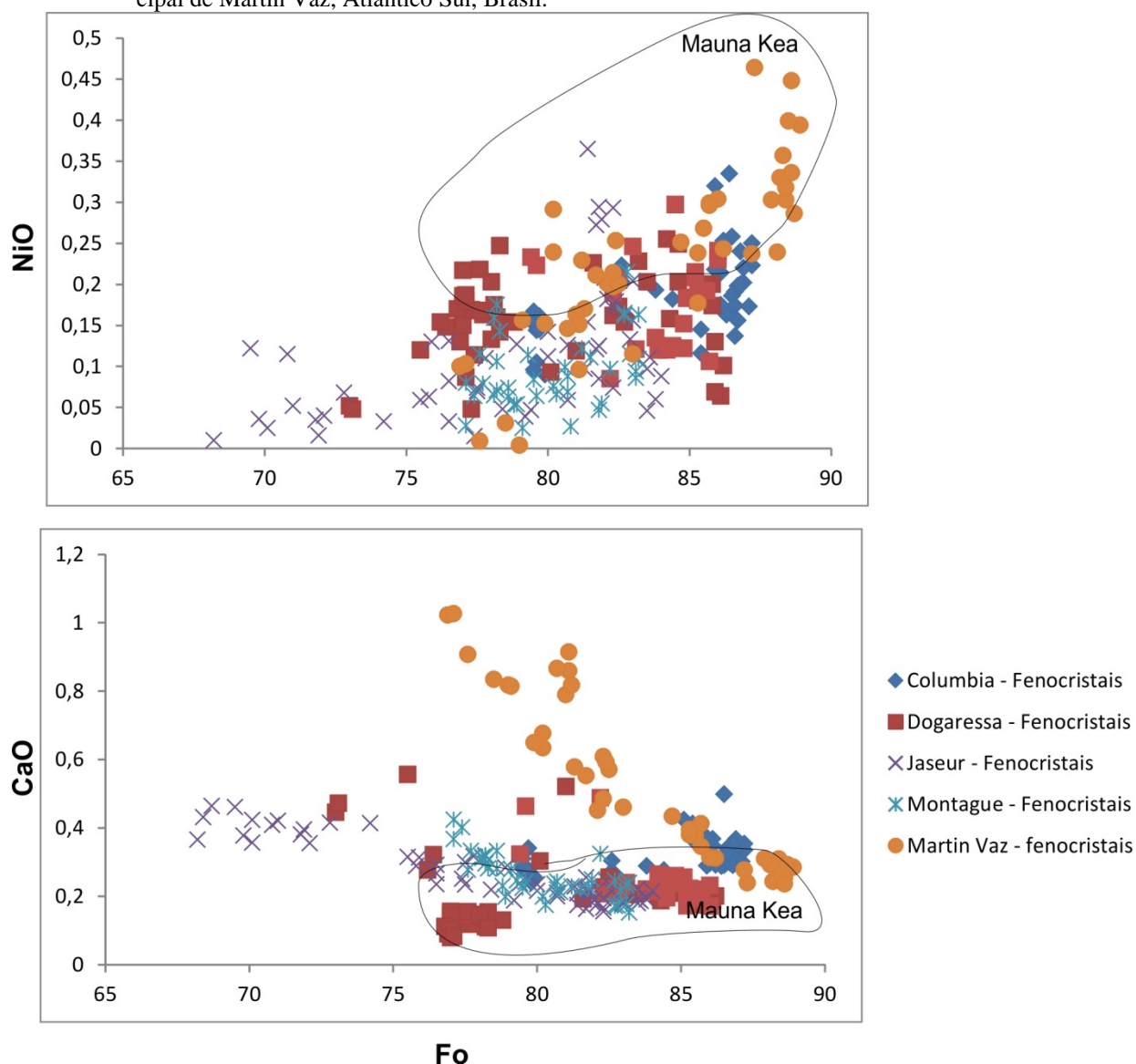
<sup>d</sup> Composições medias para 22 pontos de análises de bordas e núcleos de fenocristais e matriz.

<sup>e</sup> Composições medias para 10 pontos de análises de bordas e núcleos de fenocristais e matriz.

Legenda: Do monte submarino de Columbia e da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul, Brasil.

Fonte: O autor, 2016.

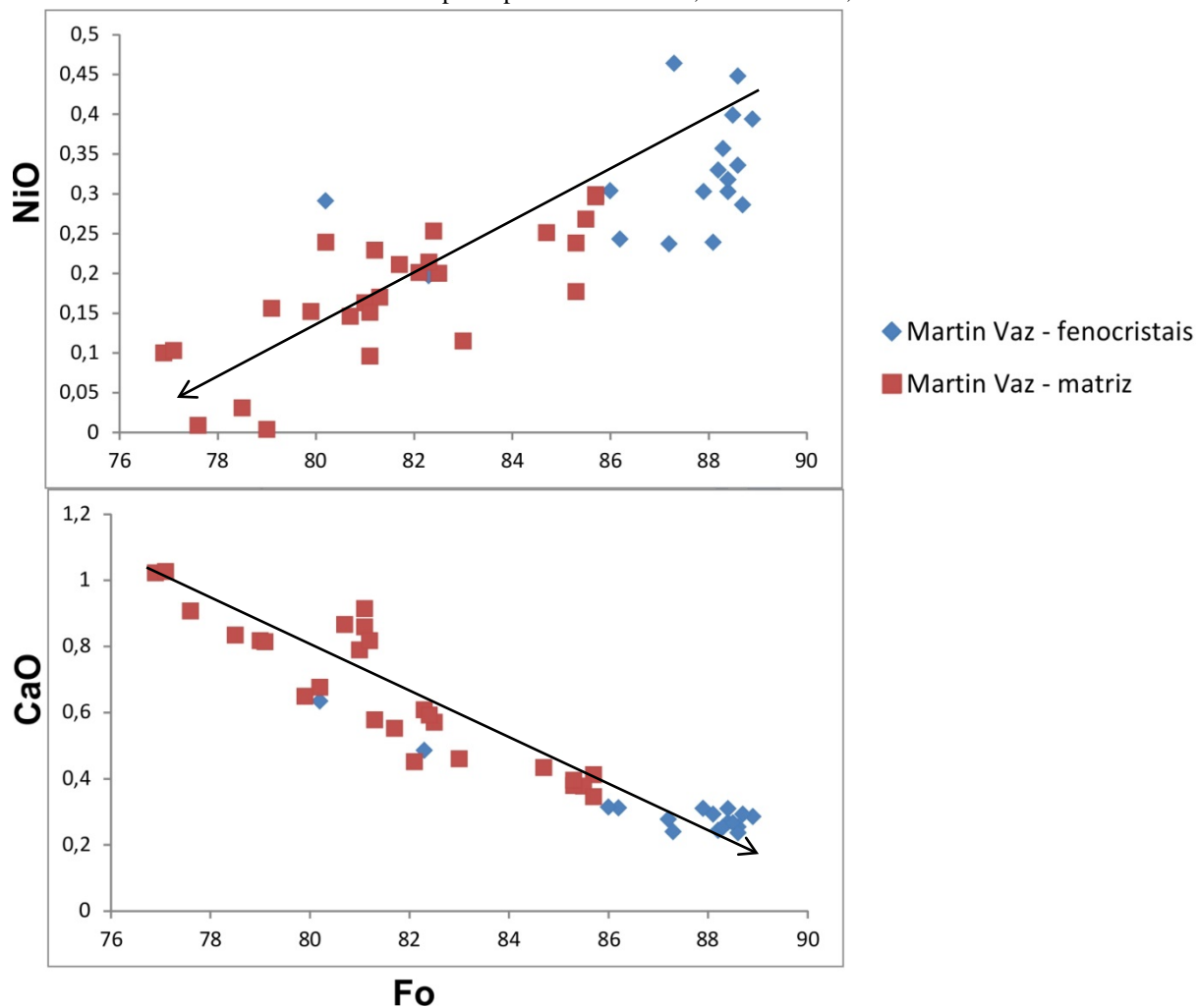
Figura 32 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas das rochas extrusivas nefeliníticas dos montes submarinos da Cadeia Vitória-Trindade e da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em diversos fenocristais: Monte Columbia – 40 análises; Banco de Dogressa: 79 análises; Monte Jaseur: 57 análises; Monte Montague: 38 análises; Martin Vaz: 43 análises; O campo representa análises de olivinas em xenólitos ultramáficos (dunito, werlito, olivina clinopiroxenos) do vulcão Mauna Kea, Havai a fim de comparações (FODOR & GALAR, 1997). Descrição dos pontos analisados encontra-se na tabela 15.

