



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOCRONOLOGIA DAS  
INTRUSÕES ACAMADADAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS  
DE PORTO NACIONAL, TOCANTINS, BRASIL.**

**Dissertação de Mestrado nº 222**

**Humberto Alcântara Ferreira Lima**

**Brasília**

**2007**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**Geologia, petrologia e geocronologia das intrusões  
acamadadas máficas-ultramáficas de Porto Nacional,  
Tocantins, Brasil.**

**Humberto Alcântara Ferreira Lima**

**Orientador: Prof. Dr. Cesar Fonseca Ferreira Filho**

**Examinadores: Prof. Dr. Reinhardt Adolfo Fuck (UnB)**

**Prof. Dr. Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb (UFPA)**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na área de Geologia Econômica e Prospecção**

**Brasília, março de 2007**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Cesar Fonseca Ferreira Filho, pela orientação dedicada, apoio e comprometimento com a minha formação.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, pelo suporte na execução de todas as etapas do trabalho.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo durante parte do curso.

À Verena Minerals Corporation, em especial aos geólogos Walid Daoud e Jad Salomão Neto, pela cessão de testemunhos de sondagem e de dados de exploração mineral, e pelo apoio em campo e custeio parcial de análises laboratoriais.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), pela oportunidade de conhecer a geologia da região sudeste do Tocantins, e especialmente de estudar em maior detalhe as rochas do Morro da Mata.

Aos amigos da CPRM, em especial aos geólogos Antônio Frasca, João Olímpio e Letícia Lemos, pelo incentivo e discussões sobre a geologia da Província Tocantins, e ao técnico João Rocha, pelo apoio e companhia no Morro da Mata.

Aos servidores Francisca e Onésio, respectivamente, dos Laboratórios de Laminação e Microsonda Eletrônica, pela eficiência, paciência e boa vontade.

Ao geólogo Sérgio Junges, pela orientação e auxílio nas técnicas de separação mineral.

Ao geólogo Jorge Laux e à química Simone Gioia pela assistência no Laboratório de Geocronologia, respectivamente nas análises isotópicas de Pb e Nd.

À professora Dra. Sylvia Maria Araújo, pela orientação do aluno de graduação, do monitor e do bolsista, por servir-me de exemplo, e de colocar-me no caminho que trilhei.

Aos meus pais, Valter e Maria, por me ensinarem ser perseverante e me mostrarem a importância do conhecimento.

À minha irmã, Bárbara, colega de pós no IG, pelo estímulo e apoio em todas as horas.

À minha esposa, Lucieda, por me incentivar e dar força nos inúmeros momentos de desânimo e por ser compreensiva com as minhas ausências.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
ÍNDICE .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABELAS .....	vi
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix

<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>1</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>Localização e fisiografia.....</b>	<b>1</b>
<b>Justificativa e objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>Atividades e Métodos .....</b>	<b>2</b>
<b>Escopo do estudo .....</b>	<b>3</b>
<b>Referências.....</b>	<b>3</b>

<b>GEOLOGY, PETROLOGY AND GEOCHRONOLOGY OF THE LAYERED MAFIC- ULTRAMAFIC INTRUSIONS IN THE PORTO NACIONAL AREA, CENTRAL BRAZIL.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Regional Setting.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Analytical Procedures .....</b>	<b>10</b>
3.1 Mineral analyses.....	10
3.2 U-Pb and Sm-Nd isotopic analyses.....	11
<b>4. Group 1 Layered Intrusions.....</b>	<b>12</b>
4.1 Geology and Petrography.....	12
The Carreira Comprida Intrusion .....	12
The Rio Crixás Intrusion .....	13
Morro da Mata Intrusion .....	15
4.2 Mineral Compositions .....	15
4.3 U-Pb and Sm-Nd systematics.....	25
4.4 Deformation and metamorphic recrystallization.....	25
<b>5. Group 2 Layered Intrusions.....</b>	<b>29</b>
5.1 Geology and Petrography.....	29
5.2 Mineral compositions.....	32

5.3 Sm-Nd systematics .....	32
<b>6. Crystallization trends for Group 1 and Group 2 layered intrusions.....</b>	<b>36</b>
<b>7. Petrological and geochronological constraints for the tectonic setting of the Porto Nacional layered intrusions. ....</b>	<b>38</b>
<b>8. Metallogenetic Implications .....</b>	<b>41</b>
<b>Acknowledgments.....</b>	<b>42</b>
<b>References .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>II</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>IV</b>
Tabela 1 - Composição química e fórmula estrutural de Ol da RCI. ....	V
Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de Opx da RCI. ....	VII
Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de Cpx da RCI. ....	XIV
Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de Pl da RCI.....	XX
Tabela 5 - Composição química e fórmula estrutural de Am da RCI. ....	XXVII
Tabela 6 - Composição química e fórmula estrutural de Ol de wehrlito do furo FVE3-03 - Intrusão VE3. ....	XXVIII
Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de Cpx de rochas do furo FVE3-02 - Intrusão VE3. ....	XXX
Tabela 8 - Composição química e fórmula estrutural de Am da Intrusão VE3. ....	XXXVI
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>XXXVII</b>
Tabela 1 - Dados isotópicos Sm-Nd.....	XXXVIII
Tabela 2 - Dados Isotópicos U-Pb – Intrusão Rio Crixás .....	XXXIX

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Main geotectonic units of central Brazil.....	8
Figure 2. Simplified geological map showing the location of the layered mafic-ultramafic intrusions of the Porto Nacional.....	10
Figure 3. A) Anorthosite from the Carreira Comprida Intrusion. Large cumulus plagioclase (light gray) and interstitial pyroxenes (dark gray). Outcrop in the Tocantins River. B) Photomicrograph of leucotroctolite (sample RC15) from the Rio Crixás Intrusion. Mesocumulate texture consisting of cumulus olivine (Ol) and plagioclase (Pl) with minor intercumulus Opx. C) Photomicrograph of olivine gabbronorite (sample RC17) from the Rio Crixás Intrusion. Cumulus olivine (Ol), plagioclase (Pl), Opx, Cpx, ilmenite (Ilm) and apatite (Ap). D) Photomicrograph of olivine gabbronorite (sample RC19). Similar to sample RC17. The field of view shows abundant euhedral apatite (Ap) and zircon (Zrn). E) Photomicrograph of anorthosite (sample RC08) from the Rio Crixás Intrusion. Cumulus plagioclase and interstitial inverted pigeonite (Pgt). F) Photomicrograph of mafic granulite (sample RC09) from the Rio Crixás Intrusion. The fine-grained granoblastic assemblage consists of plagioclase, Opx, Cpx, amphibole (Am) and biotite (Bt)..	13
Figure 4. Photomicrographs illustrating the lithotypes of the Morro da Mata Intrusion... ..	16
Figure 5. Plot of NiO versus Fo (forsterite) content of olivines from the Rio Crixás Intrusion. ....	18
Figure 6. Plot of FeO versus En (enstatite) content of orthopyroxene from the Rio Crixás Intrusion. ....	18
Figure 7. Plot of MgO versus En content of clinopyroxene from the Rio Crixás Intrusion. ...	19
Figure 8. Plot of CaO versus An (anorthite) content of plagioclase from the Rio Crixás Intrusion. ....	19
Figure 9. Variation in the En content of orthopyroxene and Fo content of olivine in a section through the Crixás River .....	20
Figure 10. U-Pb concordia diagrams and Sm-Nd isochron .....	28
Figure 11. Photomicrographs illustrating the lithotypes of the VE3 Intrusion.....	30
Figure 12. Modal and mineral compositions through stratigraphic sections for drill holes of the VE3 Intrusion. ....	31
Figure 13. Plot of Fo content of olivine versus An content of coexisting plagioclase of troctolites from the Rio Crixás Intrusion. Analyses of coexisting plagioclase and olivine of troctolites and olivine gabbros from Voisey's Bay Complex, Stillwater Complex and	

Longwoods Complex are also represented..... 37

Figure 14. A) Simplified version of the tholeiitic part of the basalt tetrahedron. B) The sides of the tetrahedron have been unfolded to highlight phase relations in the Cpx-plagioclase-olivine side and in the Cpx-Opx-plagioclase (dashed line) plane..... 38

Figure 15. Sketch map of the Porto Nacional region showing the position of the Transbrasiliano Lineament and the distribution of layered intrusions and granites. .... 41

## ÍNDICE DE TABELAS

Table 1. Mafic and mafic-ultramafic intrusions of the Porto Nacional. ....	9
Table 2. Representative analyses of Ol from Rio Crixás Intrusion.....	21
Table 3. Representative analyses of Opx from Rio Crixás Intrusion.....	22
Table 4. Representative analyses of Cpx from Rio Crixás Intrusion. ....	23
Table 5. Representative analyses of Pl from Rio Crixás Intrusion. ....	24
Table 6. Zircon U-Pb isotopic data – Rio Crixás Intrusion.....	27
Table 7. Sm-Nd isotopic data. ....	27
Table 8. Representative analyses of Cpx from drill hole FVE3-02 – VE3 Intrusion. ....	33
Table 9. Representative analyses of Cpx from drill hole FVE3-03 – VE3 Intrusion. ....	34
Table 10. Representative analyses of Ol from VE3 Intrusion.....	35
Table 11. Main layered intrusions of the Tocantins Province.....	40



## RESUMO

As intrusões acamadadas máfica-ultramáficas em estudo estão contidas na Província Tocantins, entre as faixas de dobramentos Brasília e Araguaia, localizadas entre as coordenadas 10°35'S/49°W e 11°15'S/48°W. A existência de dois conjuntos distintos de intrusões acamadadas, foi originalmente reconhecida durante programa de exploração mineral que incluiu levantamento aerogeofísico e sondagem rotativa. As intrusões compreendem dois grupos com características geológicas marcadamente distintas. O Grupo 1, formado pelas intrusões Carreira Comprida (CCI), Rio Crixás (RCI) e Morro da Mata (MMI), todas localizadas a oeste do rio Tocantins, é caracterizado por cumulos máficos com abundante plagioclásio (Pl) e ilmeno-magnetita cúmulus. A CCI aflora em área com cerca de 18 x 07 km, é constituída predominantemente por anortosito de grão médio a grosso, consistindo de Pl e ilmeno-magnetita cúmulus em rochas nas quais quartzo e piroxênio (Opx e Cpx) ocorrem frequentemente como minerais intercúmulus. Apresenta deformação localizada e metamorfismo heterogêneo em condições da fácies xisto verde. A MMI possui dimensões da ordem de 28 x 9 km, é constituída por olivina (Ol) gabronorito (Ol, Pl, Cpx cumulado) e gabronorito (Pl, Cpx, Opx cumulado) com anfibólio (Am) intercúmulus. A recristalização metamórfica, desenvolvida principalmente nas bordas da intrusão, indica condições da fácies anfibolito. A RCI possui dimensões da ordem de 26 x 10 km, e é constituída principalmente por anortosito (Pl cumulado), troctolito (Ol, Pl cumulado), gabronorito (Pl, Cpx, Opx cumulado) e olivina gabronorito (Pl, Cpx, Opx, Ol cumulado), com textura que varia de meso a adcumulática. Apatita (Ap) e zircão (Zrn) ocorrem como fases cúmulus nos litotipos mais fracionados. Ocorre recristalização metamórfica e deformação dúctil restritas a zonas discretas, com assembléia indicativa de condições da fácies granulito. Dados de química mineral dos cumulos do RCI indicam que a olivina é moderadamente primitiva ( $Fo_{68}$ ; NiO 760-1020 ppm) nos troctolitos e altamente fracionada ( $Fo_{18-07}$ ; NiO <400 ppm) nos olivina gabronoritos, o que condiz com o hiato de cristalização de olivina verificado na seqüência de cumulos. As composições de Opx, Cpx e Pl formam um *trend* contínuo de fracionamento desde termos moderadamente primitivos ( $En_{72}$  no troctolito mais primitivo) até altamente fracionados ( $En_{19}$  e  $En_{14}$  respectivamente em Ol gabronorito e anortosito mais fracionado). Cristais de zircão de Ol gabronorito e granulito máfico da RCI, datados pelo método U-Pb, apontaram idades de  $526 \pm 5,6$  e  $533 \pm 4,2$  Ma, respectivamente. Esta idade Cambriana é interpretada como de cristalização magmática e estabelece a RCI como a intrusão acamadada mais jovem reconhecida na Província Tocantins. Isótopos de Nd dosados em Ol gabronorito da RCI revelam idade isocrônica (rocha – Pl – Ap) de  $874 \pm 89$  Ma com  $\epsilon_{Nd(T)} = -9$ . Em outras

rochas cumuláticas da RCI foram obtidos valores de  $\epsilon_{Nd(530)}$  também fortemente negativos (-7 a -12) e  $T_{DM}$  entre 1687 to 2161 Ma. Os dados isotópicos são compatíveis com a cristalização de rocha cumulática em 530 Ma a partir de magma básico altamente contaminado por rochas crustais mais antigas. O Grupo 2, constituído pelas intrusões VE3, Monte do Carmo (MCI) e São Domingos (SDI), a leste do rio Tocantins, é caracterizado pela grande proporção de rochas ultramáficas e pela ausência de Opx. MCI e VE3 consistem essencialmente em wehrlito (Ol, Cpx cumulado) e clinopiroxenito (Cpx cumulado), localmente com anfibólio intercúmulus e textura entre ad- e ortocumulática. Termos gabróicos são significativamente menos abundantes. O acamamento primário, evidenciado pela transição gradual entre wehrlito, clinopiroxenito e gabro, é marcado por sucessivas unidades cíclicas com espessura variável desde poucos metros até dezenas de metros. De maneira localizada a assembléia magmática está variavelmente substituída por assembléia metamórfica de minerais hidratados (tremolita, serpentina, talco, magnetita, clorita, magnesita, epidoto e fengita). Dados de química mineral são restritos a Intrusão VE3 e mostram olivina ( $Fo_{85-84}$ ; NiO 0,07-0,14%) e clinopiroxênio ( $En_{49-42}$ ) com composições homogêneas nessas rochas, indicando fracionamento restrito no intervalo amostrado. Análises isotópicas Sm-Nd dessas rochas não produziram alinhamento isocrônico que permitisse calcular a idade de cristalização. Contudo, as idades modelo altamente variáveis e os valores negativos de  $\epsilon_{Nd(530)}$  (-2,56 a -3,10) sugerem que o magma parental foi heterogeneamente contaminado por material crustal. Os dados combinados de petrografia e química mineral indicam que os grupos 1 e 2 têm seqüências de cristalização distintas, sugerindo que pertençam a diferentes suítes magmáticas. A seqüência de cristalização do Grupo 1 é  $Pl + Ol \rightarrow Pl + Ol + Cpx \rightarrow Pl + Opx$  ou pigeonita invertida +  $Cpx \rightarrow Pl + pigeonita invertida + Cpx + Ol \rightarrow Pl + pigeonita invertida + Cpx + Ol + Zrn + Ap$ , que é típica de magmas toleíticos (ex: Skaergaard), enquanto a do Grupo 2 é  $Cpx + Ol \rightarrow Cpx \rightarrow Cpx + Pl$ , que constitui uma seqüência de cristalização livre de piroxênio pobre em Ca (ex: Pechenga). Esses novos dados petrológicos e isotópicos sugerem também que as intrusões acamadadas dos Grupos 1 e 2 não pertencem a qualquer dos tipos de intrusões acamadadas descritos na Província Tocantins. Este fato, acrescido da capacidade de ambas para cristalizar rochas ricas em olivina e as evidências de contaminação por material crustal, tornam-nas atrativas como novos alvos para a exploração de depósitos de Ni-EGP (Elementos do Grupo da Platina) no Brasil central. Esses novos dados demandam também uma revisão do modelo tectônico dessa região da Província Tocantins, para que o significado dessas intrusões seja avaliado no contexto evolutivo regional.

## ABSTRACT

The layered mafic-ultramafic intrusions of Porto Nacional are located between 10°35'S/49°W and 11°15'S/48°W in the Tocantins Province, between the Brasília and Araguaia fold belts. The existence of two geologically different groups of layered intrusions was originally recognized during a regional mineral exploration programme, including airborne geophysics and drilling. The Group 1 includes the Carreira Comprida (CCI), Rio Crixás (RCI) and Morro da Mata (MMI) intrusions, all of them located to the west of the Tocantins River. This group consists of mafic cumulates with abundant cumulus plagioclase and ilmeno-magnetite. The CCI has about 18 x 07 km, consists mainly of coarse- to medium-grained anorthosite and has cumulus plagioclase plus ilmeno-magnetite, frequently associated with intercumulus pyroxenes and quartz. The CCI has heterogeneous and localized tectonism and recrystallization to assemblages of the greenschist facies metamorphism. The MMI has about 28 x 09 km, consists of olivine gabbro-norite (Ol, Pl, Cpx cumulate) and gabbro-norite (Pl, Cpx, Opx cumulate) with intercumulus amphibole. Metamorphic recrystallization to amphibole facies assemblages occurs mainly at the borders of the RCI. The RCI has about 26 x 10 km, consists mainly of anorthosite (Pl cumulate), troctolite (Ol, Pl cumulate), gabbro-norite (Pl, Cpx, Opx cumulate) and olivine gabbro-norite (Pl, Cpx, Opx, Ol cumulate) with ad- to mesocumulate textures. Apatite and zircon are additional cumulus minerals in the more differentiated rocks of the MMI. Metamorphic recrystallization and associated ductile deformation is restricted to shear zones where granulite facies assemblages were developed. The composition of cumulus olivine in the RCI changes from moderately primitive (Fo<sub>68</sub>; NiO 760-1020 ppm) in troctolites to highly fractionated (Fo<sub>18-07</sub>; NiO <400 ppm) in olivine gabbro-norites. These compositional changes are consistent with the crystallization gap in the crystallization of olivine indicated by the sequence of cumulate rocks of the RCI. The compositional variation of Opx from the RCI, on the other hand, forms a continuous fractionation trend from moderately primitive compositions (En<sub>72</sub> in the less differentiated troctolite) up to highly fractionated (En<sub>19</sub> e En<sub>14</sub> in the most differentiated olivine gabbro-norite and anorthosite, respectively). U-Pb ID-TIMS dating of zircons from a olivine gabbro-norite and a mafic granulite from the RCI yielded concordia ages of 526±5.6 and 533±4.2 Ma respectively. These Cambrian ages are interpreted to be the age of magmatic crystallization of the RCI, thus representing the youngest layered intrusion known in the Tocantins Province. Nd isotopes from an olivine gabbro-norite yielded an isochron (whole rock - plagioclase - apatite) 874±89 Ma and  $\epsilon_{Nd(T)}$  of -9. Nd isotopic compositions of several samples of the RCI yield strongly negative  $\epsilon_{Nd(530\text{ Ma})}$  (between -7 and -12) and variable model

ages (1687 to 2161 Ma). These results are consistent with the crystallization of the cumulate rocks at ca 530 Ma from a magma highly contaminated with old crustal rocks. The Group 2 includes the VE3, Monte do Carmo (MCI) and São Domingos (SDI) layered intrusions, all of them located to the east of the Tocantins River. This group of layered intrusions are characterized by abundant ultramafics and the absence of Opx in the cumulates. The MCI and VE3 intrusions consist mainly of wehrlite (Ol, Cpx cumulate) and clinopyroxenite (Cpx cumulate), occasionally with intercumulus amphibole and ad- to orthocumulate texture. Gabbroic rocks are significantly less abundant when compared to ultramafics in both intrusions. Magmatic layering is indicated by gradational transitions from wehrlite to clinopyroxenite and gabbro, consisting of several cyclic units with thickness variable from few meters up to dozens of meters-thick. The magmatic assemblages of the VE3 intrusions are locally transformed into metamorphic assemblages consisting of hydrous metamorphic minerals (tremolite, serpentine, talc, magnetite, chlorite, magnesite, epidote and phengite). The composition of olivine (Fo<sub>85-84</sub>; NiO 0,07-0,14%) and clinopyroxene (En<sub>49-42</sub>) of samples collected from drill cores intercepting VE3 cumulates are highly homogeneous suggesting moderately primitive compositions and very limited fractionation within the stratigraphic interval intercepted by drilling. Sm-Nd isotopic data for samples from the VE3 intrusion didn't produce a crystallization age for Group 2 Layered Intrusions. Highly variable T<sub>DM</sub> ages and negative ε<sub>Nd(530)</sub> values (-2.56 a -3.10) suggest that the parental magma of the VE3 intrusion was heterogeneously contaminated with old crustal material. Petrographic and mineral chemistry data indicate that each group of layered intrusions follows a different crystallization sequence, thus belonging to distinct magmatic suites. The sequence of crystallization for cumulate rocks of the Group 1 intrusions is characterized by Pl + Ol → Pl + Ol + Cpx → Pl + Opx or inverted pigeonite + Cpx → Pl + inverted pigeonite + Cpx + Ol → Pl + inverted pigeonite + Cpx + Ol + Zrn + Ap, which is typical for tholeiitic magmas (e.g. Skaergaard). The sequence of crystallization for cumulate rocks of the Group 2 intrusions is characterized by Cpx + Ol → Cpx → Cpx + Pl, which indicates the absence of Ca-poor pyroxenes (e.g. Pechenga). Petrological characteristics of both groups are favorable for hosting PGE-Ni mineralizations. Both magmatic suites were able to crystallize abundant olivine-bearing rocks, represented by troctolites in the Group 1 intrusions and wehrlites in the Group 2 intrusions. Sm-Nd isotope systematic suggests that both magmas were contaminated with older crustal material, indicating that the mafic magma reacted with crustal host rocks. The latter is a feature frequently associated with the onset of sulfide saturation and segregation as immiscible sulfide liquid, the genetic process common to all nickel sulfide deposits. The new geological, petrological and isotopic data presented in this study suggest

that the layered intrusions of the Porto Nacional area do not belong to any of the previously studied clusters of layered intrusions of the Tocantins Province. This suggestion implies that the tectonic setting where these layered intrusions formed does not correspond to what has been proposed for layered intrusions described in other parts of the Tocantins Province. These new data demand a revision of previous tectonic models for the region in order to assess the tectonic significance of these large layered intrusions. It also opens new opportunities for exploration for Ni-PGE deposits in central Brazil.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