Fonte: O autor, 2016.

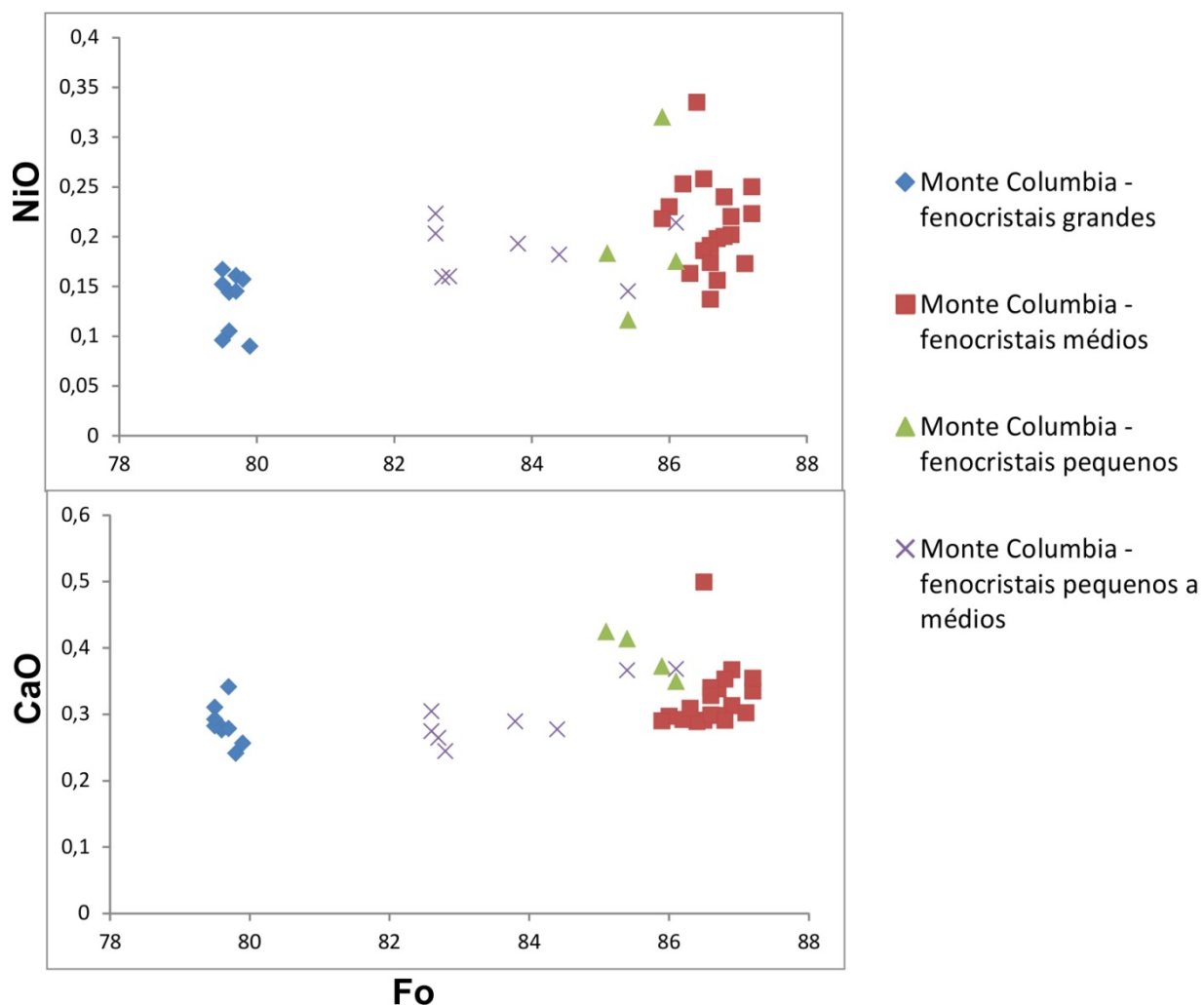
Figura 33 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas do derrame nefelinítico da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em diversos cristais totalizando 43 análises (17 nos fenocristais e 26 nos cristais presentes na matriz).

Fonte: O autor, 2016.

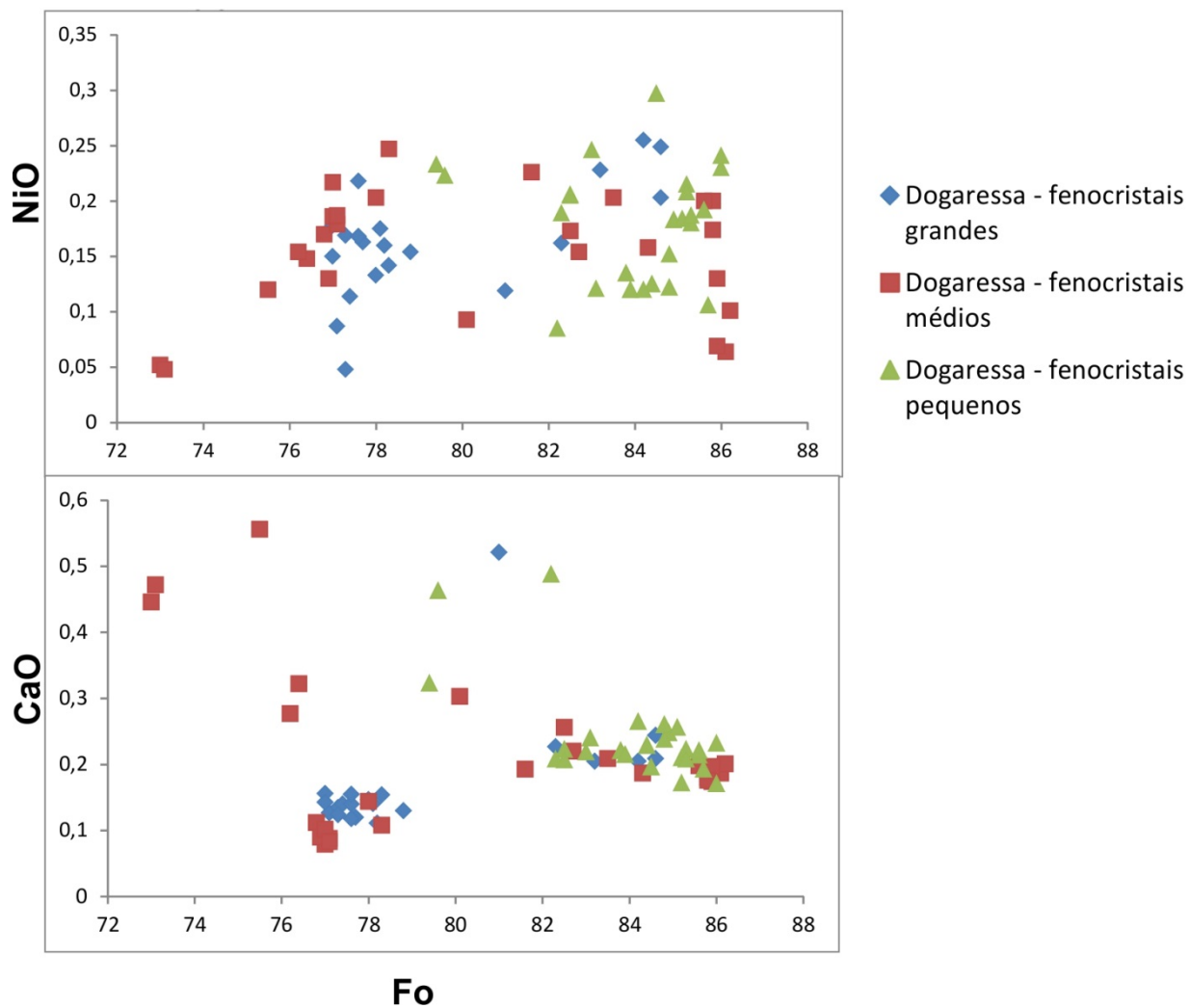
Figura 34 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas do derame nefelinítico do Monte Columbia, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em cristais de variados tamanhos, totalizando 40 análises (9 nos fenocristais grandes; 11 nos fenocristais médios; 8 nos fenocristais pequenos a médios; 4 nos fenocristais pequenos).

Fonte: O autor, 2016.

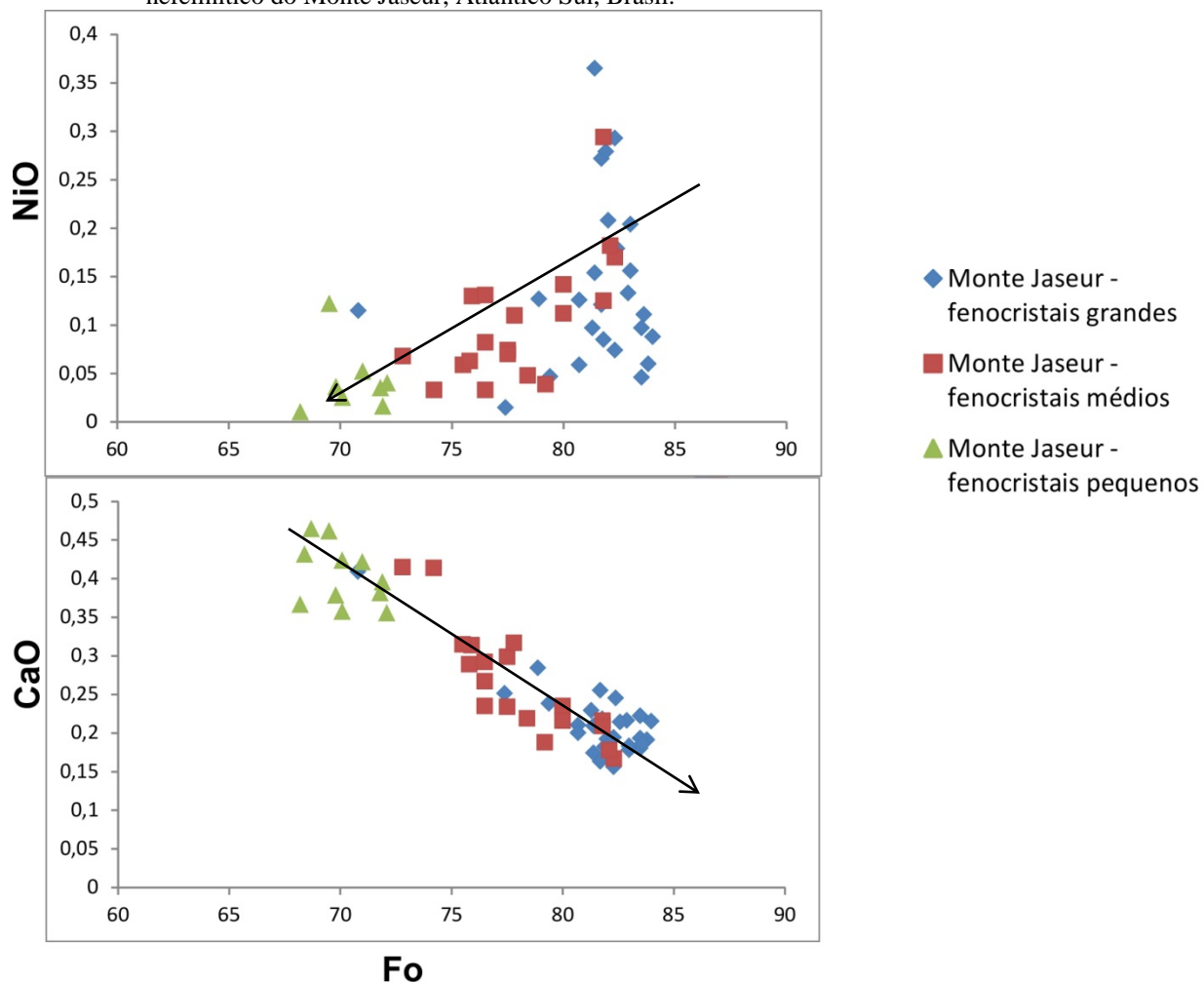
Figura 35 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas do derrame nefelinítico do Banco de Dogaressa, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em cristais de variados tamanhos, totalizando 79 análises (21 nos fenocristais grandes; 26 nos fenocristais médios; 32 nos fenocristais pequenos).

Fonte: O autor, 2016.