### **Introdução**

Em 2001 tivemos conhecimento da existência, e da disponibilidade para estudo, de testemunhos de sondagem de uma intrusão ultramáfica descoberta pela Verena Minerals Corporation nas proximidades de Monte do Carmo, Tocantins. Além desse corpo, foram identificados, na região, por meio de levantamento aerogeofísico, outros com resposta analítica semelhante. Na época, o conhecimento geológico da área estava restrito aos trabalhos de cartografia básica regional efetuados pelo Projeto RadamBrasil (Cunha, 1980) e CPRM (Frasca & Araújo, 2001), e a Tese de Doutorado de Gorayeb (1996) sobre as rochas de alto grau do Complexo Porto Nacional. Assim, considerando a disponibilidade desses testemunhos de sondagem; o desconhecimento por parte da comunidade científica sobre a existência de parte desses corpos e de sua natureza; o potencial geológico destas intrusões para conter mineralizações magmáticas de Ni-Cu-EGP, e a escassez de estudos específicos sobre as rochas máfica-ultramáficas da região; decidimos desenvolver no decorrer do curso de mestrado um trabalho científico que objetivasse caracterizar as intrusões básicas da região centro-sul do Estado de Tocantins.

Para a realização do trabalho dispusemos do acervo de testemunhos de sondagem da Verena Minerals Corporation e também de imagens aerogeofísicas da região, de maneira que foi possível aperfeiçoar a escolha dos alvos para os trabalhos de campo e estudos posteriores (Anexo 01).

### **Localização e fisiografia**

Foram selecionados cinco corpos intrusivos para estudos sistemáticos. Eles ocorrem em um polígono de cerca de 8.800 km<sup>2</sup> situado na região centro-sul do Estado do Tocantins, delimitada pelos meridianos 48°W e 49°W e pelos paralelos 10°35'S e 11°15'S. As intrusões Monte do Carmo (19 x 3 km) e VE3 (13 x 1,5 km) estão localizadas, respectivamente, 10 km à noroeste e 5 km à norte da cidade de Monte do Carmo. A Intrusão Carreira Comprida (7 x 18 km), aflorante principalmente nas corredeiras homônimas no rio Tocantins, está localizada cerca de 10 km ao sul de Porto Nacional. A Intrusão Rio Crixás (26 x 10 km), exposta principalmente no leito do rio Crixás, está localizada a cerca de 15 km à sudoeste de Brejinho de Nazaré. A Intrusão Morro da Mata (28 x 9 km) é aflorante imediatamente à oeste da BR-153 e à norte do rio Crixás, nas proximidades do povoado de mesmo nome.

Fisiograficamente a área de estudo está contida na Depressão do Tocantins onde se desenvolve a calha do rio Tocantins. O relevo é ondulado, possui dissecação suave e altitude

entre 200 e 300 metros, interceptada por relevos residuais, como a Serra do Carmo. Os corpos Monte do Carmo e VE3 encontram-se próximo ao limite dessa unidade, ao pé da serra formada pela Bacia do Parnaíba. A fitofisionomia dominante é o cerrado.

### **Justificativa e objetivos**

O reconhecimento e descrição recente dessas intrusões máfica-ultramáficas na região centro-sul do Estado do Tocantins (Ferreira Filho *et al.*, 2002), levantou questões importantes quanto a sua natureza e potencial para depósitos magmáticos (Ni-Cu sulfetado, EGP, Fe-Ti-V, cromita). Neste trabalho serão apresentados os resultados de estudos sistemáticos que foram desenvolvidos em áreas selecionadas das intrusões acamadadas, com a finalidade de realizar a caracterização geológica, petrológica e geocronológica das mesmas, enfocando os seguintes aspectos:

- Revisão da geologia e estratigrafia no limite NW da Faixa de Dobramentos Brasília e SE da Faixa de Dobramentos Araguaia;
- Estudo da geologia, petrologia e geocronologia das intrusões acamadadas, com uso de petrografia sistemática, análise química de minerais, análise isotópica de Sm-Nd em minerais e rocha, e análise isotópica de U-Pb em zircão;
- Comparação com os demais grupos de intrusões acamadadas do Brasil central;
- Implicações metalogenéticas.

### **Atividades e Métodos**

Para atingir estes objetivos foi efetuada revisão bibliográfica, inclusive com a análise de mapas e relatórios da Verena Minerals Corporation. Procedeu-se à descrição e amostragem sistemática dos testemunhos de sondagem de seis furos da Intrusão VE3 (Anexo 02), o reconhecimento da região, visita e amostragem dos corpos selecionados (Intrusões Carreira Comprida, Rio Crixás e Monte do Carmo). A Intrusão Morro da Mata foi visitada e amostrada posteriormente quando o autor integrava equipe de trabalho do Serviço Geológico do Brasil.

Foram efetuadas análises petrográficas de 84 amostras selecionadas, o que permitiu o reconhecimento dos diversos litotipos identificados nas intrusões estudadas, assim como a seleção de amostras para análise por microsonda eletrônica (aproximadamente 560 análises em 80 amostras).

As análises químicas de minerais via microsonda eletrônica foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília, em equipamento Cameca SX-50, durante o ano de 2002. Foram analisados cristais de olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e anfibólio de rochas da Intrusão Rio Crixás e olivina,

clinopiroxênio e anfibólio da Intrusão VE3. O tratamento dos dados foi feito por meio de planilha eletrônica Excel e os resultados analíticos encontram-se no Anexo 03.

As análises isotópicas Sm-Nd, minerais e rochas, e as análises isotópicas U-Pb em zircão foram realizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília. Os concentrados minerais (zircão, plagioclásio, ortopiroxênio e apatita da Intrusão Rio Crixás, e plagioclásio e piroxênio da Intrusão VE3) foram obtidos pelo uso de técnicas simples que incluem cominuição, seleção pelo uso de peneiras de diferentes frações, separador magnético (*Frantz*), separação por líquidos densos (bromofórmio e iodeto de metileno), separação por rampa vibratória com fluxo de ar associado (DENSITEST<sup>®</sup>) e seleção manual com lupa binocular. As análises isotópicas Sm-Nd seguiram o método descrito por Gioia & Pimentel (2000) e as análises de isótopos de U-Pb o procedimento modificado de Krogh (1973), tendo sido executadas em espectrômetro de massa tipo Finnigan MAT 262. Os dados obtidos foram calculados usando macro Isoplot/Ex (Ludwig, 2001). Os dados isotópicos estão listados no Anexo 4.

### **Escopo do estudo**

Conforme previsto no regulamento do Curso de Pós-graduação em Geologia da Universidade de Brasília e por sugestão do Orientador, esta dissertação de mestrado apresenta-se estruturada na forma de artigo à ser submetido para publicação em periódico com corpo editorial. O artigo é apresentado na forma que será submetido, mantendo o estilo e o formato previstos no periódico.

O artigo, intitulado “*Geology, petrology and geochronology of the layered mafic-ultramafic intrusions in the Porto Nacional area, central Brazil*” foi elaborado durante o ano de 2006 e será submetido à revista *Journal of South American Earth Sciences*. O artigo tem como objetivo principal apresentar a caracterização geológica, petrológica e geocronológica das intrusões acamadadas máfica-ultramáficas da região de Porto Nacional e suas relações tectônicas e geocronológicas com as unidades hospedeiras. São apresentados estudos sistemáticos de petrografia e química mineral de maneira a definir as tendências de cristalização das intrusões, definindo grupos petrologicamente distintos, além de dados isotópicos que evidenciam algumas dessas rochas como oriundas do magmatismo básico mais jovem reconhecido na Província Tocantins.

### **Referências**

Cunha, B.; Potiguar, L. A. T.; Lanhez, A. C.; Bezerra, P. E. L.; Pitthan, J. H. L.; Souza, J. J. de.; Montalvão, R. M. G. de.; Sousa, A. M. S. de.; Hildred, P. R.; Tassinari, C. C. G.



- Geologia. In. Projeto RadamBrasil: programa de integração nacional: folha SC. 22 Tocantins: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: MME/SG, 1980. 524 p. il. 6 mapas. (Levantamento de Recursos Naturais; 22).
- Ferreira Filho, C.F., Lima, H.A.F., Dantas, E.L., Daoud, W.E.K., Salomão Neto, J., 2002. The layered mafic-ultramafic complexes of the Tocantins State, central Brazil: recently discovered large Proterozoic intrusions with favourable potential to host PGE deposits.. In: IX International Platinum Symposium. Extended Abstracts. Billings, Montana, pp. 141-143.
- Frasca, A.A.S, Araújo, V.A., 2001. Projeto Hidrogeologia no Tocantins – Folha Palmas – SD.22-Z-B. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Goiânia, 52p.
- Gioia, S.M.C.L., Pimentel, M.M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. Anais Academia Brasileira de Ciências 72, 219-245.
- Gorayeb, P.S.S., 1996. Petrologia e Evolução Crustal das Rochas de Alto Grau de Porto Nacional – TO. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 262p.
- Krogh, T.E., 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. Geochim Cosmochim Acta 37, 485-494.
- Ludwig, K.R., 2001. Users Manual for Isoplot/Ex version 2.47. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication 1a, 55p.

**GEOLOGY, PETROLOGY AND GEOCHRONOLOGY OF THE LAYERED MAFIC-  
ULTRAMAFIC INTRUSIONS IN THE PORTO NACIONAL AREA, CENTRAL  
BRAZIL.**

**HUMBERTO ALCÂNTARA FERREIRA LIMA, CESAR FONSECA FERREIRA  
FILHO, MÁRCIO MARTINS PIMENTEL, ELTON LUIZ DANTAS, SYLVIA MARIA  
DE ARAÚJO.**

**A SER SUBMETIDO AO *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES***

# GEOLOGY, PETROLOGY AND GEOCHRONOLOGY OF THE LAYERED MAFIC-ULTRAMAFIC INTRUSIONS IN THE PORTO NACIONAL AREA, CENTRAL BRAZIL.

**Humberto Alcântara Ferreira Lima, Cesar Fonseca Ferreira Filho<sup>\*</sup>, Márcio Martins Pimentel, Elton Luiz Dantas, Sylvia Maria de Araújo**

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 70910-900. Brazil.

<sup>\*</sup> Corresponding author. Fax +55 61 3347 4062.

*E-mail address:* limahumberto@yahoo.com.br (H. Lima).

*E-mail address:* cesarf@unb.br (C. Ferreira Filho).

## **Abstract**

Large layered intrusions of the Porto Nacional area include two distinctively different groups. Mafic intrusions located west of the Tocantins River (Group 1) follow a tholeiitic fractionation trend characterized by olivine compositions from moderately primitive ( $Fo_{68}$ ) to highly fractionated ( $Fo_{07}$ ). Zircon fractions of an olivine gabbro-norite from a Group 1 intrusion yield a U-Pb concordia age of  $526 \pm 5$  Ma. Highly variable  $T_{DM}$  ages and negative  $\epsilon_{Nd(530)}$  values of samples from this Group 1 intrusion indicate crystallization in ca 530 Ma from a magma highly contaminated with older crustal rocks. The layered intrusions located east of the Tocantins River (Group 2) have a large proportion of ultramafics (mainly wehrlite) and follow an Opx-free crystallization sequence. The compositional variation of olivine ( $Fo_{85-84}$ ) and Cpx ( $En_{49-45}$ ) of cumulates from Group 2 intrusions indicate moderately primitive compositions and very limited fractionation. Sm-Nd isotopic data for Group 2 intrusions are highly scattered and do not yield a crystallization age. Highly variable  $T_{DM}$  ages and negative  $\epsilon_{Nd(0)}$  values suggest that the parental magma of Group 2 intrusions were heterogeneously contaminated with old crustal material. These two groups of layered intrusions open new opportunities for exploration for Ni-PGE deposits in central Brazil.

*Keywords:* Layered intrusion, mafic-ultramafic, geochronology, Cambrian, Porto Nacional, Sm-Nd, U-Pb.

## 1. Introduction

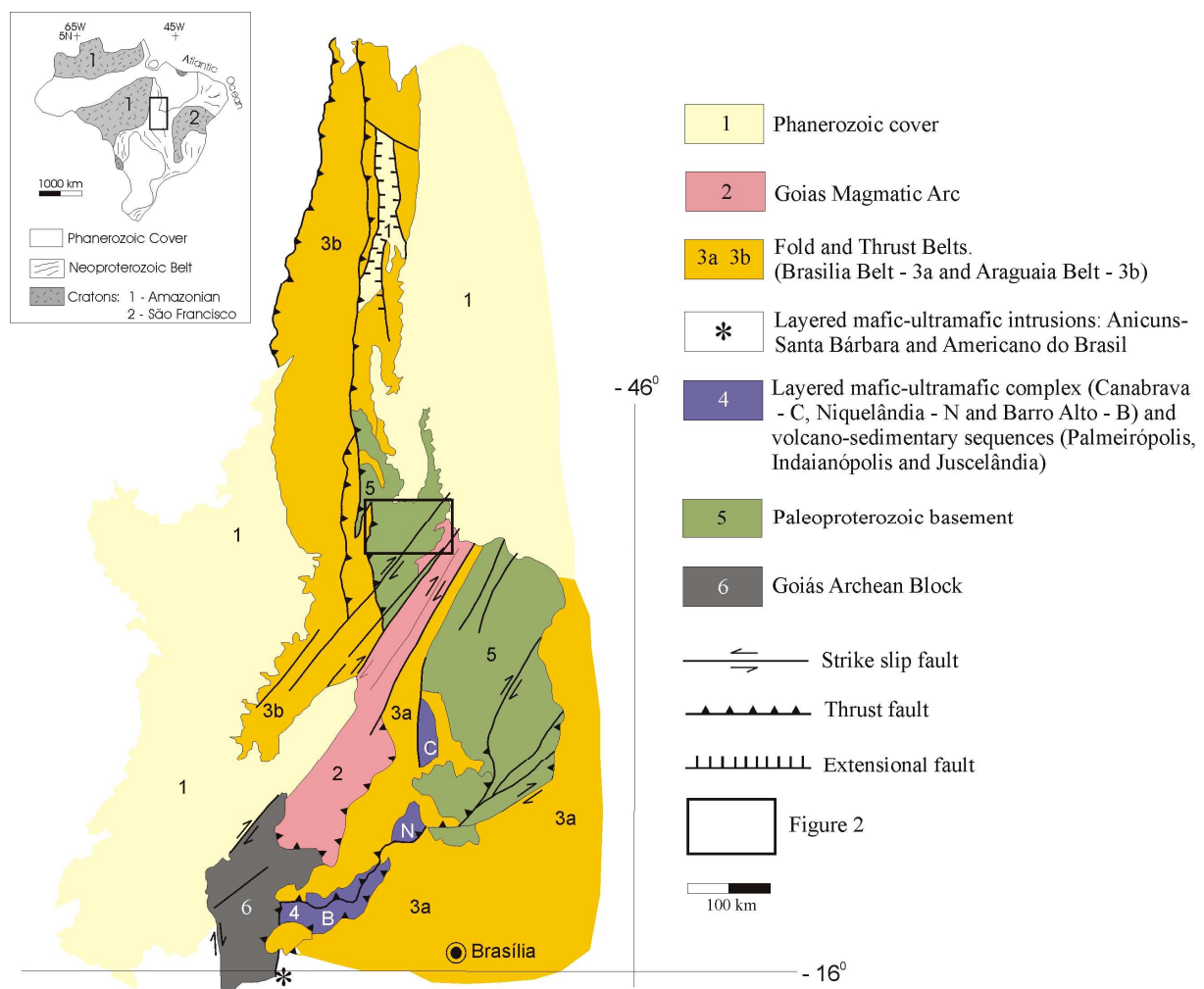
The discovery of several large layered mafic-ultramafic intrusions in Porto Nacional, Tocantins State, has been used to suggest that they represent attractive targets for PGE and nickel-sulfide deposits (Ferreira Filho *et al.*, 2002). Following this suggestion, systematic geological, petrological and geochronological studies were developed to better constrain the nature of these intrusions and their tectonic-chronological relationship with host rocks. Our results indicate the existence of two petrologically distinct groups of layered intrusions. They also indicate that significant basic magmatism occurred during the Cambrian period (530 Ma) in the Tocantins Province, between the Brasília Folded Belt and the Araguaia Folded Belt. This is the first Cambrian age (Lima *et al.*, 2003) to be reported for extensive basic magmatism in the Tocantins Province, thus providing new geological insights and exploration opportunities for the region.

## 2. Regional Setting

The layered intrusions of Porto Nacional are located in the Tocantins Province (Pimentel *et al.*, 2000), a Neoproterozoic (Brasiliano) orogen formed between the Amazonian and São Francisco cratons (Figure 1). In this region, Neoproterozoic rocks and remnants of older basement rocks are partially covered by Phanerozoic sediments of the Parnaíba Basin (Fuck *et al.*, 2001). The region is located close to the boundary of two major Neoproterozoic folded belts, the Brasília belt to the southeast and the Araguaia belt to the northwest. These folded belts are known for hosting different types of mafic-ultramafic bodies, including large Ni-PGE mineralized layered intrusions within the Brasília Belt (Ferreira Filho, 1998; Pimentel *et al.*, 2004; Laux *et al.*, 2004) and Ni-laterite mineralized ophiolitic complexes within the Araguaia Belt (Kotschoubey *et al.*, 2005).

The basement rocks of the Porto Nacional area (Figure 2) are Paleoproterozoic (2.05-2.15 Ga) gneiss-granulite terrains, including the Porto Nacional Complex and Rio dos Mangues Complex (Gorayeb, 1996). The Ipueiras Granite ( $2086 \pm 2$  Ma; Chaves, 2003) and Carmo Granite ( $2025 \pm 26$  Ma; Sachett, 1996) are large plutons intrusive into basement rocks. Both high-grade terrains and Paleoproterozoic granites are partially covered by a continental rift-type volcanic-sedimentary sequence (Araí Group) consisting mainly of clastic sediments and ca 1.77 Ga bimodal volcanics (Pimentel *et al.*, 1991; Dardenne, 2000). Paleoproterozoic terrains are intruded by large Neoproterozoic plutons of granitic and tonalitic compositions.