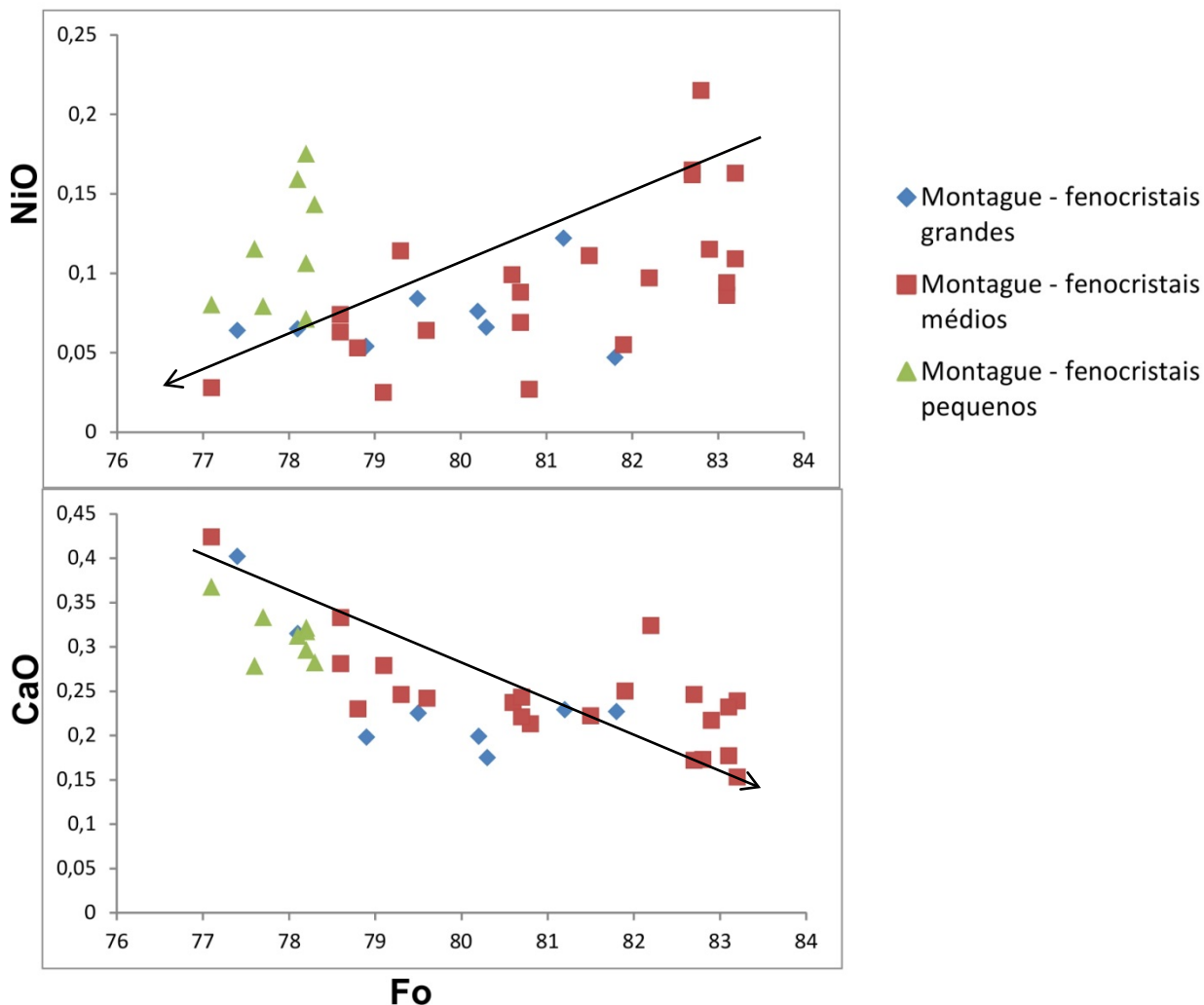
Figura 36 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas do derrame nefelinítico do Monte Jaseur, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em cristais de variados tamanhos, totalizando 57 análises (27 nos fenocristais grandes; 19 nos fenocristais médios; 8 nos fenocristais pequenos).

Fonte: O autor, 2016.]

Figura 37 - Variação de forsterita (Fo, mol %) com a concentração de CaO e NiO (wt.%) em olivinas do derrame nefelinítico do Monte Montague, Atlântico Sul, Brasil.



Legenda: Os pontos representam análises em cristais de variados tamanhos, totalizando 38 análises (8 nos fenocristais grandes; 22 nos fenocristais médios; 8 nos fenocristais pequenos).

Fonte: O autor, 2016.

A abundância de NiO em olivinas do derrame nefelinítico da ilha principal de Martin Vaz (figura 33) plotados contra valores molar do componente forsterita apresenta uma correlação positiva, onde valores mais altos de  $Fo_{(86-90)}$  apresentam valores mais altos de NiO (0,25-0,50 wt.%) e valores mais baixos de  $Fo_{(76-85)}$  apresentam valores mais baixos de NiO (<0,25 wt.%).

O monte Columbia (figura 34) apresenta grupos composicionais de valores de Fo bem marcados de acordo com o tamanho dos fenocristais: cristais grandes apresentam valor de

NiO variando entre 0,1-0,18 wt.% e de Fo<sub>-80</sub>. Cristais pequenos e médios com NiO entre 0,1-0,35 wt.% e Fo<sub>85-88</sub>. A abundância da CaO varia de 0,2-0,4 wt.% para o amplo range em % mol de Fo.

O monte Dogaressa (figura 35) apresenta valores de Fo distintos entre os diferentes tamanhos de fenocristais (pequenos: Fo<sub>80-87</sub>; médios: Fo<sub>73-87</sub>; grandes: Fo<sub>77-84</sub>) e um range similar entre eles de NiO (0,05-0,3 wt.%). O teor de CaO varia consideravelmente (0,1-0,6 wt.%).

O monte Jaseur (figura 36) apresenta valores mais baixos de NiO nos fenocristais pequenos (0,01-0,1 ppm) e Fo<sub>68-74</sub> enquanto apresenta valores mais altos de NiO nos fenocristais médios Fo<sub>73-84</sub> (NiO – 0,05-0,3 wt.%) e fenocristais grandes Fo<sub>75-85</sub> (NiO – 0,01-0,35 wt.%). CaO *versus* Fo apresenta uma correlação negativa onde os fenocristais menores apresentam o maior teor (~0,4 wt.%) comparado com os fenocristais maiores (0,2 wt.%) e médios (~0,3 wt.%).

Os fenocristais pequenos do monte Montague (figura 37) apresentam valores mais baixos de Fo<sub>77-79</sub> comparados com os fenocristais médios e grandes Fo<sub>77-84</sub> e um range similar de NiO (0,05-0,25 wt.%). CaO *vs.* Fo apresenta uma correlação negativa onde os fenocristais médios e grandes (Fo<sub>77-84</sub>) apresentam valores pouco mais baixos de CaO (~0,2-0,25 wt.%) em relação aos fenocristais pequenos (0,3-0,4 wt.%).

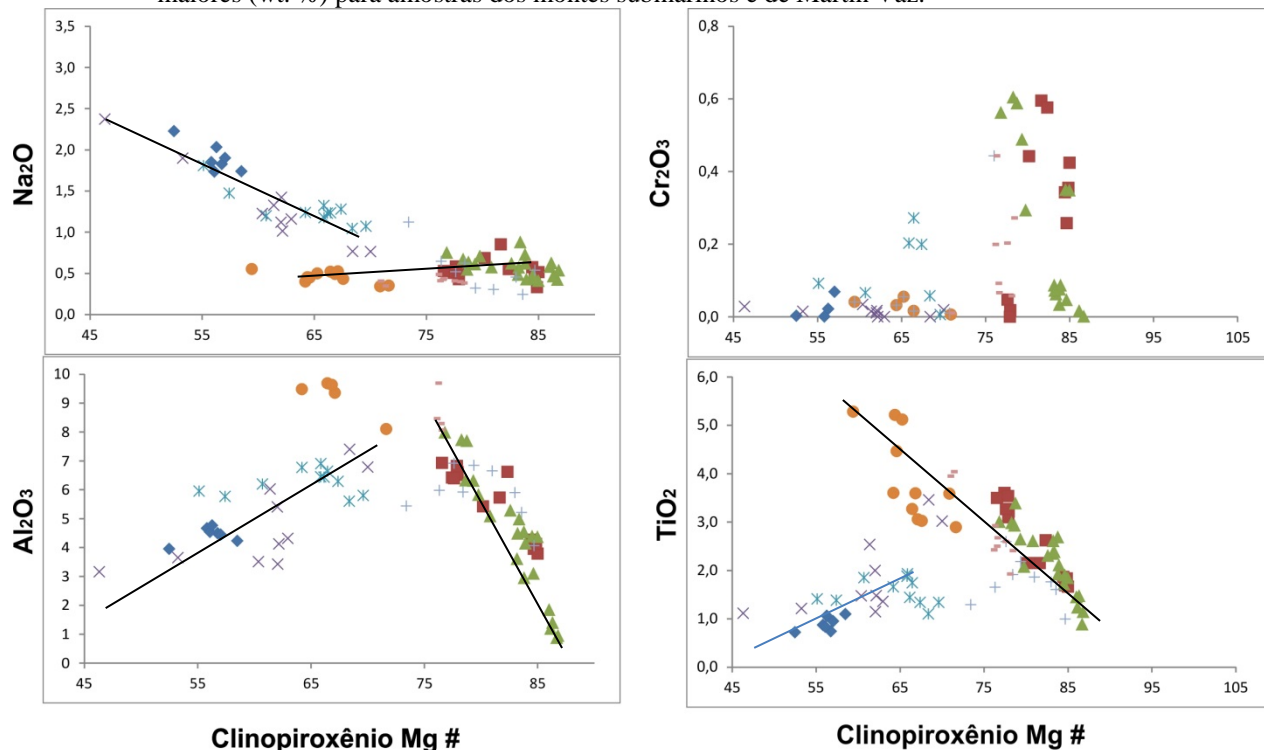
Os clinopiroxênios presentes em Martin Vaz apresentam teores mais baixos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> nos bordas (Wo<sub>48</sub>En<sub>37</sub>Fs<sub>15</sub>), ~5,23 e ~2,05 wt.% e no núcleo (Wo<sub>46</sub>En<sub>30</sub>Fs<sub>24</sub>), ~4,56 e ~1,02 wt.% respectivamente em comparação com o clinopiroxênio do monte Columbia. Valores mais altos de FeO (~13,75 wt.%) são encontrados nos núcleos verdes dos clinopiroxênios presentes nos fenocristais (Wo<sub>46</sub>En<sub>30</sub>Fs<sub>24</sub>). Os clinopiroxênios presentes na matriz também são zonados e apresentam valores maiores de MgO na borda ~15,01 wt.% (Wo<sub>48</sub>En<sub>37</sub>Fs<sub>15</sub>) comparado com os clinopiroxênios do monte Columbia; e no núcleo (Wo<sub>46</sub>En<sub>30</sub>Fs<sub>24</sub>) valores menores (~9,42 wt.%). Os clinopiroxênios (Wo<sub>48</sub>En<sub>31</sub>Fs<sub>21</sub>) dos fonolitos apresentam os menores valores de MgO (9,45 wt.%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,50 wt.%) e TiO<sub>2</sub> (1,75 wt.%), similar aos valores presentes nos núcleos dos clinopiroxênios contidos nos fenocristais do derrame nefelínico de Martin Vaz e no núcleo dos clinopiroxênios da matriz do monte Columbia.



Importante ressaltar o teor de  $\text{TiO}_2$  presente no Monte Columbia ser consideravelmente mais alto que o presente em Martin Vaz; ou seja, aonde houve cristalização prévia de titanita, a exemplo do que ocorreu em Martin Vaz, acarretou diminuição do Ti disponível no líquido. Tal observação pode ser indicativa da diferença de  $f_{\text{O}_2}$  para a cristalização dos magmas.

A figura 38 mostra a relação entre o número de magnésio e alguns óxidos maiores comparados com os valores de álcali basaltos havaianos.

Figura 38 – Número de Mg [100 x massa atômica Mg/(Mg+Fe)] em clinopiroxênios plotados versus óxidos maiores (wt. %) para amostras dos montes submarinos e de Martin Vaz.



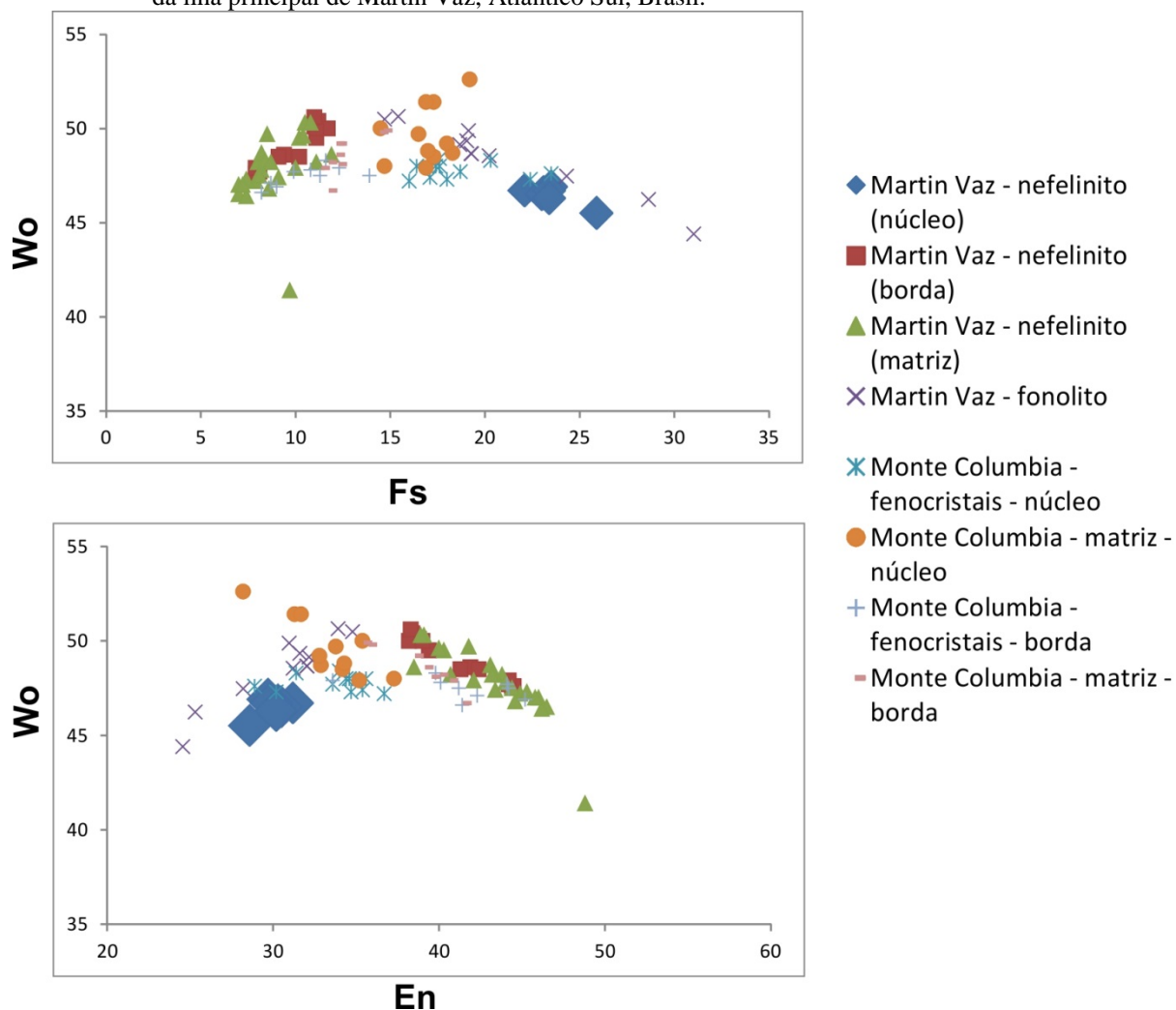
- ◆ Martin Vaz - nefelinito (núcleo)
- Martin Vaz - nefelinito (borda)
- ▲ Martin Vaz - nefelinito (matriz)
- × Martin Vaz - fonolito
- × Monte Columbia - fenocristais - núcleo
- Monte Columbia - matriz - núcleo
- + Monte Columbia - fenocristais - borda
- Monte Columbia - matriz - borda

Legenda: Os pontos representam análises pontuais em diversos clinopiroxênios dos fenocristais e da matriz contendo núcleo e borda conforme indicado na legenda da figura. Descrição dos pontos analisados encontra-se na tabela 15.