These plutons include the  $545 \pm 5$  Ma Matança Granite (Kotschoubey *et al.*, 2000) and the  $571 \pm 2$  Ma Aroeira Granite (Quaresma & Kostchoubey, 2001). Additional Neoproterozoic bodies include tonalites and granodiorites of the Aliança Suite (Frasca & Lima, 2005). Neoproterozoic sedimentary covers, consisting mainly of phyllite and garnet schist, are restricted to the Pequizeiro Formation (Frasca & Araújo, 2001; Souza & Moreton, 1995) in the western portion of the area. Paleo-Mesozoic and Tertiary-Quaternary sedimentary covers are widespread and unconformably overly large portions of the Precambrian geology. The Transbrasiliano Lineament (TBL), a continental-scale tectonic zone (Schobbenhaus Filho *et al.*, 1975) is a prominent tectonic feature of the studied area. The TBL in the Porto Nacional region is mainly covered by younger sedimentary cover and the location indicated in Figure 2 is based upon regional structures and few outcrops of sheared rocks.



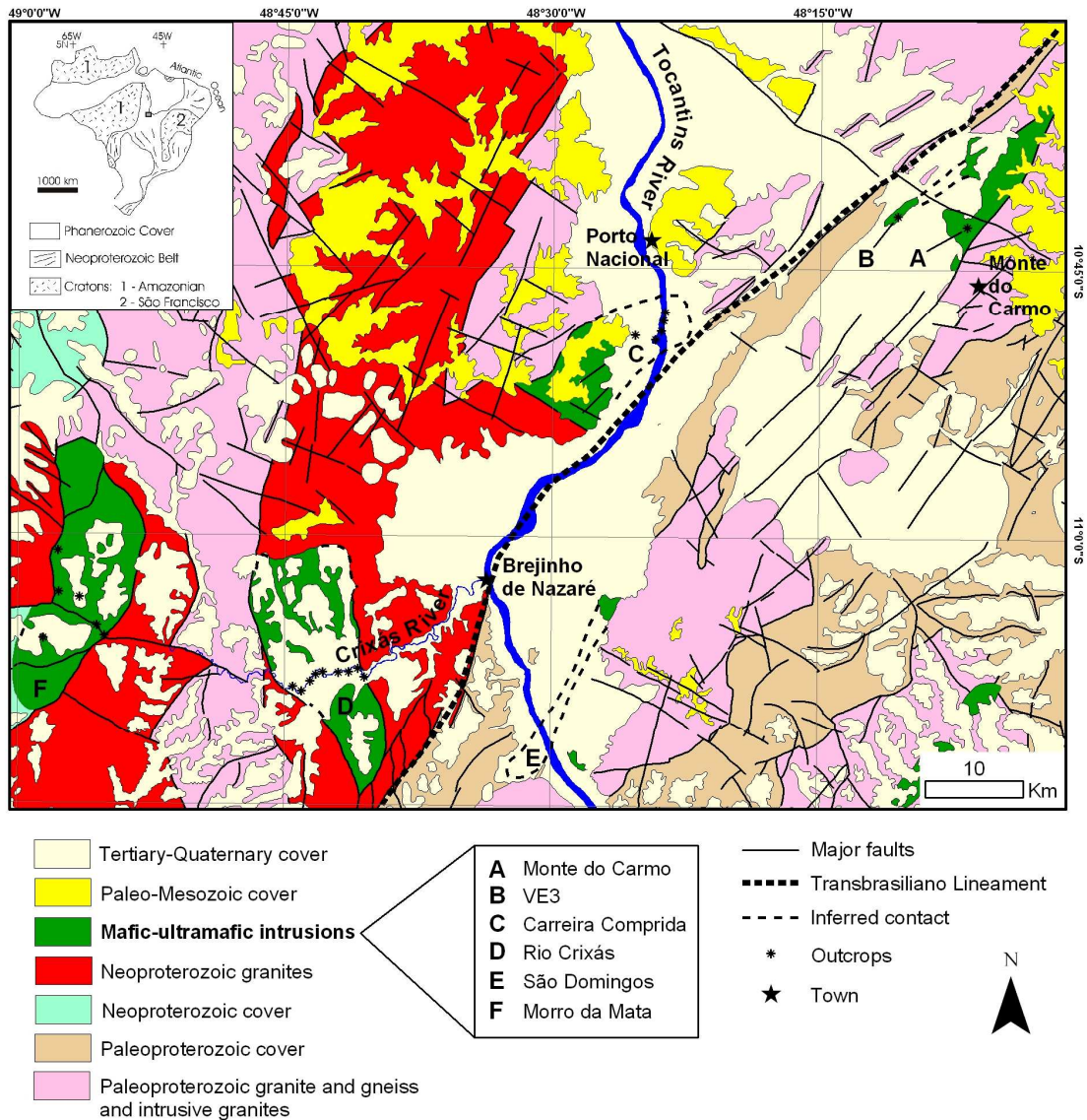
**Figure 1. Main geotectonic units of central Brazil. Modified from Delgado *et al.*, (2003) and Pimentel *et al.*, (2006).**

Layered mafic rocks in the area were first described in the Tocantins rapids located few kilometers south of Porto Nacional (Costa *et al.*, 1975). Most of the investigations that

followed were mainly concerned with this anorthositic body known as the Carreira Comprida Anorthosite (Gorayeb, 1996; Frasca & Araújo, 2001). Based on preliminary zircon Pb-Pb dating ( $2071 \pm 4$  Ma), Gorayeb & Moura (2001) considered that these anorthositic rocks were emplaced during the Paleoproterozoic Transamazonic Cycle. The existence of several large layered intrusions of different compositions was recognized during an exploration program developed by Verena Minerals Corporation (Ferreira Filho *et al.*, 2002). This exploration program, including airborne geophysics and drilling, indicated the existence of large and poorly exposed elongated bodies oriented parallel to the NE regional trend (Ferreira Filho *et al.*, 2002). The layered mafic and mafic-ultramafic intrusions were assigned by the authors to two distinct groups, on the basis of rock types, assemblage of cumulus minerals, geophysical anomalies and field association (Table 1 and Figure 2). The layered intrusions located to the west of the Tocantins River (Group 1), including the Carreira Comprida and Rio Crixás intrusions, consist mainly of mafic cumulates and are characterized by abundant plagioclase and magnetite-ilmenite cumulates. The Morro da Mata intrusion (Lima & Frasca, 2005) is characterized by olivine gabbronorite and gabbronorite and is also included in Group 1 intrusions. The layered intrusions located to the east of the Tocantins River (Group 2), including the VE3, São Domingos and Monte do Carmo intrusions, have a large proportion of ultramafics (olivine cumulates) and are recognized by strong magnetic anomalies in the airborne geophysical survey carried on by Verena Minerals Corporation. The broad division of layered intrusions presented in Table 1 will be used to organize the following descriptions and discussions.

Table 1. Mafic and mafic-ultramafic intrusions of the Porto Nacional.

Intrusion	Areal Extent	Main Rock Types
<b>Group 1</b>		
Carreira Comprida	7 x 18 km (116 km <sup>2</sup> )	Anorthosite
Rio Crixás	26 x 10 km (196 km <sup>2</sup> )	Anorthosite, Troctolite, Gabbronorite, Ol Gabbronorite
Morro da Mata	28 x 9 km (202 km <sup>2</sup> )	Gabbronorite, Olivine gabbronorite.
<b>Group 2</b>		
VE3	13 x 1.5 km (19 km <sup>2</sup> )	Wehrlite, Clinopyroxenite, Gabbro
Monte do Carmo	19 x 3 km (52 km <sup>2</sup> )	Wehrlite, Clinopyroxenite, Gabbro
São Domingos	21 x 1.5 km (39 km <sup>2</sup> )	Rare outcrops (delineated by geophysics)



**Figure 2. Simplified geological map showing the location of the layered mafic-ultramafic intrusions of the Porto Nacional. Modified from Lima & Frasca (2005).**

### 3. Analytical Procedures

#### 3.1 Mineral analyses

All mineral analyses were performed on polished thin sections using a fully automated Cameca SX-50 Electron Microprobe at the Geosciences Institute, University of Brasília (Brazil). Wavelength dispersive (WDS) analyses were performed at an accelerating voltage of 15 kV and a beam current of 25 nA. Background counting time was set to half of the peak counting time. Both synthetic and natural mineral standards were used for the analyses and the same standards and procedure were retained throughout.  $\text{Fe}^{3+}$  contents were estimated using site and charge balance calculations on cation-normalised analyses. Systematic analyses

of olivine (32 analyses), orthopyroxene (121 analyses), clinopyroxene (102 analyses) and plagioclase (117 analyses) were obtained from 21 representative samples from outcrops of the Rio Crixás Intrusion. Systematic analyses of olivine (20 analyses) and clinopyroxene (106 analyses) were obtained from 44 representative samples from drill core of the VE3 Intrusion and 06 samples from outcrops of the Monte do Carmo Intrusion. Qualitative energy dispersive (EDS) analyses were performed on specific minerals to support the petrographic studies.

### 3.2 U-Pb and Sm-Nd isotopic analyses

Fourteen new Sm-Nd isotopic results and 02 new ID-TIMS ages (11 isotopic results) were obtained for samples from the Porto Nacional layered intrusions in this study.

Mineral concentrates (zircon, plagioclase, orthopyroxene, clinopyroxene and apatite) were extracted from ca. 10 kg rock samples using conventional gravimetric (DENSITEST<sup>®</sup>) and magnetic (Frantz isodynamic separator) techniques at the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. Final purification was achieved by hand picking through a binocular microscope.

For U-Pb analyses, fractions were dissolved in concentrated HF and HNO<sub>3</sub> (HF:HNO<sub>3</sub> = 4:1) using microcapsules in Parr-type bombs. A mixed <sup>205</sup>Pb-<sup>235</sup>U spike was used. Chemical extraction followed a standard anion exchange technique, with Teflon microcolumns and following procedures modified from Krogh (1973). Pb and U were loaded together onto single Re filaments with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and silica gel, and isotopic analyses were carried out at the Geochronology Laboratory of the University of Brasília on a Finnigan MAT-262 multicollector mass spectrometer equipped with secondary electron multiplier ion counting. Procedure blanks for Pb, at the time of analyses, were better than 20 pg. For data reduction and age calculation, PBDAT (Ludwig, 1993) and ISOPLOT-Ex (Ludwig, 2001) were used. Errors for isotopic ratios were 2σ.

Sm-Nd isotopic analyses followed the method described by Gioia & Pimentel (2000) and were also carried out at the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. Whole-rock powders (~ 50 mg) were mixed with <sup>149</sup>Sm-<sup>150</sup>Nd spike solution and dissolved in Savillex capsules. Sm and Nd extraction of whole-rock samples followed conventional cation exchange techniques, with Teflon columns containing LN-Spec resin (HDEHP - diethylhexil phosphoric acid supported on PTFE powder). Sm and Nd samples were loaded on Re evaporation filaments of double filament assemblies, and the isotopic measurements were carried out on a multicollector Finnigan MAT 262 mass spectrometer in static mode. Uncertainties of Sm/Nd and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd ratios were better than ± 0,1% (1σ) and ± 0,0015% (1σ), respectively, according to repeated analyses of international rock standards BHVO-1



and BCR-1.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios were normalized to  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  0.7219, and the decay constant used was ( $\lambda$ )  $6,54 \times 10^{-12}$ . The  $T_{\text{DM}}$  values were calculated using DePaolo's (1981) model.

#### **4. Group 1 Layered Intrusions**

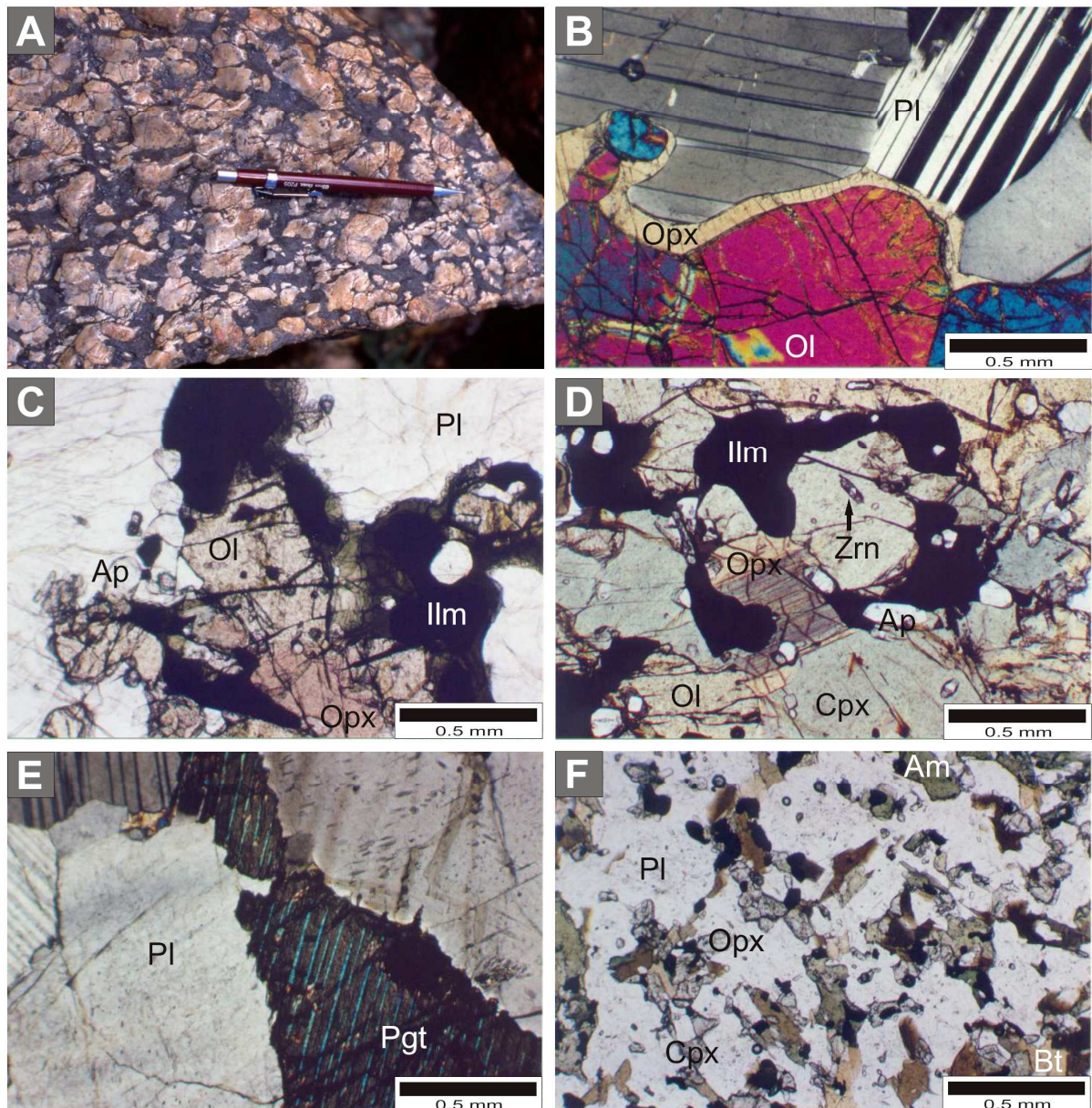
##### **4.1 Geology and Petrography**

Group 1 includes the layered intrusions located west of the Tocantins River (Figure 2). Geological mapping delineates three main bodies where mafic cumulates from Group 1 crop out. Poor outcropping due to younger sedimentary covers does not allow to precise the size of these bodies and geological contacts with country rocks.

##### **The Carreira Comprida Intrusion**

The Carreira Comprida Intrusion (CCI), located south of Porto Nacional Town, includes the former 10 km-long outcrops along the Tocantins River rapids. These outcrops, now covered by the Lageado hydroelectric dam, represented the best exposures of the CCI. Coarse to medium-grained anorthosite is the predominant rock type in the CCI (Figure 3A). Anorthosite consists mainly of tabular plagioclase crystals, accessory ilmeno-magnetite and variable amounts of interstitial pyroxene and quartz. The rock is a plagioclase and ilmeno-magnetite cumulate with intercumulus pyroxene and quartz. Anorthosites are mainly massive rocks excepting for rare outcrops where discrete magmatic layering is shown by variable amounts of interstitial pyroxene. Even though magmatic structures and textures are generally well preserved, anorthosites of the CCI are usually partially deformed and replaced by metamorphic minerals.

Metamorphic recrystallization and ductile deformation are heterogeneous and both pristine and completely sheared and recrystallized anorthosites occur. The metamorphism is characterized by an assemblage consisting of epidote, actinolite, titanite, rutile, chlorite and fengite, suggesting mainly greenschist facies conditions of metamorphism. Garnet forms coronas between plagioclase and pyroxene in few samples. The coronitic garnet is partially replaced by chlorite, suggesting that it was overprinted by greenschist facies metamorphism.



**Figure 3.** A) Anorthosite from the Carreira Comprida Intrusion. Large cumulus plagioclase (light gray) and interstitial pyroxenes (dark gray). Outcrop in the Tocantins River. B) Photomicrograph of leucotroctolite (sample RC15) from the Rio Crixás Intrusion. Mesocumulate texture consisting of cumulus olivine (Ol) and plagioclase (Pl) with minor intercumulus Opx. C) Photomicrograph of olivine gabbronorite (sample RC17) from the Rio Crixás Intrusion. Cumulus olivine (Ol), plagioclase (Pl), Opx, Cpx, ilmenite (Ilm) and apatite (Ap). D) Photomicrograph of olivine gabbronorite (sample RC19). Similar to sample RC17. The field of view shows abundant euhedral apatite (Ap) and zircon (Zrn). E) Photomicrograph of anorthosite (sample RC08) from the Rio Crixás Intrusion. Cumulus plagioclase and interstitial inverted pigeonite (Pgt). F) Photomicrograph of mafic granulite (sample RC09) from the Rio Crixás Intrusion. The fine-grained granoblastic assemblage consists of plagioclase, Opx, Cpx, amphibole (Am) and biotite (Bt). Mineral abbreviations as described by Kretz (1983).

### The Rio Crixás Intrusion

The Rio Crixás Intrusion (RCI), located to the West of Brejinho de Nazaré, is best exposed along the Crixás River (Figure 2). In this area the RCI consists mainly of interlayered anorthosites and different types of mafic cumulate rocks, including troctolite, leucotroctolite, gabbronorite and olivine gabbronorite. The variability of rock types is a distinctive feature of

the RCI, contrasting with the homogeneous anorthosites of the CCI. Rocks are coarse- to medium-grained with magmatic textures and mineralogy largely preserved. The mafic cumulates have mainly mesocumulate to adcumulate textures.

Troctolites and leucotroctolites are olivine and plagioclase cumulates (Figure 3B) with variable amounts of intercumulus Opx and highly pleochroic brownish amphibole. Olivine in troctolites is colorless while Opx has weak colorless to light pink pleochroism, suggesting a composition with high Mg/Fe ratio.

Gabbronorites are plagioclase, Opx and Cpx cumulates with variable amounts of intercumulus brownish amphibole, phlogopite, quartz and minor sulfides (pyrrhotite, chalcopyrite and pyrite). Pyroxenes have moderate pleochroism from light green to pink and show acicular exsolutions of rutile. Apatite and ilmenite are relatively abundant in few samples. The modal abundance of ilmenite and apatite jumps from very low to about 5 vol. % and 2 vol. % respectively, indicating that they become cumulus minerals in the more fractionated gabbronorites.

Olivine gabbronorites are olivine, plagioclase, Cpx, inverted pigeonite, ilmenite, Ti-magnetite and apatite cumulates (Figure 3C). In these rocks the mafic silicates are dark colored and pleochroic indicating compositions with high Fe/Mg ratios. Olivine and pyroxenes have brownish color and the latter have abundant acicular exsolutions of rutile. Apatite consists of abundant (usually about 2 vol % but up to 5 vol %) fine-grained euhedral crystals, usually included in larger olivine, pyroxenes, plagioclase and ilmeno-magnetite. Interstitial minerals are highly variable and consist of quartz, brownish amphibole, phlogopite and minor sulfides (pyrrhotite, chalcopyrite and pyrite). Zircon is an accessory mineral (up to 1 vol %) in few samples. In these samples zircon occurs enclosed in large minerals and is interpreted to be a cumulus mineral (Figure 3D).