Fonte: O autor, 2016.

Os núcleos verdes dos clinopiroxênios presentes tanto no Monte Columbia quanto no derrame nefelinítico de Martin Vaz apresentam valores baixos de  $Mg^{\#}$  (~55-70) e de  $TiO_2$  (<2,0 wt.%). Em contrapartida apresenta valores mais altos de  $Na_2O$  (>1,0 wt.%) comparados com as bordas dos mesmos clinopiroxênios. Valores de  $Al_2O_3$  variam entre (1,0-10 wt.%) (figura 38). Os gráficos de  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$  da figura 38 indicam que quando o magnésio atingiu ca. 75%, ocorreu alguma mudança nas condições de cristalização, como variação de pressão, fugacidade de oxigênio ou outros, que provocou tais inversões na correlação de Al e Ti por Mg.

Figura 39 – Variação entre os componentes molecular Enstatita (En), Ferrossilita (Fs) e Wollastonita (Wo) em clinopiroxênios do monte submarino de Columbia e do derrame nefelinítico e a intrusiva fonolítica da ilha principal de Martin Vaz, Atlântico Sul, Brasil.

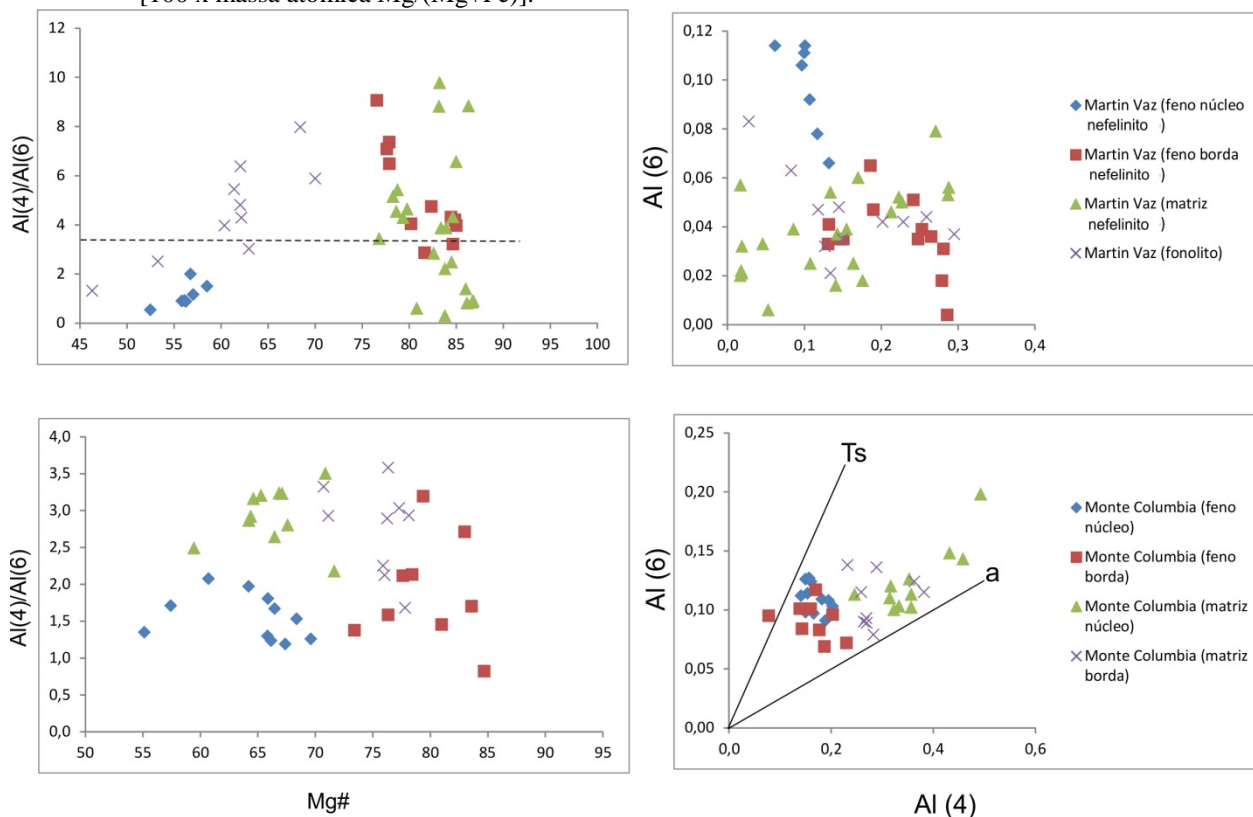


Legenda: Descrição dos pontos analisados encontra-se na tabela 15.

Fonte: O autor, 2016.

A figura 39 mostra os componentes enstatita (En), ferrossilita (Fs) e wollastonita (Wo). Os clinopiroxênios presentes no derrame nefelinítico de Martin Vaz apresentam valores distintos do componente Fs, apresentam núcleos verdes mais ricos em Fe (Fs >20 % mol; Mg<sup>#</sup> ~55) e levemente mais baixos em Wo (~45% mol) em relação às bordas e aos clinopiroxênios presentes na matriz (Fs: 7-13% mol; Wo: ~50% mol; Mg<sup>#</sup> 89). Os clinopiroxênios presentes nos fonolitos apresentam grande variação do componente Fs (15-30% mol) e do componente Wo (45-50% mol). Os clinopiroxênios presentes no Monte Columbia apresentam uma sutil variação entre os núcleos dos fenocristais e da matriz (Fs: 15-20% mol) e as bordas dos fenocristais e da matriz (10-13% mol).

Figura 40 - Plot de proporções atômicas de número de magnésio versus  $Al^4/Al^6$  e de  $Al^4$  versus  $Al^6$ , onde Mg<sup>#</sup> [100 x massa atômica Mg/(Mg+Fe)].



Legenda: Símbolos representam diferenças entre fenocristais de clinopiroxênio e cristais da matriz distinguindo borda de núcleo. Ts representa a molécula de Ca-Tschermak (Ts;  $CaAl_2SiO_6$ ) que reflete ambientes de alta pressão de cristalização e temperatura. A letra **a** representa o limite superior do campo de cristalização de clinopiroxênios de baixa pressão em rochas ígneas (AOKI & KUSHIRO, 1968).

Fonte: O autor, 2016.

A figura 40 mostra a relação do número de magnésio ( $Mg^{\#}$ ) versus razão  $Al^4/Al^6$  e  $Al^4$  versus  $Al^6$  que pode indicar baixa pressão de cristalização ( $Al^4/Al^6 > 3,5$ ; FODOR et al., 1995). Os núcleos ( $Mg^{\#} \sim 55$ ) dos clinopiroxênios presentes nas amostras de nefelinito de Martin Vaz foram gerados em pressões mais altas daquelas referentes as bordas ( $Mg^{\#} \sim 85$ ). Os clinopiroxênios presentes na matriz ( $Mg^{\#} 80-90$ ), possuem um amplo range de  $Al^4/Al^6$ , sugerindo uma cristalização em ambiente de pressão variada à medida que o magma avança em direção a superfície.

#### 4.2 Cálculo normativo (CIPW)

Outro uso dos valores em % em peso dos óxidos é para o cálculo normativo, um método bastante aplicado com a finalidade de caracterizar quimicamente as rochas ígneas. Seu cálculo baseia-se na composição química de rocha total e a partir dela, calculam-se um total de trinta e quatro minerais normativos que não necessariamente estão presentes na rocha. Foi utilizada a tabela com os cálculos no excel® da CIPW4 norm Hollacher (Union College University, Nova York, Estados Unidos (HOLLOCHER, 2015; [http://minerva.union.edu/hollochk/c\\_petrology/index.htm](http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/index.htm)) e o software *GCDkit 4.0* (*Geochemical Data Toolkit*) para calcular os minerais normativos além de outros parâmetros petrogenéticos. Os minerais normativos são apresentados para as amostras da ilha principal de Martin Vaz (tabela 19) e para as amostras dos montes submarinos (tabela 20).

Tabela 19 - Valores obtidos dos minerais normativos com o uso da norma CIPW para as amostras de Martin Vaz (Continua).

|                                  | MVA-01                 | MVA-02       | MVA-06       | MVA-08      | MVA-05A                 | MVA-05B      | MVA-03                | MVA-04       | MVA-07       | MVA-09A      | MVA-09B     | MVA-10       | MVA-11       | MVA-12       | MVA-13       | MVA-14       |
|----------------------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  | <i>Neck fonolítico</i> |              |              |             | <i>Dique Fonolítico</i> |              | <i>Melanefelinito</i> |              |              |              |             |              |              |              |              |              |
| <b>Minerais normativos</b>       | <b>Norma (wt.%)</b>    |              |              |             |                         |              |                       |              |              |              |             |              |              |              |              |              |
| Quartzo                          | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Plagioclásio                     | 15,79                  | 10,6         | 26,7         | 15,61       | 23,81                   | 16,14        | 3,49                  | 7,77         | 4,98         | 8,06         | 7,27        | 26,25        | 4,72         | 18,26        | 18,63        | 4,52         |
| Ortoclásio                       | 35,04                  | 32,68        | 22,69        | 37,7        | 28,01                   | 30,38        | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 3,49         | 0            | 4,61         | 5,67         | 0            |
| Nefelina                         | 29,71                  | 25,7         | 21,91        | 28,33       | 19,39                   | 19,17        | 18,24                 | 13,29        | 14,44        | 13,89        | 14,3        | 8,38         | 17,19        | 14,78        | 15,69        | 15,26        |
| Leucita                          | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 7,51                  | 5,79         | 6,86         | 6,26         | 6,86        | 0            | 8,43         | 0            | 0            | 6,95         |
| Kalsilita                        | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Corindon                         | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Diopsídio                        | 6,59                   | 19,21        | 14,02        | 6,64        | 9,72                    | 15,18        | 26,1                  | 26,55        | 24,3         | 26,43        | 24,96       | 23,85        | 24,37        | 30,92        | 27,01        | 26,86        |
| Hiperstênio                      | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Wollastonita                     | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Olivina                          | 1,82                   | 0,84         | 0,61         | 1,77        | 4,63                    | 3,62         | 24,68                 | 25,99        | 28,19        | 24,5         | 25,08       | 18,5         | 25,13        | 12,74        | 12,2         | 24,88        |
| Larnita                          | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 6,79                  | 5,87         | 6,7          | 7,31         | 8,07        | 0            | 6,44         | 0            | 0            | 5,61         |
| Acmita (aeegerina)               | 1,74                   | 0            | 0            | 0,33        | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 2,46                   | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Rutilo                           | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Ilmenita                         | 0,76                   | 2,07         | 0,99         | 0,95        | 2,85                    | 3            | 6,48                  | 6            | 5,64         | 6,17         | 6,27        | 8,41         | 6,31         | 9,17         | 8,43         | 5,81         |
| Magnetita                        | 0                      | 1,41         | 1,06         | 0,63        | 1,39                    | 1,59         | 3,16                  | 3,13         | 3,12         | 3,09         | 3,12        | 3,38         | 3,04         | 3,44         | 3,06         | 3,1          |
| Hematita                         | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Apatita                          | 0,19                   | 0,81         | 0,49         | 0,32        | 1,37                    | 1,81         | 3,08                  | 2,85         | 2,99         | 2,55         | 2,92        | 3,92         | 2,32         | 3,59         | 1,95         | 2,25         |
| Zircão                           | 0,28                   | 0,24         | 0,3          | 0,21        | 0,18                    | 0,19         | 0,09                  | 0,07         | 0,07         | 0,06         | 0,09        | 0,09         | 0,06         | 0,09         | 0,07         | 0,06         |
| Perovskita                       | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Cromita                          | 0,01                   | 0,01         | 0            | 0,01        | 0,01                    | 0,03         | 0,16                  | 0,21         | 0,22         | 0,16         | 0,16        | 0,09         | 0,13         | 0,13         | 0,06         | 0,19         |
| Titanita                         | 0                      | 0            | 0            | 0           | 0                       | 0            | 0                     | 0            | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>94,39</b>           | <b>93,57</b> | <b>88,77</b> | <b>92,5</b> | <b>91,36</b>            | <b>91,11</b> | <b>99,78</b>          | <b>97,52</b> | <b>97,51</b> | <b>98,48</b> | <b>99,1</b> | <b>96,36</b> | <b>98,14</b> | <b>97,73</b> | <b>92,77</b> | <b>95,49</b> |

(continua)

Tabela 19 - Valores obtidos dos minerais normativos com o uso da norma CIPW para as amostras de Martin Vaz (Conclusão.)

|                                | MVA-01                 | MVA-02 | MVA-06 | MVA-08 | MVA-05A                 | MVA-05B | MVA-03                | MVA-04 | MVA-07 | MVA-09A | MVA-09B | MVA-10 | MVA-11 | MVA-12 | MVA-13 | MVA-14 |
|--------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|-------------------------|---------|-----------------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | <i>Neck fonolítico</i> |        |        |        | <i>Dique Fonolítico</i> |         | <i>Melanefelinito</i> |        |        |         |         |        |        |        |        |        |
| <b>Minerais normativos</b>     |                        |        |        |        |                         |         | <b>Norma (wt.%)</b>   |        |        |         |         |        |        |        |        |        |
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,41                   | 2,42   | 2,43   | 2,42   | 2,51                    | 2,49    | 2,77                  | 2,78   | 2,77   | 2,79    | 2,76    | 2,78   | 2,78   | 2,77   | 2,78   | 2,76   |
| Log $f_{O_2}$                  | -8,3                   | -8,1   | -8,2   | -8,1   | -7,9                    | -7,8    | -5,5                  | -5,4   | -5,7   | -5,6    | -5,7    | -5,8   | -5,6   | -5,8   | -5,7   | -5,8   |

Legenda: Outros parâmetros petrogenéticos, valores em % peso, calculados a partir da planilha Excel® NORM4 *spreadsheet* (Hollocher, 2015. Disponível em: <[http://minerva.union.edu/hollochk/c\\_petrology/index.htm](http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/index.htm)>, Acesso em:). Log  $f_{O_2}$  foi calculado com o software PETROLOG v. 3.1.1.3 (DANYUSHEVSKY ; PLECHOV, 2011).