Anorthositic and leucocratic varieties are usually coarse- to medium-grained rocks consisting mainly of tabular plagioclase crystals (Figure 3E). These plagioclase-rich varieties are highly fractionated rocks consisting of variable amounts of dark-colored pyroxenes (inverted pigeonite) together with ilmenite and Ti-magnetite, as well as interstitial quartz, amphibole, phlogopite and minor sulfides (pyrrhotite, chalcopyrite and pyrite).

Metamorphic recrystallization and ductile deformation in the Rio Crixás Intrusion are restricted to discrete zones. In these zones the primary igneous mineralogy is partially to completely recrystallized into fine-grained granoblastic assemblages (Figure 3F). Recrystallized rocks consist of variable proportions of plagioclase, Opx, Cpx, dark-brown amphibole and quartz, indicating recrystallization under granulite facies conditions. Metamorphic recrystallization is associated with ductile deformation. Highly deformed

primary pyroxenes and plagioclase consist of elongated and banded crystals, showing undulose extinction and partial recrystallization.

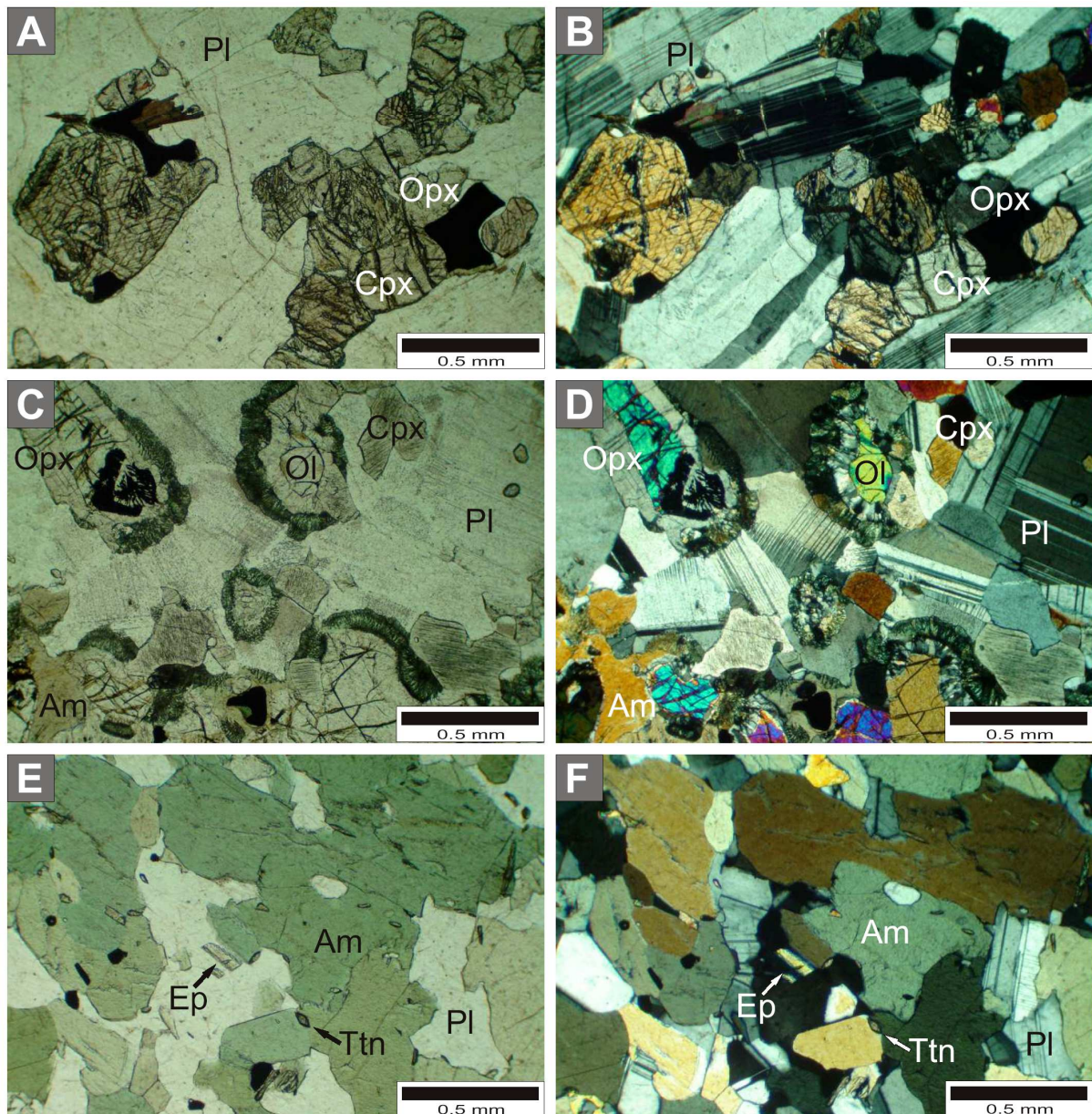
#### Morro da Mata Intrusion

The Morro da Mata Intrusion (Figure 2) occurs in discontinuous outcrops in a region with a thick lateritic cover. The geological outline of the intrusion is mainly based on combined magnetometric and radiometric data from regional aerogeophysical survey. Outcrops of mafic cumulates with preserved primary igneous mineralogy are restricted to specific zones of the intrusion. They consist mainly of gabbronorite (Figure 4A and 4B) and minor olivine gabbronorite (Figure 4C and 4D). The olivine gabbronorite is an olivine, plagioclase and Cpx cumulate with intercumulus Opx and brownish amphibole. Gabbronorite is a plagioclase, Cpx and Opx cumulate with intercumulus brownish amphibole and lesser amounts of interstitial quartz and magnetite. Reaction coronas between olivine and plagioclase occur in olivine gabbronorites. The corona consists of a layer of lamellar Opx adjacent to olivine and a second layer consisting of symplectitic intergrowth of Cpx and green spinel adjacent to plagioclase (Figure 4C and 4D).

Metamorphic recrystallization and ductile deformation of the primary cumulates are frequently observed in the Morro da Mata Intrusion, being pervasive in the border zone of the intrusion. Into these zones the primary igneous rocks are partially to completely transformed into foliated medium-grained nematoblastic amphibolites (Figure 4E and 4F). These rocks consist mainly of green amphibole and plagioclase with accessory epidote and titanite. This assemblage indicates recrystallization under amphibolite facies conditions.

#### 4.2 Mineral Compositions

Systematic studies of mineral composition of rocks from Group 1 Layered Intrusions were restricted to the Rio Crixás Intrusion. Abundant unweathered samples with primary igneous minerals representing distinct types of cumulate rocks were just found in outcrops of the Crixás River. Most samples from the Carreira Comprida and Morro da Mata intrusions are either weathered or partially/completely replaced by metamorphic assemblages. Olivine, Opx, Cpx and plagioclase were analysed on different rock types of the Rio Crixás Intrusion. Representative analyses are reported in Tables 2 to 5.



**Figure 4. Photomicrographs (observation under plane polarized light and crossed polarized light) illustrating the lithotypes of the Morro da Mata Intrusion. A-B) Gabbronorite consisting of cumulus plagioclase (Pl), Cpx, Opx and accessory magnetite. C-D) Olivine gabbronorite consisting of cumulus olivine (Ol), plagioclase (Pl) and Cpx, with interstitial Opx and amphibole (Am). Reaction coronas occur between olivine and plagioclase. E-F) Amphibolite consisting of green amphibole and plagioclase with minor titanite (Ttn) and epidote (Ep). Mineral abbreviations as described by Kretz (1983).**

Olivine compositions form two separate clusters (Figure 5). Troctolites and leucotroctolite (olivine and plagioclase cumulates) have olivine with moderately primitive compositions ( $Fe_{68}$ ; 760-1020 ppm NiO) while olivine gabbronorites have olivine with highly fractionated compositions ( $Fe_{18-07}$ ; NiO content below 400 ppm). These data are consistent with the gap of olivine crystallization observed in the cumulate sequence. Olivine compositions are also consistent with the very distinct optical characteristics described in olivines from these two groups. Fe-rich olivines from olivine gabbronorites have brownish color thus contrasting with colorless Mg-rich olivines from troctolites and leucotroctolites.

Extremely Fe-rich olivines (Fo<sub>11-07</sub>) occur together with cumulus apatite and zircon, indicating that these rocks crystallized from highly fractionated basic magmas.

Compositions of cumulus Opx and Cpx in gabbronorites and olivine gabbronorites form a continuous trend from moderately primitive to highly fractionated compositions. Cumulus Opx compositions change from En<sub>61</sub> in the most primitive gabbronorites up to En<sub>19</sub> in the most fractionated olivine gabbronorite and En<sub>14</sub> in Opx-bearing anorthositic rocks (Figure 6). Intercumulus Opx in leucotroctolites have the most primitive Opx compositions (En<sub>72</sub>) in the Rio Crixás Intrusion (Figure 6). Cumulus Cpx compositions vary from En<sub>43</sub> in the most primitive gabbronorites up to En<sub>16</sub> in the most fractionated olivine gabbronorites (Figure 7). The highly fractionated compositions of olivine and pyroxenes in olivine gabbronorites are consistent with the abundance of apatite (up to 5 vol %) and zircon (up to 1 vol. %), which are interpreted to be cumulus minerals in these rocks. Compositions of plagioclase from leucotroctolite, anorthosites, gabbronorites and olivine gabbronorites also form a continuous trend. An (anorthite) content of plagioclase changes from An<sub>68</sub> to An<sub>34</sub> following the fractionation indicated by the compositions of pyroxenes (Figure 8).

Poor outcropping does not allow a systematic study of cryptic variations in the Rio Crixás Intrusion. Nevertheless, compositional variation of orthopyroxene and olivine from samples in a section throughout the Rio Crixás (Figure 9) suggests the predominance of fractionated mafic cumulates. This section does not show a continuous fractionation trend suggesting the presence of compositional reversals in this EW section.

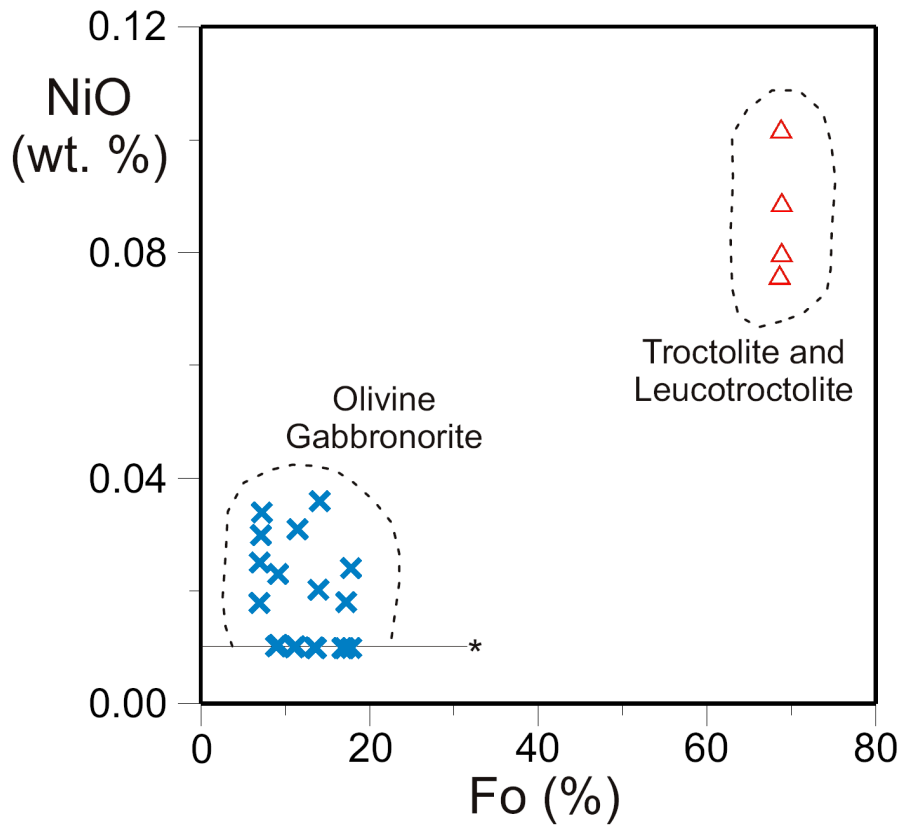


Figure 5. Plot of NiO versus Fo (forsterite) content of olivines from the Rio Crixás Intrusion.  
 \* Detection limit ( 0.01 wt %).

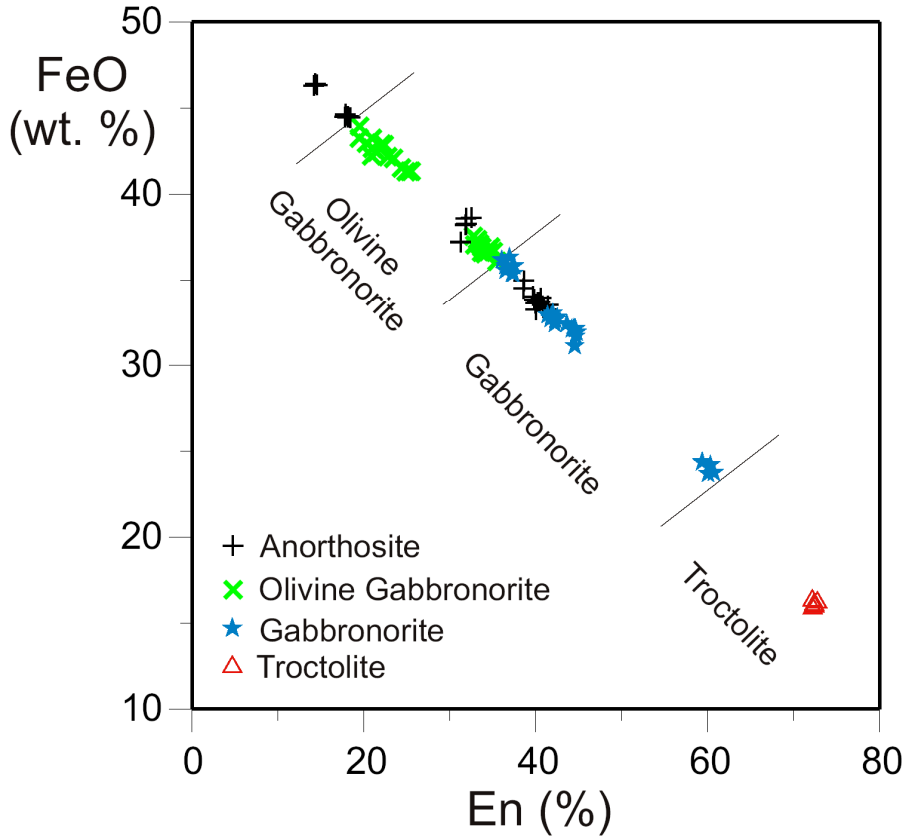


Figure 6. Plot of FeO versus En (enstatite) content of orthopyroxene from the Rio Crixás Intrusion.

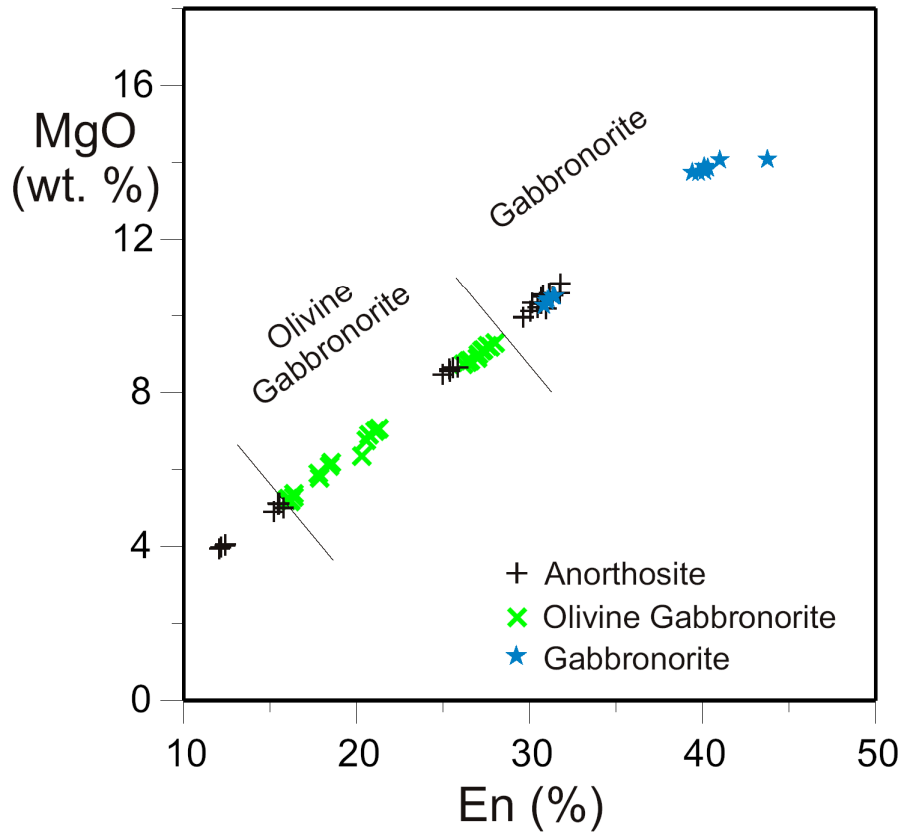


Figure 7. Plot of MgO versus En content of clinopyroxene from the Rio Crixás Intrusion.

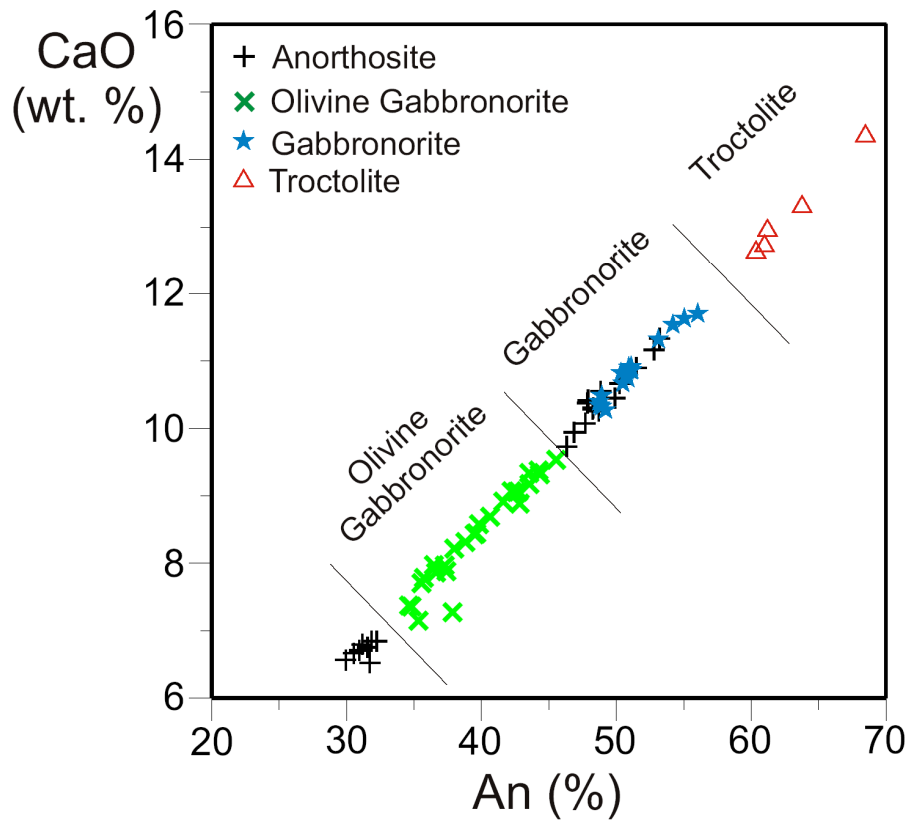


Figure 8. Plot of CaO versus An (anorthite) content of plagioclase from the Rio Crixás Intrusion.