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 20 - Valores obtidos dos minerais normativos com o uso da norma CIPW para as amostras dos montes submarinos (Continua).

|                                  | COLUMBIA            |          |          |          | DOGARESSA |          | DAVIS    |          |          |          | JASEUR         |          | MONTAGUE |          |          |
|----------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|
|                                  | Melanefelinito      |          |          |          |           |          | Tefrito  |          |          |          | Melanefelinito |          |          |          |          |
|                                  | TRIM-01A            | TRIM-01C | TRIM-01D | TRIM-01E | TRIM-03A  | TRIM-03B | TRIM-04A | TRIM-04B | TRIM-04C | TRIM-04D | TRIM-05A       | TRIM-05B | TRIM-08A | TRIM-08B | TRIM-08C |
| <b>Minerais normativos</b>       | <b>Norma (wt.%)</b> |          |          |          |           |          |          |          |          |          |                |          |          |          |          |
| Quartzo                          | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Plagioclásio                     | 27,3                | 26,8     | 28,7     | 27,36    | 5,72      | 5,95     | 38,97    | 38,4     | 39,9     | 38,5     | 12,7           | 12,7     | 12,21    | 11,95    | 11,8     |
| Ortoclásio                       | 0                   | 0        | 1,95     | 0        | 0         | 0        | 17,2     | 17,7     | 17,1     | 17,3     | 4,25           | 4,67     | 3,13     | 2,95     | 2,78     |
| Nefelina                         | 5,68                | 5,5      | 4,68     | 5,23     | 15        | 15,3     | 5,84     | 5,83     | 5,77     | 6        | 16,2           | 16,7     | 15,81    | 15,29    | 15,1     |
| Leucita                          | 3,99                | 3,48     | 1,67     | 3,29     | 10,9      | 11,3     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Kalsilita                        | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Corindon                         | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Diopsídio                        | 20,6                | 21,3     | 17,6     | 22,08    | 30,2      | 31,4     | 13,85    | 14,5     | 14       | 14       | 30,9           | 30,6     | 31,76    | 31,69    | 31,9     |
| Hiperstênio                      | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Wollastonita                     | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Olivina                          | 22                  | 20,8     | 20,9     | 21,16    | 20,5      | 18,8     | 8,87     | 9,05     | 8,45     | 9,25     | 17             | 18,5     | 19,24    | 19,88    | 19,7     |
| Larnita                          | 0,76                | 2,09     | 0        | 2,86     | 1,59      | 1,36     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Acmita (aeegerina)               | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Rutilo                           | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Ilmenita                         | 6,06                | 6,48     | 6,32     | 6,7      | 9,1       | 9,33     | 6,86     | 6,88     | 6,95     | 6,82     | 9,76           | 10,1     | 10,37    | 10,31    | 10,3     |
| Magnetita                        | 2,96                | 3,04     | 3,02     | 3,13     | 3,25      | 3,2      | 2,49     | 2,58     | 2,35     | 2,55     | 3,31           | 3,45     | 3,55     | 3,57     | 3,52     |
| Hematita                         | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Apatita                          | 3,54                | 2,36     | 6,02     | 2,04     | 1,62      | 1,65     | 2,46     | 2,53     | 2,46     | 2,53     | 1,37           | 1,44     | 1,39     | 1,34     | 1,39     |
| Zircão                           | 0,06                | 0,06     | 0,04     | 0,06     | 0,04      | 0,04     | 0,07     | 0,09     | 0,09     | 0,09     | 0,04           | 0,04     | 0,04     | 0,04     | 0,04     |
| Perovskita                       | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Cromita                          | 0,12                | 0,1      | 0,12     | 0,12     | 0,1       | 0,1      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,09           | 0,09     | 0,09     | 0,09     | 0,09     |
| Titanita                         | 0                   | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <b>TOTAL</b>                     | 93,1                | 92,1     | 91       | 94,03    | 98,1      | 98,3     | 96,61    | 97,6     | 97,1     | 96,9     | 95,6           | 98,3     | 97,59    | 97,11    | 96,6     |

(continua)



Tabela 20 - Valores obtidos dos minerais normativos com o uso da norma CIPW para as amostras dos montes submarinos (Conclusão)

|                                | COLUMBIA            |          |          |          | DOGARESSA |          | DAVIS    |          |          |          | JASEUR         |          | MONTAGUE |          |          |
|--------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|
|                                | Melanefelinito      |          |          |          |           |          | Tefrito  |          |          |          | Melanefelinito |          |          |          |          |
|                                | TRIM-01A            | TRIM-01C | TRIM-01D | TRIM-01E | TRIM-03.A | TRIM-03B | TRIM-04A | TRIM-04B | TRIM-04C | TRIM-04D | TRIM-05A       | TRIM-05B | TRIM-08A | TRIM-08B | TRIM-08C |
| <b>Minerais normativos</b>     | <b>Norma (wt.%)</b> |          |          |          |           |          |          |          |          |          |                |          |          |          |          |
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,78                | 2,79     | 2,78     | 2,77     | 2,76      | 2,77     | 2,67     | 2,66     | 2,66     | 2,67     | 2,77           | 2,78     | 2,78     | 2,79     | 2,78     |
| Log $f_{(O_2)}$                | -6,1                | -6,2     | -6,1     | -6,1     | -6,2      | -6,3     | -8,3     | -8,2     | -8,3     | -8,1     | 0,11           | 0,1      | 0,1      | 0,1      | 0,1      |

**Observação:** O valor total refere-se à soma em porcentagem em peso (wt.%) de todos os minerais normativos presentes em cada amostra. Os valores dentro do erro aproximado deveriam ser os mesmos dos valores em porcentagem em peso (wt.%) do somatório dos óxidos (elementos maiores) da litogeoquímica referente a cada amostra. Sete minerais normativos utilizados na planilha de cálculos foram omitidos nesta tabela por apresentarem valores nulos e sem significância para os dados (halita, pirita, fluorita, anidrita, calcita, thenardita (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e natrita (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)). O modelo usado para olivina é Ford et al., 1983.

Fracionamento de olivina é 100.00 % com exceção do Monte Davis: fracionamento de clinopiroxênio e plagioclásio (50:50).

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no melt é calculado usando o buffer QFM de fugacidade de oxigênio  $f_{(O_2)}$ .

$f_{O_2}$  é calculado seguindo o modelo de Borisov e Shapkin, 1990.

Pressão Inicial = 30 kbar (3GPa).

Legenda: e outros parâmetros petrogenéticos, valores em % peso, calculados a partir da planilha Excel® NORM4 *spreadsheet* (Hollocher, [http://minerva.union.edu/hollochk/c\\_petrology/index.htm](http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/index.htm), 2015). Log  $f_{O_2}$  foi calculado com o software PETROLOG v. 3.1.1.3 (DANYUSHEVSKY & PLECHOV, 2011).

Fonte: O autor, 2016.