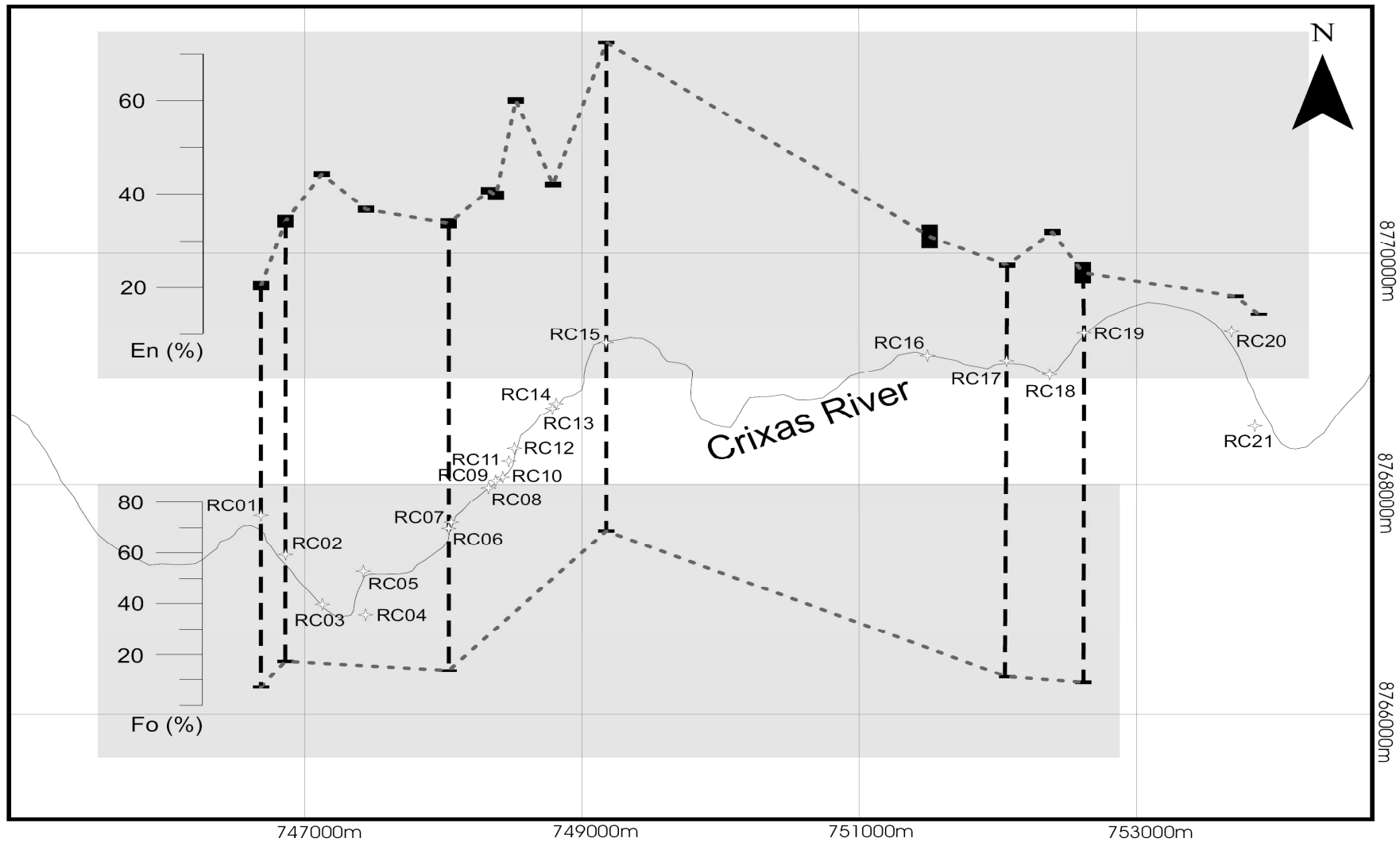


Figure 9. Variation in the En content of orthopyroxene and Fo content of olivine in a section through the Crixás River (UTM Zone 22 – Datum SAD/69).

Table 2. Representative analyses of olivine from Rio Crixás Intrusion.

Sample	RC01	RC01	RC02	RC02	RC06	RC06	RC15	RC15	RC17	RC17	RC19	RC19
Lithology	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	30.35	30.43	31.30	31.48	30.99	31.04	38.02	38.05	30.86	30.57	30.74	30.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0.01	<	<	<	<	<	0.02	0.01	<	<	<
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	0.01	<	<	<	<	<	<	<
MgO	2.91	2.78	7.41	7.47	5.52	5.48	34.26	34.35	4.66	4.63	3.72	3.71
MnO	0.96	0.95	0.74	0.74	0.94	0.90	0.27	0.29	0.89	0.79	1.00	0.95
FeO	65.21	65.34	60.31	60.24	62.42	62.63	27.55	27.42	64.05	63.76	65.01	64.68
NiO	<	0.03	0.02	<	<	<	0.03	0.08	<	<	<	0.02
Total	99.43	99.55	99.78	99.93	99.88	100.04	100.13	100.21	100.48	99.75	100.47	99.40
Si	1.008	1.010	1.004	1.007	1.006	1.006	1.011	1.011	1.004	1.002	1.006	0.997
Al	<	0.001	<	<	<	<	<	0.001	<	<	<	<
Cr	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Mg	0.144	0.138	0.354	0.356	0.267	0.265	1.358	1.360	0.226	0.226	0.181	0.184
Mn	0.027	0.027	0.020	0.020	0.026	0.025	0.006	0.006	0.024	0.022	0.028	0.027
Fe	1.812	1.814	1.617	1.611	1.695	1.698	0.613	0.609	1.742	1.747	1.779	1.795
Ni	<	0.001	0.001	<	<	<	0.001	0.002	<	<	<	0.001
Total	2.991	2.991	2.996	2.994	2.994	2.994	2.989	2.989	2.996	2.997	2.994	3.004
Fo	7.26	6.96	17.78	17.91	13.44	13.33	68.70	68.84	11.35	11.34	9.13	9.15

(1) Ol gabbronorite and (2) troctolite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 4 oxygen ions.

Fo (Forsterite) =  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$  ratio. (<) Below detection limit.

Table 3. Representative analyses of orthopyroxene from Rio Crixás Intrusion.

Sample	RC05	RC09	RC09	RC01	RC02	RC02	RC17	RC08	RC10	RC20	RC13	RC13	RC12	RC03	RC03	RC04	RC15	RC15
Lithology	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5
SiO <sub>2</sub>	51.06	52.55	52.63	48.20	48.97	49.26	48.07	49.88	49.86	47.60	50.31	50.12	52.81	50.38	50.67	49.70	54.11	54.01
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.07	0.05	0.11	0.11	0.16	0.13	0.14	0.18	0.07	0.13	0.15	0.08	0.14	0.14	0.14	0.36	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	0.91	0.82	0.62	1.08	1.03	0.77	0.91	0.96	0.40	0.95	0.96	0.68	0.87	0.78	1.03	2.45	2.47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0.03	<	0.04	<	0.01	<	<	0.03	0.02	0.02	<	<	0.01	0.03	0.01	0.05	0.10
MgO	15.95	20.05	20.19	6.81	10.98	11.03	8.02	13.25	13.56	5.62	14.29	14.10	20.88	15.07	14.96	12.39	25.80	26.06
CaO	0.73	0.53	0.43	0.84	0.96	0.92	0.88	0.90	1.00	0.85	0.82	0.84	0.44	1.40	0.85	0.80	1.10	1.01
MnO	1.02	1.01	0.93	0.84	0.61	0.59	0.69	0.68	0.63	0.70	0.67	0.66	0.59	0.55	0.52	0.60	0.28	0.30
FeO	30.43	24.47	24.66	42.43	37.10	36.90	41.29	33.86	33.69	44.47	32.76	33.01	24.35	31.11	32.09	35.37	16.00	16.10
NiO	<	<	<	0.04	<	0.02	0.04	0.02	<	<	0.04	0.03	<	0.02	<	<	0.01	<
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0.01	<	<	0.03	0.03
K <sub>2</sub> O	<	<	<	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	<	<	<	0.02	0.02	<	<	0.02	0.02	<
Total	99.83	99.61	99.71	99.94	99.82	99.92	99.90	99.65	100.00	99.75	99.98	99.89	99.85	99.84	100.04	100.05	100.20	100.42
Si	1.988	1.988	1.989	1.995	1.973	1.978	1.979	1.979	1.971	1.995	1.977	1.975	1.988	1.972	1.981	1.977	1.951	1.944
Ti	0.002	0.002	0.001	0.003	0.003	0.005	0.004	0.004	0.005	0.002	0.004	0.004	0.002	0.004	0.004	0.004	0.010	0.009
Al	0.026	0.040	0.037	0.030	0.051	0.049	0.037	0.042	0.045	0.020	0.044	0.045	0.030	0.040	0.036	0.048	0.104	0.105
Cr	<	0.001	<	0.001	<	<	<	<	0.001	0.001	0.001	<	<	<	0.001	<	0.001	0.003
Mg	0.926	1.131	1.137	0.420	0.659	0.660	0.492	0.784	0.799	0.351	0.837	0.828	1.171	0.879	0.872	0.734	1.386	1.398
Ca	0.030	0.021	0.018	0.037	0.042	0.039	0.039	0.038	0.042	0.038	0.035	0.035	0.018	0.059	0.035	0.034	0.042	0.039
Mn	0.034	0.032	0.030	0.029	0.021	0.020	0.024	0.023	0.021	0.025	0.022	0.022	0.019	0.018	0.017	0.020	0.009	0.009
Fe <sup>2+</sup>	0.991	0.774	0.779	1.469	1.250	1.239	1.422	1.124	1.114	1.559	1.077	1.088	0.767	1.018	1.049	1.176	0.482	0.485
Ni	<	<	<	0.001	<	0.001	0.001	0.001	<	<	0.001	0.001	<	0.001	<	<	<	<
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0.002	0.002
K	<	<	<	0.001	<	0.001	0.001	0.001	<	<	<	0.001	0.001	<	<	0.001	0.001	<
Total	3.997	3.989	3.991	3.986	3.999	3.992	3.999	3.996	4.001	3.991	3.998	3.999	3.996	3.999	3.995	3.994	3.988	3.994
En	46.74	57.74	57.92	21.47	33.44	33.70	24.89	39.82	40.44	17.79	42.49	41.97	59.33	44.51	44.18	37.36	72.21	72.41

(1) mafic granulite / gabbroonorite, (2) Ol gabbroonorite, (3) anorthosite, (4) gabbroonorite and (5) troctolite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 6 oxygen ions.

En (enstatite) = [100 x Mg/(Mg+Fe)] ratio. (<) Below detection limit.

Table 4. Representative analyses of clinopyroxene from Rio Crixás Intrusion.

Sample	RC05	RC07	RC09	RC14	RC01	RC02	RC06	RC17	RC08	RC08	RC10	RC20	RC13	RC13	RC13	RC16
Lithology	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
SiO <sub>2</sub>	52.18	51.31	52.41	52.50	49.71	49.98	50.26	49.64	50.77	50.81	50.90	48.94	51.11	51.05	50.88	50.62
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.25	0.21	0.20	0.23	0.33	0.21	0.13	0.32	0.17	0.28	0.12	0.19	0.31	0.22	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.15	1.39	1.75	1.58	1.37	1.85	1.65	1.28	1.88	1.63	1.74	0.90	1.71	1.98	1.84	1.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.02	0.02	<	<	<	0.02	<	<	0.04	<	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01
MgO	11.85	10.90	13.42	13.15	5.20	8.89	9.18	6.76	10.31	10.20	10.12	4.90	10.50	10.38	10.51	7.64
CaO	21.66	21.46	22.35	21.94	20.06	20.48	17.97	20.31	21.45	21.34	21.53	21.00	21.91	20.30	21.29	20.21
MnO	0.45	0.34	0.39	0.44	0.44	0.30	0.34	0.33	0.30	0.27	0.27	0.32	0.24	0.27	0.26	0.23
FeO	11.81	12.75	7.41	8.50	22.67	16.33	19.29	20.18	13.76	13.89	14.11	21.40	12.66	14.87	13.30	19.15
NiO	<	<	0.03	0.01	0.03	<	0.01	<	0.01	0.01	0.01	0.05	<	<	0.05	<
Na <sub>2</sub> O	0.32	0.34	0.50	0.53	0.30	0.28	0.27	0.20	0.23	0.26	0.24	0.26	0.35	0.35	0.30	0.20
K <sub>2</sub> O	<	<	0.04	<	0.02	0.01	0.01	<	<	<	<	<	<	0.01	<	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	1.10	1.26	0.90	<	1.41	0.67	0.53	1.12	1.08	1.01	1.66	1.37	0.47	1.42	<
Total	100.14	99.86	99.80	99.73	100.03	99.87	99.87	99.34	100.14	99.71	100.20	99.57	100.06	100.03	100.10	99.59
Si	1.972	1.958	1.957	1.966	1.974	1.938	1.956	1.966	1.941	1.952	1.947	1.960	1.949	1.953	1.943	1.981
Ti	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.010	0.006	0.004	0.009	0.005	0.008	0.004	0.005	0.009	0.006	0.005
Al	0.051	0.062	0.077	0.070	0.064	0.085	0.076	0.060	0.085	0.074	0.078	0.043	0.077	0.089	0.083	0.062
Cr	0.002	0.001	0.001	<	<	<	<	<	<	0.001	<	0.001	0.001	0.001	0.001	<
Mg	0.667	0.620	0.747	0.734	0.308	0.514	0.532	0.399	0.587	0.584	0.577	0.292	0.597	0.592	0.598	0.445
Ca	0.877	0.878	0.894	0.880	0.853	0.851	0.749	0.862	0.879	0.878	0.882	0.901	0.895	0.832	0.871	0.847
Mn	0.014	0.011	0.012	0.014	0.015	0.010	0.011	0.011	0.010	0.009	0.009	0.011	0.008	0.009	0.008	0.008
Fe <sup>2+</sup>	0.373	0.407	0.231	0.266	0.753	0.530	0.628	0.668	0.440	0.446	0.451	0.717	0.404	0.476	0.425	0.627
Ni	<	<	0.001	<	0.001	<	<	<	<	<	<	0.002	<	<	0.001	<
Na	0.023	0.025	0.037	0.038	0.023	0.021	0.020	0.015	0.017	0.019	0.018	0.020	0.026	0.026	0.023	0.015
K	<	<	0.002	<	0.001	0.001	<	<	<	<	<	<	<	0.001	<	<
Fe <sup>3+</sup>	0.013	0.032	0.035	0.025	<	0.041	0.020	0.016	0.032	0.031	0.029	0.050	0.039	0.013	0.041	<
Total	3.999	4.001	4.000	3.999	3.999	4.001	3.998	4.001	4.000	3.999	3.999	4.001	4.001	4.001	4.000	3.990
En	34.55	32.36	39.64	38.75	15.95	26.98	27.72	20.56	30.66	30.47	30.06	15.22	31.36	31.02	31.44	23.12

(1) mafic granulite / gabbro-norite, (2) Ol gabbro-norite, (3) anorthosite and (4) gabbro-norite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 6 oxygen ions.

En (enstatite) = [100 x Mg/(Mg+Fe)] ratio. (<) Below detection limit.

Table 5. Representative analyses of plagioclase from Rio Crixás Intrusion.

Sample	RC14	RC09	RC02	RC06	RC17	RC10	RC08	RC13	RC03	RC04	RC15	RC15
Lithology	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5
Na <sub>2</sub> O	7.93	7.21	6.25	7.53	6.05	6.09	5.58	5.65	3.25	5.73	4.50	4.42
K <sub>2</sub> O	0.41	0.40	0.48	0.31	0.38	0.27	0.33	0.33	0.17	0.42	0.16	0.14
SiO <sub>2</sub>	59.95	58.10	57.32	59.14	56.86	55.45	55.78	55.81	50.76	55.71	52.92	52.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.81	26.00	26.84	25.43	27.53	27.49	27.55	27.76	31.84	27.54	30.05	30.32
FeO	0.12	0.06	0.12	0.09	0.12	0.17	0.14	0.17	0.09	0.17	0.11	0.09
CaO	6.78	8.30	9.18	7.78	9.54	10.42	10.45	10.28	14.04	10.35	12.67	12.76
BaO	0.08	0.07	0.12	<	0.15	<	<	<	0.04	0.03	<	0.04
Total	100.17	100.23	100.39	100.32	100.63	99.89	100.01	100.11	100.18	99.95	100.44	100.63
Na	0.686	0.626	0.543	0.652	0.525	0.534	0.488	0.493	0.286	0.502	0.394	0.386
K	0.023	0.023	0.028	0.017	0.022	0.015	0.019	0.019	0.010	0.024	0.009	0.008
Si	2.677	2.605	2.569	2.641	2.543	2.508	2.517	2.514	2.305	2.515	2.390	2.383
Al	1.306	1.374	1.418	1.338	1.451	1.465	1.465	1.474	1.704	1.466	1.600	1.611
Fe	0.005	0.002	0.005	0.003	0.005	0.007	0.005	0.006	0.003	0.006	0.004	0.004
Ca	0.325	0.399	0.441	0.372	0.457	0.505	0.505	0.496	0.683	0.501	0.613	0.617
Ba	0.001	0.001	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
Total	5.025	5.033	5.008	5.024	5.006	5.034	5.004	5.005	4.992	5.015	5.011	5.010
An	31.37	38.06	43.56	35.73	45.54	47.91	49.89	49.22	69.76	48.75	60.39	61.00

(1) mafic granulite / gabbro, (2) Ol gabbro, (3) anorthite, (4) gabbro and (5) troctolite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 8 oxygen ions.

An (anorthite) =  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})]$  ratio. (<) Below detection limit.

### 4.3 U-Pb and Sm-Nd systematics

Zircon crystals from two samples (RC09 and RC17) of the Rio Crixás Intrusion were dated by U-Pb systematics (Table 6; Figure 10A and 10B). Sample RC17 is a medium-grained olivine gabbro with primary igneous texture and mineralogy (Figure 3C). This olivine gabbro has olivine with highly fayalitic composition (Fo<sub>11</sub>) and abundant apatite and zircon. All these minerals are interpreted to be cumulus phases of a highly fractionated mafic cumulate. Zircon crystals from RC17 are colorless to light yellowish prismatic crystals, and four zircon fractions yielded a concordia age of  $526 \pm 5.6$  Ma (Figure 10A). This Late Cambrian age is interpreted to be the crystallization age of the Rio Crixás Intrusion. Sample RC09 consists of a fine-grained granoblastic aggregate of plagioclase, Cpx, Opx, amphibole and biotite, with accessory apatite and zircon. This sample is interpreted to be a mafic granulite resulting from metamorphic recrystallization of a highly fractionated gabbro. Zircon crystals from RC09 are similar to those from RC17 excepting for slightly rounded crystal edges and smaller sizes. Four zircon fractions from RC09 yielded a concordia age of  $533.1 \pm 4.2$  Ma (Figure 10B). This age is identical, within analytical error, to the  $526 \pm 5.6$  Ma age of sample RC17, suggesting that zircon crystals from sample RC09 are relict magmatic crystals within a highly recrystallized gabbro.

Sm-Nd isotopic analyses were determined for five samples and three mineral concentrates of the Rio Crixás Intrusion (Table 7, Figure 10C). The samples selected are different types of mafic cumulates with well preserved igneous textures and mineralogy, including one leucotroctolite (sample RC15), two gabbros (samples RC13 and RC16), one anorthosite (sample RC08) and one olivine gabbro (RC17). Apatite, plagioclase and pyroxene concentrates were obtained from sample RC17. Sm-Nd isotopic analysis of the RC17 sample yields a strongly negative  $\epsilon_{\text{Nd}(530 \text{ Ma})}$  (-12) and a 2161 Ma model age (Table 7). A whole-rock-plagioclase-apatite isochron for sample RC17 indicates an age of  $874 \pm 89$  Ma (Table 7, Figure 10C). This age is older than the ca 530 Ma crystallization age yielded by U-Pb zircon dating, suggesting that Sm-Nd isotopic composition of sample RC17 was affected by contamination with older crustal rocks. Nd isotopic compositions for samples RC08, RC13 and RC15 (Table 7) yield highly negative  $\epsilon_{\text{Nd}(530 \text{ Ma})}$  (between -7 and -12) and variable model ages (1687 to 2161 Ma), also suggesting contamination with older crustal rocks.

U-Pb and Sm-Nd results are consistent with the crystallization of cumulate rocks from the RCI at ca 530 Ma from a magma highly contaminated with old crustal rocks.

### 4.4 Deformation and metamorphic recrystallization

Even though most outcrops of Group 1 layered intrusions have primary magmatic

textures and mineralogy, ductile deformation and associated metamorphic recrystallization are locally observed in these intrusions. This recrystallization is restricted to discrete shear zone, being pervasive only in the border zone of the Morro da Mata intrusion. Into these zones the primary igneous rocks are partially to completely transformed. Distinct metamorphic assemblages result from this process for each layered intrusion. Metamorphic assemblages vary from granulite facies (Opx + Cpx + Hbl + Pl) in the Rio Crixás Intrusion, amphibolite facies in the Morro da Mata Intrusion (Hbl + Pl + Ep + Ttn) and greenschist facies in the Carreira Comprida Intrusion (Act + Ep + Ttn + Chl). These recrystallizations are not considered to be part of a regional tectonic-metamorphic event. They may represent localized tectonism occurring after igneous crystallization but possibly before the final cooling of these mafic intrusions. Deformation and recrystallization of coronitic assemblages in the Morro da Mata Intrusion indicates that metamorphism post date sub-solidus processes occurring during cooling of this intrusion. This is also indicated by recrystallization of large inverted pigeonite crystals with abundant exsolution lamellae into fine-grained cpx and opx assemblages in the Rio Crixás Intrusion.

Table 6. Zircon U-Pb isotopic data – Rio Crixás Intrusion.

Sample / Fraction	Size (mg)	U (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Radiogenic Ratios						Ages (Ma)			
						<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	%	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	%	C.Cof. (rho)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	%	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb
<b>Granulite / gabbronorite</b>															
RC09-1	0.021	49.917	5.3074	51.82	453.7992	0.688529	2.210	0.086126	2.050	0.937755	0.0579815	0.768	532.58	531.92	529.06
RC09-2 *	0.016	215.560	20.7930	68.01	359.5965	0.764116	2.540	0.093618	2.280	0.913416	0.0591970	1.030	* 576.90	* 576.38	* 574.35
RC09-3 *	0.025	210.550	23.4070	43.53	526.7155	0.818215	1.620	0.099658	1.420	0.889240	0.0595464	0.743	* 612.40	* 607.05	* 587.13
RC09-4	0.036	98.045	9.7067	30.23	1038.403	0.690818	0.788	0.086809	0.689	0.889470	0.0577161	0.360	536.64	533.29	519.00
RC09-5	0.030	144.070	14.5400	36.27	1141.148	0.690097	0.665	0.086529	0.540	0.831800	0.0578424	0.369	534.98	532.86	523.80
RC09-6	0.010	189.110	19.5210	108.80	672.6259	0.676696	1.400	0.085060	1.160	0.850980	0.0571949	0.736	530.69	524.76	499.06
<b>Olivine gabbronorite</b>															
RC17-1 *	0.034	63.706	6.3832	32.01	190.3879	0.580138	7.490	0.8358780	4.330	0.641710	0.0503370	5.770	* 517.50	* 464.55	* 210.58
RC17-2	0.022	49.028	5.6824	49.46	158.5755	0.682172	4.130	0.0866954	3.760	0.918649	0.0570685	1.630	535.96	528.09	494.18
RC17-3	0.024	47.737	5.7870	45.34	166.9521	0.662989	4.080	0.0858268	3.580	0.896270	0.0560250	1.810	530.81	516.44	453.36
RC17-4	0.026	41.938	4.8024	41.85	171.9692	0.680999	4.110	0.0864434	3.760	0.923040	0.0571364	1.580	534.47	527.38	496.80
RC17-5	0.024	127.68	12.8170	45.34	450.7342	0.679716	1.660	0.0859194	1.440	0.885200	0.0573766	0.773	531.36	526.60	506.04

\* Zircon fraction not used for age calculation.

Table 7. Sm-Nd isotopic data.

Sample	Rock / Mineral concentrate	Sm (ppm)	Nd (ppm)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	ε <sub>(t)</sub>	ε <sub>(530 Ma)</sub>	T <sub>DM</sub> (Ma)
<b>Rio Crixás Intrusion</b>								
RC08	Anorthosite	0.511	3.676	0.0841	0.511656	-20.29	-11.55	1687
RC13	Gabbronorite	17.289	91.030	0.1148	0.511813	-16.09	-10.57	1881
RC15	Leucotroctolite	0.159	0.793	0.1211	0.512001	-12.42	-7.32	1701
RC16	Gabbronorite and pyroxenite	7.600	28.960	0.1586	0.511950	-13.41	-10.86	* 3061
RC17	Olivine gabbronorite	13.514	66.110	0.1236	0.511758	-17.17	-12.24	2161
RC17 Pl	Plagioclase / Ol. Gabbronorite	1.050	7.049	0.0901	0.511564	-	-	-
RC17 px	Pyroxene / Ol. Gabbronorite	22.769	124.990	0.1101	0.511704	-	-	-
RC17 apt	Apatite / Ol. Gabbronorite	259.390	1319.000	0.1189	0.511726	-	-	-
<b>VE3 Intrusion</b>								
FVE3-169	Clinopyroxenite	2.124	7.930	0.1619	0.512380	-5.03	** -2.69	* 1929
FVE3-173	Clinopyroxenite	1.170	4.312	0.1640	0.512366	-5.31	** -3.10	* 2056
FVE3-188	Wehrlite	0.711	2.710	0.1585	0.512394	-4.75	** -2.18	* 1770
FVE3-147	Gabbro	1.329	4.646	0.1730	0.512425	-4.15	** -2.56	* 2303
FVE3-147pl	Plagioclase / Gabbro	2.173	9.718	0.1351	0.512322	-	-	-
FVE3-147px	Clinopyroxene / Gabbro	1.007	2.727	0.2232	0.512642	-	-	-

\* T<sub>DM</sub> geologically meaningless due to high <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd (> 0.14).\*\* ε<sub>Nd(530 Ma)</sub> included for comparison with data presented for samples of the RCI.



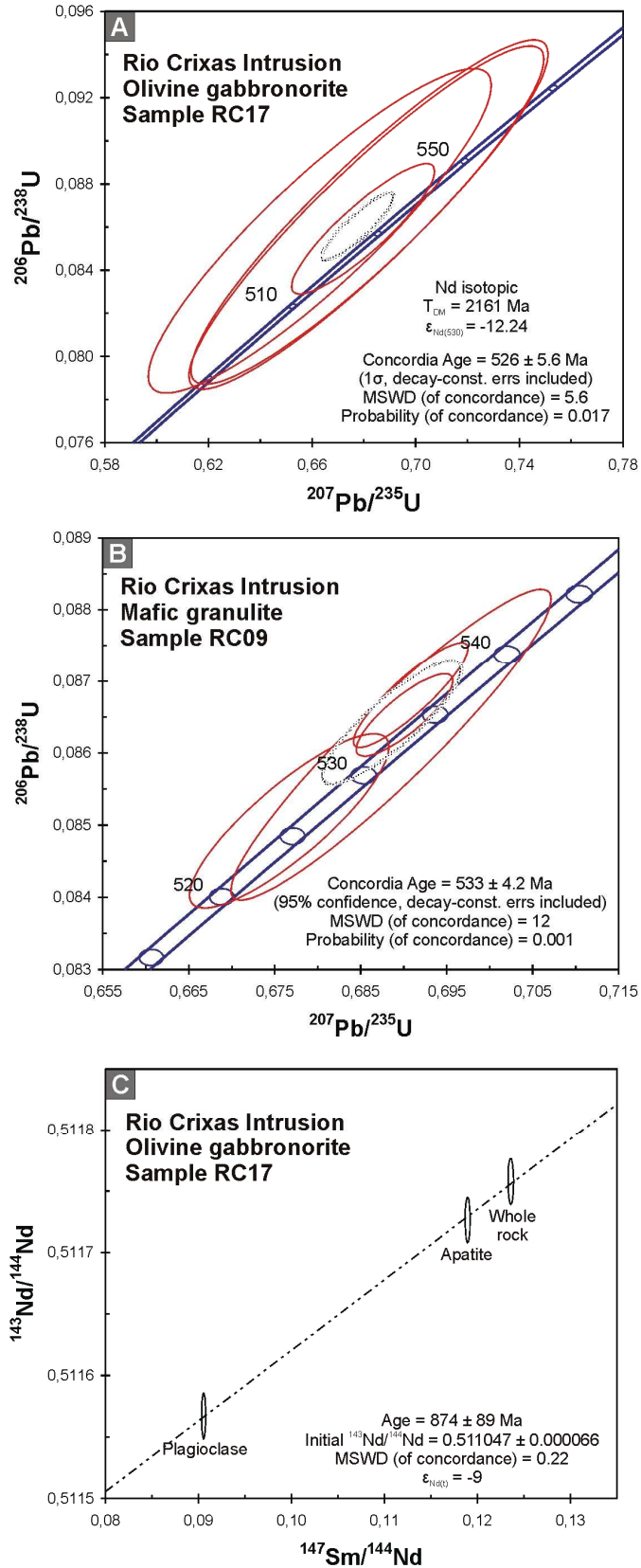


Figure 10. U-Pb concordia diagrams and Sm-Nd isochron; data from Tables 6 and 7: A) U-Pb data for the olivine gabbronorite; B) U-Pb data for the mafic granulite; and C) Sm-Nd data for the olivine gabbronorite, whole-rock and mineral concentrates.

## 5. Group 2 Layered Intrusions

### 5.1 Geology and Petrography

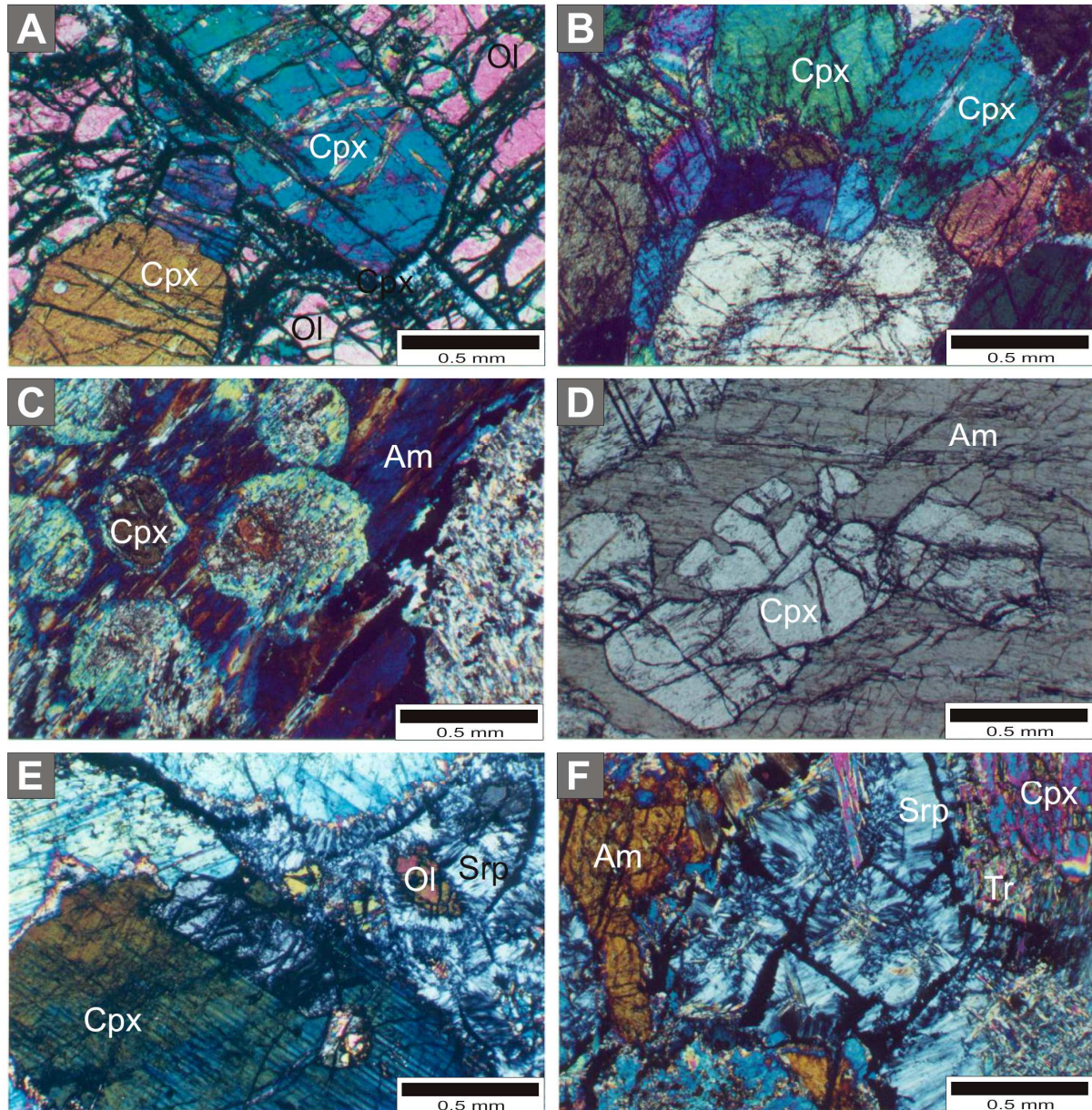
Group 2 includes the layered intrusions located east of the Tocantins River (Figure 2). Based on geological mapping, drilling and airborne geophysics three mafic-ultramafic bodies were delineated. The VE3, Monte do Carmo and São Domingos intrusions (Table 1) are poorly exposed but show strong magnetic anomalies related to abundant serpentinized ultramafic rocks. These rock types occur in outcrops of the Monte do Carmo Intrusion and in drill cores (6 bore holes) of the VE3 Intrusion. In these intrusions ultramafic cumulates, mainly wehrlite and clinopyroxenites, largely predominate over mafic cumulates.

Wehrlites are medium- to coarse-grained olivine and clinopyroxene cumulates with variable amounts of intercumulus amphibole. Textures vary from adcumulate (Figure 11A) to orthocumulate depending on the amount of interstitial amphibole. The latter occurs in highly pleochroic (light green to dark green) interstitial crystals or large oikocrysts enclosing cumulus Cpx and olivine. Cpx is usually partially replaced by interstitial amphibole indicating reaction of cumulus minerals with trapped intercumulus liquid. Chromite is an accessory mineral (< 1 vol. %) in some wehrlites.

Clinopyroxenites are medium-grained Cpx cumulates with variable amounts of intercumulus amphibole and plagioclase. Textures vary from adcumulate (Figure 11B) to orthocumulate (Figure 11C). Interstitial amphibole occurs in large oikocrysts enclosing and partially replacing Cpx (Figure 11D). Gabbros are medium-grained rocks consisting of cumulus Cpx and plagioclase and variable amounts of interstitial amphibole. In the studied drill cores gabbros are significantly less abundant than wehrlites and clinopyroxenites. Strong magnetic anomalies associated with these bodies reinforce the abundance of ultramafic cumulates in Group 2 layered intrusions.

Primary layering is indicated by gradational transitions from wehrlite to clinopyroxenite and gabbro, developing few to several meters-thick cyclic units (Figure 12A and 12B). Each cyclic unit shows the transition from olivine and clinopyroxene cumulate (wehrlite), to clinopyroxene cumulate (clinopyroxenite) and clinopyroxene and plagioclase (gabbro) cumulate. The transition from clinopyroxenite to gabbro is usually marked by an intermediate zone where plagioclase occurs as an interstitial (intercumulus) mineral. Green amphibole is a ubiquitous intercumulus mineral in all rock types. Amphibole usually represents less than 15 vol % of these rock types excepting for few amphibolitites consisting of large (up to 2 cm) oikocrysts of amphiboles enclosing highly replaced olivine and Cpx. In such rocks the amount of amphibole may be up to 60 vol %.

The primary igneous mineralogy of these rocks is variably replaced by hydrous low-temperature minerals. Partially replaced rocks usually preserve the igneous texture while highly replaced rocks have prominent tectonic foliation due to shearing. In partially replaced rocks olivine is usually extensively altered to serpentine and magnetite while Cpx is just partially altered to tremolite (Figure 11E and 11F). Completely replaced ultramafic rocks are tremolite serpentinites consisting of variable proportions of serpentine, tremolite, talc and magnetite, with lesser amounts of chlorite and magnesite. Highly replaced gabbroic rocks have abundant epidote, chlorite, fengite and carbonate.



**Figure 11. Photomicrographs illustrating the lithotypes of the VE3 Intrusion. A) Wehrlite (FVE3-03-179) consisting of cumulus olivine (Ol) and clinopyroxene (Cpx). Adcumulate texture; B) Clinopyroxenites (FVE3-03-108) consisting of cumulus clinopyroxene. Adcumulate texture; C) Amphibole clinopyroxenite (FVE3-03-130) consisting of cumulus Cpx and intercumulus amphibole (Am); D) Amphibole clinopyroxenite (FVE3-03-122) consisting of cumulus Cpx and intercumulus amphibole (Am). Orthocumulate texture with Am oikocryst enclosing Cpx; E) Wehrlite (FVE3-03-188) similar to FVE3-03-179. Olivine is mainly altered to serpentine (Srp) and magnetite while Cpx is just slightly altered to tremolite (Tr); F) Amphibole wehrlite (FVE3-03-143) consisting of cumulus olivine and Cpx with**

intercumulus Am. Orthocumulate texture. Olivine is extensively altered to serpentine and magnetite while Cpx and Am are altered to tremolite. Mineral abbreviations as described by Kretz (1983).

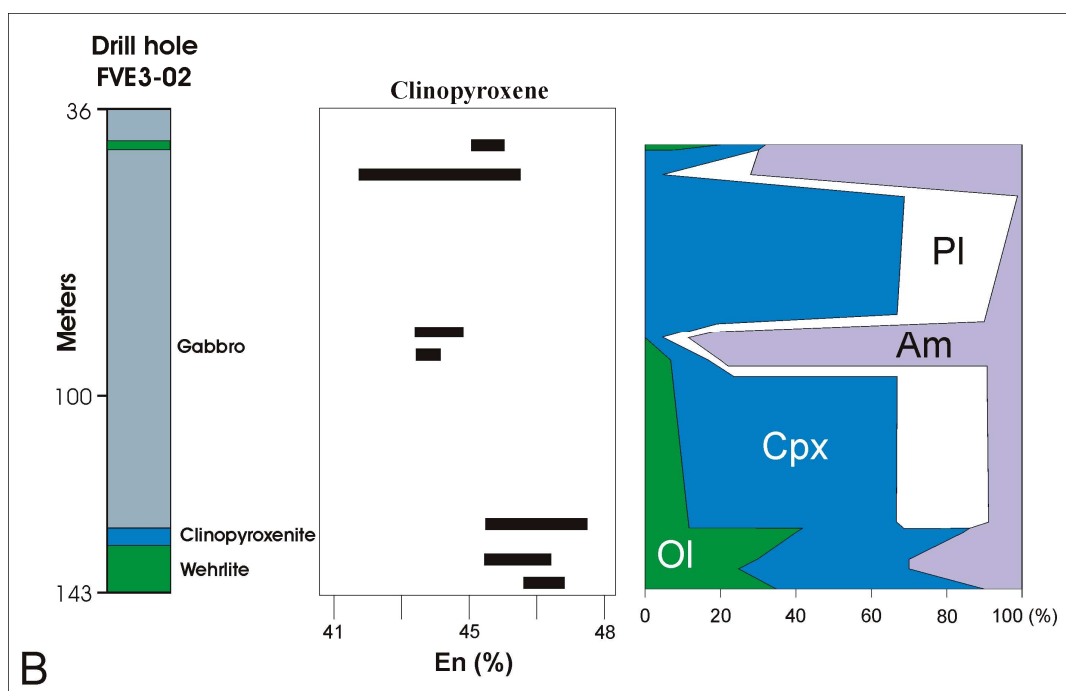
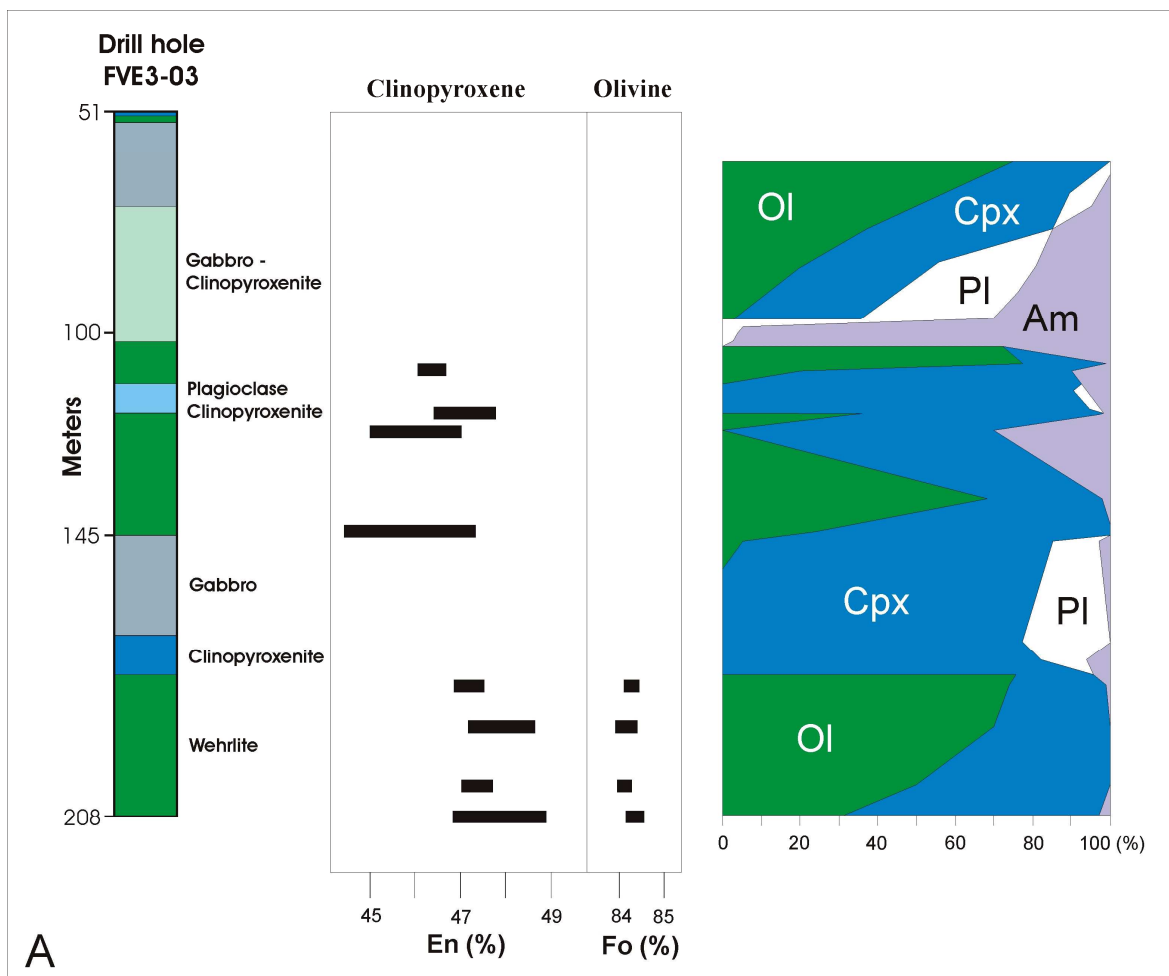


Figure 12. Modal and mineral compositions through stratigraphic sections for drill holes of the VE3 Intrusion. Mineral abbreviations as described by Kretz (1983).

## 5.2 Mineral compositions

Systematic data on mineral compositions are restricted to samples collected from bore holes drilled in the southern part of the VE3 Intrusion. Analyses of cumulus olivine and Cpx were performed on samples from two bore holes (Tables 8 to 10). The composition of olivine crystals from bore hole FVE3-03 are highly homogeneous. Fo contents of olivine vary between 84 and 85 while NiO contents vary between 0.07 and 0.14 wt. %. The composition of clinopyroxene crystals from wehrlites, olivine wehrlites and clinopyroxenites are also highly homogeneous. En contents of Cpx vary between En<sub>49</sub> and En<sub>45</sub> in borehole FVE3-03 and between En<sub>48</sub> and En<sub>42</sub> in borehole FVE3-02. Clinopyroxene crystals from wehrlite samples have higher En content when compared to Cpx crystals from clinopyroxenites. These data indicate moderately primitive compositions and very limited fractionation within the stratigraphic interval drilled in the southern portion of the intrusion.

## 5.3 Sm-Nd systematics

Sm-Nd isotopic analyses were determined for four samples and two mineral concentrates collected from bore hole FVE3-03 (Table 7). The selected samples are different types of ultramafic and mafic cumulates including two clinopyroxenites (samples FVE3-03-173 and FVE3-03-169), one wehrlite (FVE3-03-188) and one gabbro (FVE3-03-147). Plagioclase and clinopyroxene concentrates were obtained from sample FVE3-03-147.

Sample FVE3-03-188 (wehrlite) has adcumulate texture consisting of partially serpentinized olivine (Fo<sub>84</sub>) and clinopyroxene (En<sub>48</sub>) partially replaced by tremolite. The Sm-Nd isotopic composition yield a T<sub>DM</sub> value of ca 1770 Ma, <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd value of 0.1585 and ε<sub>Nd(530)</sub> value of -2.18.

Samples FVE3-03-173 and FVE3-03-169 are partially replaced clinopyroxenites with adcumulate texture. Sm-Nd isotopic compositions show high values for <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd ratios and calculated T<sub>DM</sub> values are not geologically significant. Isotopic compositions also indicate negative ε<sub>Nd(530)</sub> values (-2.69 and -3.10).

Sample FVE3-03-147 is a partially replaced amphibole gabbro. It consists of cumulus Cpx and plagioclase (saussuritized) and intercumulus green amphibole. Plagioclase and Cpx concentrates were separated from this sample. Sm-Nd isotopic composition for the whole-rock, plagioclase and Cpx are scattered and do not define a regression line indicating an acceptable age. The Sm-Nd isotopic composition yield a negative ε<sub>Nd(530)</sub> (-2.56).

Sm-Nd isotopic data for samples from the VE3 intrusion do not produce a crystallization age for Group 2 Layered Intrusions. Highly variable T<sub>DM</sub> ages and negative ε<sub>Nd(530)</sub> values suggest that the parental magma was heterogeneously contaminated with old crustal material.

Table 8. Representative analyses of clinopyroxene from drill hole FVE3-02 – VE3 Intrusion.

Depth	43	43	50	50	85	85	91	91	130	130	138	138	143	143
Lithology	1	1	2	2	3	3	4	4	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	53.48	53.56	50.81	52.04	51.76	51.68	52.50	51.59	52.89	52.84	52.49	53.21	52.79	52.63
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.12	0.46	0.37	0.44	0.50	0.36	0.47	0.30	0.33	0.39	0.23	0.38	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.37	1.26	4.75	3.03	3.14	3.30	2.38	3.56	1.97	2.28	2.40	1.57	2.27	2.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	<	0.02	<	0.01	0.01	0.04	0.02	0.20	0.06	0.14	0.22	0.12	0.08
MgO	15.94	15.82	13.87	15.26	14.94	15.23	14.95	14.76	16.05	16.83	16.37	16.46	16.41	16.31
CaO	22.54	22.82	23.05	22.66	23.46	23.39	24.19	23.34	24.11	22.90	23.29	24.07	23.05	23.12
MnO	0.13	0.12	0.12	0.14	0.10	0.09	0.08	0.11	0.04	0.06	0.05	0.04	0.08	0.06
FeO	4.95	5.06	4.78	4.53	3.66	3.35	3.63	3.86	3.19	2.52	2.47	2.98	3.11	3.13
NiO	<	<	0.01	<	<	<	0.03	<	<	<	0.02	<	<	<
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.33	0.43	0.35	0.39	0.36	0.36	0.42	0.17	0.31	0.33	0.14	0.32	0.30
K <sub>2</sub> O	<	<	<	<	0.02	<	0.02	<	<	0.04	<	<	<	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.52	0.39	1.47	1.50	1.79	1.97	1.23	1.73	0.97	1.79	1.78	0.88	1.07	1.22
Total	99.44	99.48	99.77	99.90	99.70	99.89	99.76	99.85	99.88	99.95	99.74	99.81	99.60	100.04
Si	1.972	1.976	1.879	1.916	1.909	1.900	1.934	1.900	1.939	1.928	1.923	1.949	1.935	1.922
Ti	0.004	0.003	0.013	0.010	0.012	0.014	0.010	0.013	0.008	0.009	0.011	0.006	0.010	0.011
Al	0.059	0.055	0.207	0.131	0.136	0.143	0.103	0.154	0.085	0.098	0.104	0.068	0.098	0.120
Cr	<	<	<	<	<	<	0.001	0.001	0.006	0.002	0.004	0.006	0.003	0.002
Mg	0.876	0.870	0.764	0.838	0.821	0.835	0.821	0.810	0.877	0.916	0.894	0.899	0.897	0.888
Ca	0.890	0.902	0.913	0.894	0.927	0.921	0.955	0.921	0.947	0.895	0.914	0.945	0.905	0.904
Mn	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002
Fe <sup>2+</sup>	0.153	0.156	0.148	0.140	0.113	0.103	0.112	0.119	0.098	0.077	0.076	0.091	0.095	0.096
Ni	<	<	<	<	<	<	0.001	<	<	<	0.001	<	<	<
Na	0.026	0.024	0.031	0.025	0.028	0.026	0.026	0.030	0.012	0.022	0.024	0.010	0.023	0.022
K	<	<	<	<	0.001	<	0.001	<	<	0.002	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	0.014	0.011	0.041	0.041	0.050	0.055	0.034	0.048	0.027	0.049	0.049	0.024	0.029	0.034
Total	3.998	4.001	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	4.002	3.999	3.997	4.001
En	45.56	45.05	41.79	44.66	44.05	44.83	43.44	43.71	45.61	48.46	47.42	46.43	47.20	46.98

(1) wehrlite, (2) gabbro, (3) amphibolitite and (4) Ol Cpx amphibolitite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 6 oxygen ions. Depth is expressed in meters along the drill core.

En (enstatite) = [100 x Mg/(Mg+Fe)] ratio. (<) Below detection limit.

Table 9. Representative analyses of clinopyroxene from drill hole FVE3-03 – VE3 Intrusion.

Depth	108	108	118	118	122	122	144	144	179	179	188	188	201	201	208	208
Lithology	1	1	1	1	2	2	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1
SiO <sub>2</sub>	52.55	52.32	52.65	53.09	52.87	51.94	52.57	51.75	52.49	52.80	53.08	52.85	52.46	52.56	52.46	52.47
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.35	0.28	0.26	0.23	0.34	0.28	0.37	0.37	0.33	0.21	0.20	0.32	0.32	0.27	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.71	2.73	2.59	2.32	2.22	3.32	2.56	3.07	2.96	2.45	1.92	2.11	2.66	2.58	2.60	2.57
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.12	0.22	0.31	0.43	0.72	0.35	0.11	0.22	0.19	0.60	0.42	0.47	0.15	0.28	0.53
MgO	16.04	15.97	16.18	16.39	16.24	15.50	16.32	15.02	16.19	16.45	16.99	16.85	16.23	16.36	16.21	16.24
CaO	23.07	22.96	22.98	22.96	22.91	22.77	22.99	22.58	23.25	23.14	22.89	23.10	23.26	23.16	23.15	23.12
MnO	0.06	0.08	0.04	0.06	0.07	0.09	0.06	0.08	0.05	0.06	0.09	0.05	0.03	0.06	0.06	0.06
FeO	3.31	3.10	3.16	3.36	3.17	3.52	2.89	4.45	2.89	2.97	2.47	2.07	2.75	2.64	2.74	2.68
NiO	<	0.02	<	0.03	<	<	0.01	0.03	<	<	0.02	0.01	0.01	<	0.03	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.34	0.37	0.34	0.35	0.39	0.42	0.35	0.42	0.33	0.29	0.31	0.35	0.32	0.35	0.33	0.36
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.05	<	0.02	0.02	<	<	<	0.03	0.01	<	<	<	0.02	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25	1.59	1.33	0.88	1.42	1.32	1.45	1.90	1.12	1.58	1.30	1.76	1.42	1.68	1.71	1.65
Total	99.86	99.62	99.81	100.01	99.99	99.97	99.82	99.80	99.87	100.29	99.88	99.77	99.93	99.85	99.85	99.99
Si	1.925	1.921	1.928	1.939	1.934	1.905	1.924	1.910	1.919	1.925	1.938	1.931	1.919	1.923	1.921	1.919
Ti	0.009	0.010	0.008	0.007	0.006	0.009	0.008	0.010	0.010	0.009	0.006	0.006	0.009	0.009	0.007	0.008
Al	0.117	0.118	0.112	0.100	0.096	0.144	0.110	0.134	0.128	0.105	0.083	0.091	0.115	0.111	0.112	0.111
Cr	0.005	0.003	0.006	0.009	0.013	0.021	0.010	0.003	0.006	0.005	0.017	0.012	0.013	0.004	0.008	0.015
Mg	0.876	0.874	0.883	0.892	0.886	0.847	0.891	0.826	0.882	0.894	0.924	0.918	0.885	0.892	0.885	0.886
Ca	0.905	0.904	0.902	0.898	0.898	0.895	0.902	0.893	0.911	0.904	0.895	0.904	0.912	0.908	0.909	0.906
Mn	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Fe <sup>2+</sup>	0.101	0.095	0.097	0.103	0.097	0.108	0.088	0.137	0.088	0.091	0.075	0.063	0.084	0.081	0.084	0.082
Ni	<	0.001	<	0.001	<	<	<	0.001	<	<	0.001	<	<	<	0.001	<
Na	0.024	0.027	0.024	0.025	0.028	0.030	0.024	0.030	0.023	0.021	0.022	0.025	0.022	0.024	0.023	0.026
K	0.001	0.001	0.002	<	0.001	0.001	<	<	<	0.001	0.001	<	<	<	0.001	<
Fe <sup>3+</sup>	0.034	0.044	0.037	0.024	0.039	0.037	0.040	0.053	0.031	0.043	0.036	0.048	0.039	0.046	0.047	0.045
Total	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	3.999	4.000	4.000	4.001	3.999	3.999	4.000	4.000	4.000
En	46.48	46.62	46.91	47.08	47.03	45.73	47.31	44.45	46.85	47.29	48.70	48.65	47.03	47.39	47.08	47.22

(1) Ol clinopyroxenite, (2) Am clinopyroxenite and (3) wehrlite.

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 6 oxygen ions. Depth is expressed in meters along the drill core.

En (enstatite) = [100 x Mg/(Mg+Fe)] ratio. (<) Below detection limit.

Table 10. Representative analyses of olivine from VE3 Intrusion.

Drill hole - Depth	03-179	03-179	03-188	03-188	03-201	03-201	03-208	03-208	03-208
SiO <sub>2</sub>	39.94	40.09	40.35	40.39	40.03	40.06	40.19	40.21	40.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0.02	<	<	0.03	0.02	<	<
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0.01	0.02	<	<	<	<	<
MgO	44.67	45.06	45.08	44.97	44.70	45.00	45.07	44.72	44.88
MnO	0.16	0.18	0.19	0.18	0.16	0.16	0.18	0.20	0.18
FeO	14.76	14.59	14.85	15.02	15.05	14.79	14.48	14.80	14.71
NiO	0.13	0.10	0.12	0.13	0.13	0.11	0.09	0.07	0.11
Total	99.65	100.02	100.62	100.70	100.07	100.14	100.02	100.00	99.95
Si	1.005	1.004	1.005	1.006	1.004	1.003	1.005	1.007	1.005
Al	<	<	0.001	<	<	0.001	0.001	<	<
Cr	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Mg	1.675	1.681	1.673	1.669	1.671	1.679	1.680	1.670	1.677
Mn	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004
Fe	0.310	0.305	0.309	0.313	0.316	0.310	0.303	0.310	0.308
Ni	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
Total	2.996	2.996	2.994	2.995	2.997	2.998	2.995	2.992	2.996
Fo	84.22	84.46	84.22	84.06	83.96	84.29	84.57	84.16	84.30

Analytical results are reported in weight % oxides and cations per 4 oxygen ions for olivine. Depth is expressed in meters along the drill core.

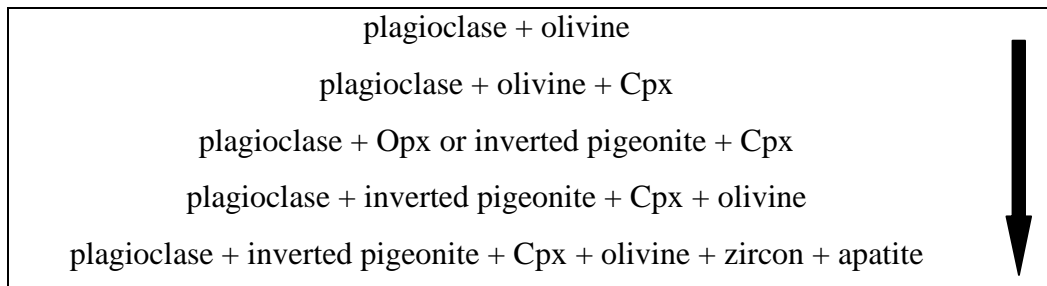
Fo (forsterite) =  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$  ratio. (<) Below detection limit.



## 6. Crystallization trends for Group 1 and Group 2 layered intrusions

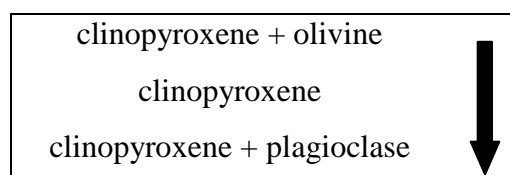
Crystallization trends are deduced from the crystallization succession in the stratigraphic section of a layered intrusion. Distinct trends reflect different compositions of the parental magma and/or physical conditions of crystallization. The crystallization trend thus represents a fundamental characteristic of layered intrusions originated from similar parental magmas on specific tectonic settings.

Group 1 layered intrusions are characterized by abundant cumulus Opx (usually occurring as inverted pigeonite) and a gap in the crystallization of olivine. Even though a complete stratigraphic section throughout the layered intrusion is not available, combined petrographic and mineral chemistry data suggest the following crystallization order for the silicate minerals and apatite:



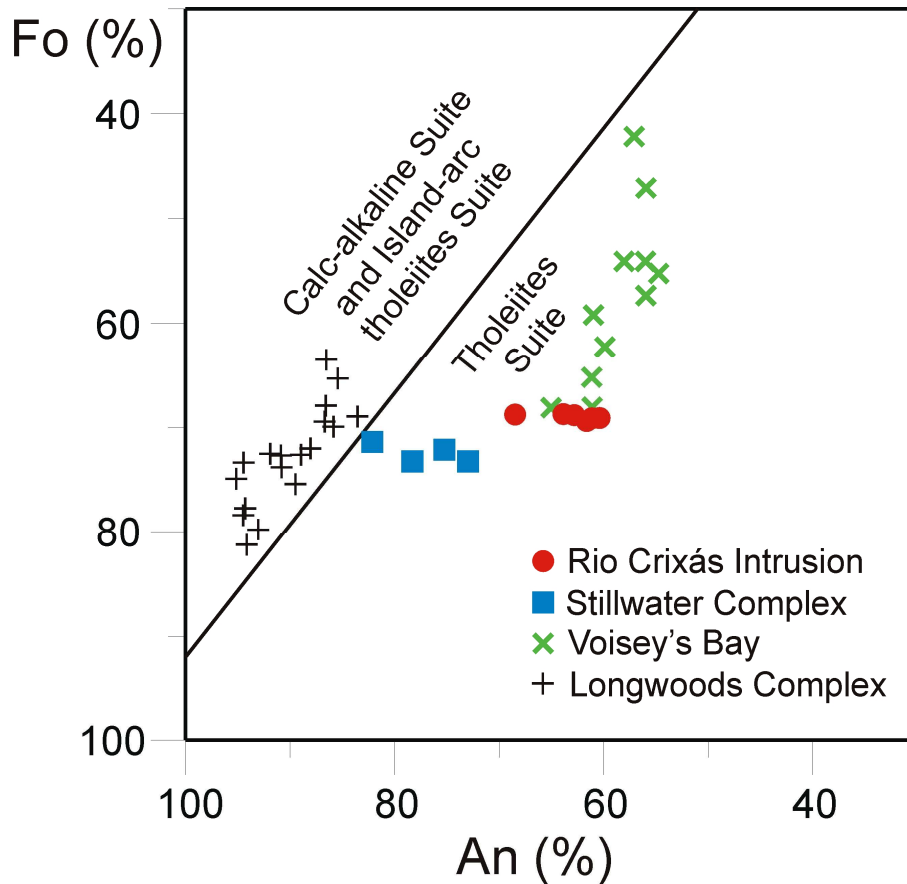
This trend of crystallization is typical for tholeiitic magmas and resembles what is described in the Skaergaard intrusion (McBirney, 1996). The tholeiitic nature of Group 1 layered intrusions is reinforced by the extreme iron enrichment of the most fractionated pyroxenes and olivine. The tholeiitic nature is also suggested by Fo-An relationship of coexisting cumulus olivine and plagioclase in troctolites (Figure 13).

Group 2 layered intrusions are characterized by the abundance of wehrlite (olivine + Cpx cumulate) and the absence of Ca-poor pyroxenes. Cyclic units of the VE3 intrusion show the transition from olivine plus clinopyroxene cumulate (wehrlite), to clinopyroxene cumulate (clinopyroxenite) and to clinopyroxene plus plagioclase cumulate (gabbro). These data suggest the following crystallization order for the silicate minerals:



This trend of crystallization is similar to what is described for Paleoproterozoic gabbro-

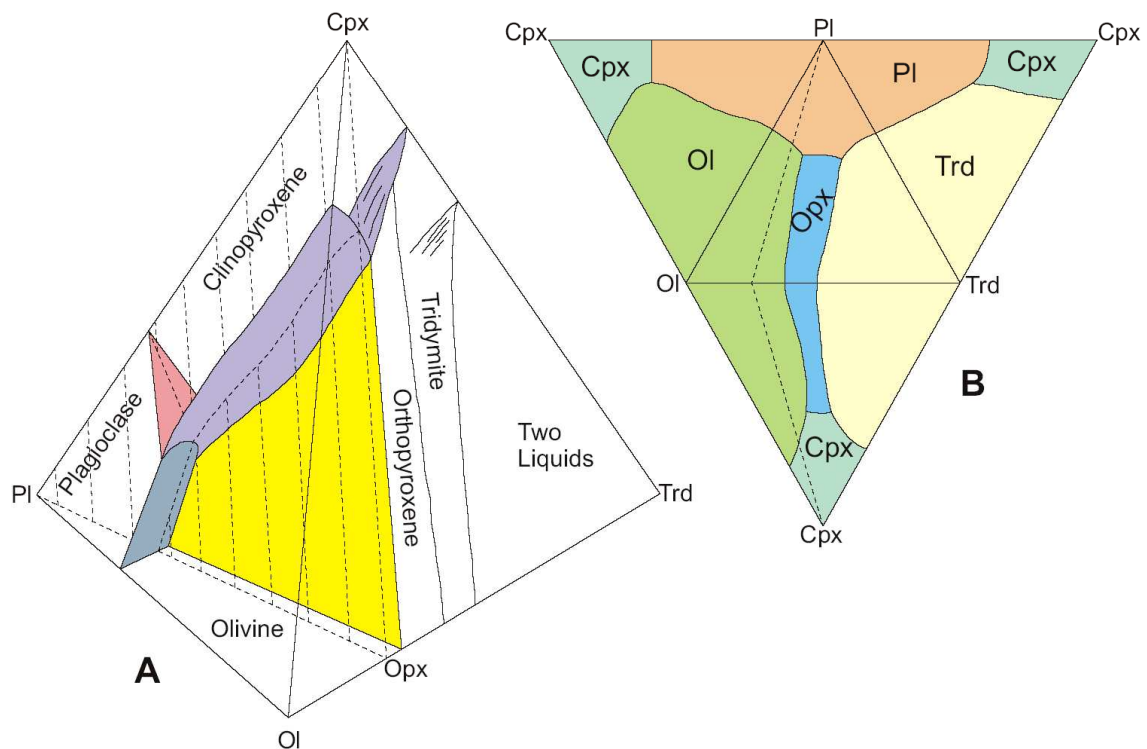
wehrlite intrusions in the Pechenga Ore Field in Russia (Latypov *et al.*, 2001; Naldrett, 2004). The indicated crystallization order implies the disappearance of liquidus olivine from the more fractionated rocks.



**Figure 13.** Plot of Fo content of olivine versus An content of coexisting plagioclase of troctolites from the Rio Crixás Intrusion. Analyses of coexisting plagioclase and olivine of troctolites and olivine gabbros from Voisey's Bay Complex, Stillwater Complex and Longwoods Complex are also represented. Partially modified from Naldrett (2004).

Crystallization trends for Group 1 and Group 2 layered intrusions are distinct thus suggesting that they belong to different magmatic suites. Considering the tetrahedron Ol-Pl-Qtz-Cpx (Figure 14), the significant compositional differences between Group 1 and Group 2 layered intrusions may be represented with the first lying close to the silica saturate plane Opx-Cpx-Pl and the second lying close to the Ol-Cpx-Pl plane. It is worth noticing that the type of parental magma that formed the Group 2 layered intrusions belongs to a more specific Opx-free crystallization sequence. Examples of layered intrusions following an Opx-free crystallization sequence include, besides the intrusions in Pechenga (Naldrett, 1994), the Kiglapait intrusion (Morse, 1979) and layered intrusions of the Duluth Complex (Miller & Ripley, 1996). In contrast, Opx-bearing crystallization sequences such as described for Group 1 layered intrusions are very common. Examples of layered intrusions of this type include, the Skaergaard intrusion (McBirney, 1996), the Bushveld Complex (Cameron, 1978) and the

Lower Series of the Niquelândia Layered Intrusion (Ferreira Filho *et al.*, 1998).



**Figure 14.** A) Simplified version of the tholeiitic part of the basalt tetrahedron. B) The sides of the tetrahedron have been unfolded to highlight phase relations in the Cpx-plagioclase-olivine side and in the Cpx-Opx-plagioclase (dashed line) plane. Modified from Presnall *et al.*, 1979

## 7. Petrological and geochronological constraints for the tectonic setting of the Porto Nacional layered intrusions.

Several groups of large to medium-size layered intrusions occur in the Tocantins Province in central Brazil. The main characteristics of the main groups of mafic and ultramafic layered intrusions in central Brazil (Figure 1), as well as the layered intrusions of Porto Nacional, are provided in Table 11. The available data indicate that these groups have different magmatic ages and comprise distinct parental magmas emplaced on different tectonic settings.

The oldest group of large layered intrusions is the troctolitic-anorthositic portion of the Niquelândia and Barro Alto complexes. This group, known as the Upper Layered Series (Ferreira Filho, 1998; Ferreira Filho *et al.*, 1998), is ca. 1.25 Ga old (Ferreira Filho & Pimentel, 2000, Pimentel *et al.*, 2004) and was formed in a rift setting. These layered intrusions were coeval with volcanic equivalents represented by the ocean-floor volcano-sedimentary sequences of Palmeirópolis, Juscelândia and Indaianópolis (Pimentel *et al.*,

2000).

Continental-type layered intrusions are represented by the dunitic-pyroxenitic-gabbro-noritic portion of the Niquelândia, Barro Alto and Canabrava complexes. This group, known as the Lower Layered Series (Ferreira Filho, 1998, Ferreira Filho *et al.*, 1998), is ca 0.80 Ga old and was emplaced in a continental rift (Ferreira Filho, 1998; Pimentel *et al.*, 2004, 2006). This group of intrusions is known for hosting PGE-Ni and PGE-chromite mineralizations (White *et al.*, 1971; Medeiros & Ferreira Filho, 2001).

Synorogenic layered intrusions include the gabbro-dioritic suite of the Anicuns-Santa Bárbara region and the Americano do Brasil suite (Silva & Nilson, 1990) located in the southern portion of the Goiás State. These are coeval late Neoproterozoic (ca. 620 Ma) intrusions emplaced during the main tectonic-metamorphic episode of the Brasília Belt (Pimentel *et al.*, 2000; Laux *et al.*, 2004). The Americano do Brasil and Mangabal complexes are calc-alkaline synorogenic intrusions hosting small nickel sulfide deposits (Pimentel *et al.*, 2000).

U-Pb zircon results of this study indicate that the Crixás River Intrusion was emplaced during the Cambrian period (ca 530 Ma), thus representing the youngest layered intrusion in the Tocantins Province. This emplacement age and the tholeiitic nature of Group 1 layered intrusions, the latter indicated by the extreme iron enrichment of cumulus mafic silicates, indicate that this magmatic suite has yet no equivalents in the Tocantins Province. The tectonic setting for this group of layered intrusions is poorly constrained due to unknown geochronological relation with hosting country rock and regional metamorphism. Sm-Nd data indicate strongly negative  $\epsilon_{Nd(530)}$  (-12) and a 2161 Ma model age, consistent with crystallization of the layered intrusion at ca 530 Ma from a magma highly contaminated with old crustal rocks. The  $2071 \pm 4$  Ma zircon Pb-Pb age obtained for one anorthosite sample of the Carreira Comprida Intrusion (Gorayeb & Moura, 2001), is now considered to be the age of inherited zircons from assimilated country rocks. Even though these features are consistent with the emplacement of tholeiitic magma in a continental rift environment, alternative tectonic settings such as a continental arc should also be considered.

The age of emplacement of Group 2 Layered Intrusions as well as field relations with host rocks are poorly constrained. Highly variable  $T_{DM}$  ages and negative  $\epsilon_{Nd(530)}$  values suggest that the parental magma was heterogeneously contaminated with old crustal material. Crystallization trends for Group 1 and Group 2 layered intrusions are distinct and indicate that they belong to different magmatic suites.

These two distinctively different groups of layered intrusions are separated by the Transbrasiliano Lineament (TBL), a continental-scale tectonic zone (Schobbenhaus Filho *et*

*al.*, 1975). The TBL in the Porto Nacional area is mainly covered by younger sedimentary cover (Figure 2) and the location indicated in Figure 15 is partially based upon regional structures. In the studied area this lineament controls both the distribution of different types of layered intrusions and granitic rocks of different ages (Figure 15). Neoproterozoic granitic plutons and Group 1 layered intrusions are restricted to the western side of the lineament, whereas Paleoproterozoic granites and Group 2 layered intrusions occur in the eastern side (Figure 15). This suggests that the TBL separates two different crustal segments, thus implying that the two groups of layered intrusions are distinct magmatic suites with different age and tectonic setting.

Table 11. Main layered intrusions of the Tocantins Province.

Layered Intrusion	Age	Rock Type	Tectonic Setting	Ref
<b>Upper Layered Series</b> Niquelândia Barro Alto	1250 Ma	Troctolite, gabbro and anorthosite	Oceanic Rifting	1
<b>Lower Layered Series</b> Niquelândia Barro Alto Canabrava	800 Ma	Dunite, websterite and gabbro	Continental Rifting	1
<b>Anicuns-Santa Bárbara Suite</b>	620 Ma	Gabbro, diorite and anorthosite	Synorogenic	2
<b>Americano do Brasil Suite</b>	620 Ma	Dunite, peridotite, pyroxenite and gabbro	Synorogenic	2
<b>Porto Nacional – Group 1</b>	530 Ma	Leucotroctolite, gabbro, gabbro, gabbro, anorthosite	?	3
<b>Porto Nacional – Group 2</b>	Unknown	Wehrlite, clinopyroxenite and Gabbro	?	

(1) Pimentel *et al.*, 2004; (2) Laux *et al.*, 2004; (3) Lima *et al.*, 2003.

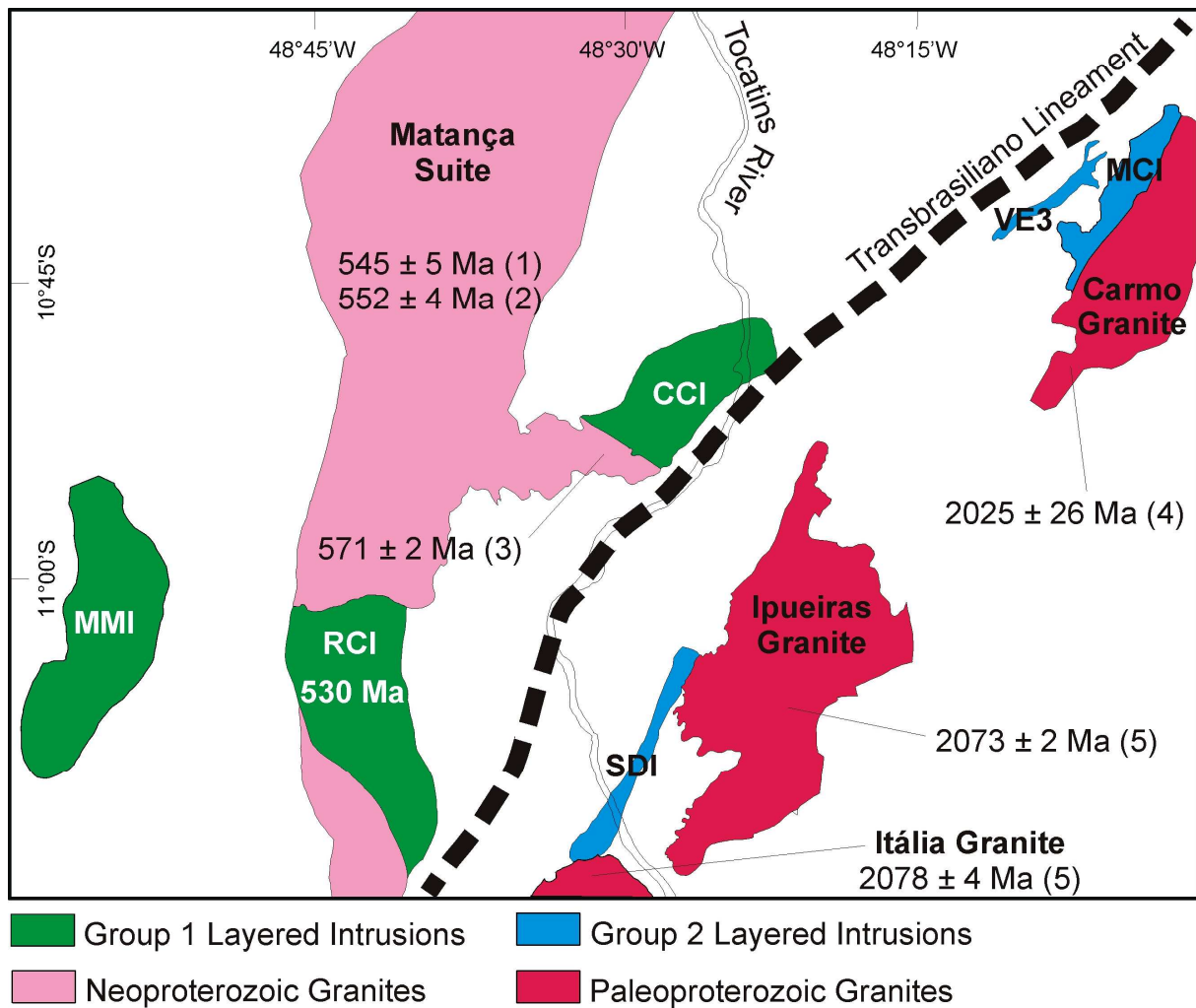


Figure 15. Sketch map of the Porto Nacional region showing the position of the Transbrasiliano Lineament and the distribution of layered intrusions and granites. All ages are Pb-Pb zircon data. (1) Kotschoubey *et al.*, 2000; (2) Gorayeb *et al.*, 2000; (3) Quaresma & Kotschoubey, 2001; (4) Sachett, 1996; (5) Chaves, 2003.

The new geological, petrological and isotopic data presented in this study suggest that the layered intrusions of the Porto Nacional area do not belong to any of the previously studied clusters of layered intrusions of the Tocantins Province. This suggestion implies that the tectonic setting where these layered intrusions formed does not correspond to what has been proposed for layered intrusions described in other parts of the Tocantins Province. These new data demand a revision of previous tectonic models for the region in order to assess the tectonic significance of these large layered intrusions

## 8. Metallogenic Implications

Mafic-ultramafic layered intrusions are known for hosting world-class PGE and nickel-sulfide deposits. The geological setting of known PGE-Ni deposits indicates that most

deposits appear to be related to crustal rifting and contaminated primitive magmas (Naldrett, 2004). The tectonic setting of the two petrologically distinct groups of layered intrusions is poorly constrained. Nevertheless, petrological characteristics of both groups are favorable for hosting PGE-Ni mineralizations. Both magmatic suites were able to crystallize abundant olivine-bearing rocks, represented by troctolites in Group 1 intrusions and wehrlites in Group 2 intrusions. Sm-Nd isotope systematic suggests that both magmas were contaminated with older crustal material, indicating that the mafic magma reacted with crustal host rocks. The latter is a feature frequently associated with the onset of sulfide saturation and segregation as immiscible sulfide liquid, the genetic process common to all nickel sulfide deposits (Naldrett, 2004). The magmatic suites described in this paper are not correlated to any magmatism described in the Tocantins Province and thus open new opportunities for exploration for Ni-PGE deposits in central Brazil.

## **Acknowledgments**

This study was partially supported by the Verena Minerals Corporation. The company provided access to drill cores as well as available geological, geophysical and geochemical exploration data. Walid Daoud and Jad Salomão Neto from Verena Mineral Corporation are acknowledged for introducing HAFL and CFFF to the geology of the Porto Nacional area and for providing the last geological ride in the outcrops of the Tocantins Rapids, just few months before they were flooded by the Lajeado damn. The authors are grateful to the Brazilian Research Council (CNPq) for continuous support to field and laboratory work and for research grants. Jorge Henrique Laux and Simone Gioia are thanked for assistance in the Geochronology Laboratory. The "Serviço Geológico do Brasil - CPRM" of Goiânia is acknowledged for supporting the field work in the Morro da Mata intrusion. Antônio Frasca (CPRM-GO) is thanked for fruitful discussions regarding the geology of central Brazil. This study is a contribution to Project IGCP 479 "Sustainable use of the platinum-group elements in the 21st century: risks and opportunities".

## **References**

Cameron, E.N., 1978. The lower zone of the eastern Bushveld Complex in the Olifants river trough. *Journal of Petrology* 19, 437-462.

Chaves, C.L., 2003. Caracterização geológica, petrográfica, geoquímica e geocronológica do magmatismo granítico da região de Porto Nacional-TO. Unpublished M.Sc. thesis. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 150p (in Portuguese with abstract in English).

Costa, L.A.M. da; Portela, A.C.P.; Nilson, A.A.; Vale, C.R.O.; Marchetto, C.M.L.; Santos, E.L. dos; Meneguesso, G.; Inda, H.A.V.; Stein, J.H.; Marchetto, M.; Batista, M.B.; Fratin, O.; Mossmann, R.; Oliveira, T.F. de; Silva, W.G. da. 1975. Projeto Leste do Tocantins-Oeste do Rio São Francisco (LETOS). In: DNPM/CPRM/PROSPEC. Rio de Janeiro, Petrópolis, (Relatório Final Integrado) 12 vols (in Portuguese).

Dardenne, M.A., 2000. The Brasilia Fold Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America. 31<sup>st</sup> International Geological Congress. Rio de Janeiro, pp. 231-263.

DePaolo, D.J., 1981. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *Journal of Geophysical Research* 86, 10470-10488.

Delgado, I.M., Souza, J.D., Silva, L.C., Silveira Filho, N.C., Santos, R.A., Pedreira, A.J., Guimarães, J.T., Angelim, L.A.A., Vasconcelos, A.M., Gomes, I.P., Lacerda Filho, J.V., Valente, C.R., Perrotta, M.M., Heineck, C.A., 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L.A., Schobbenhaus Filho, C., Viddoti, R.M., Gonçalves, J.H. (Eds.), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, pp. 227-334 (in Portuguese).

Ferreira Filho, C.F., 1998. Geology and petrology of de large layered intrusions of central Brazil, implications for PGE mineralization. VIII Platinum Symposium. Extended Abstracts. Rustenburg, South Africa, pp. 107-110.

Ferreira Filho, C.F., Lima, H.A.F., Dantas, E.L., Daoud, W.E.K., Salomão Neto, J., 2002. The layered mafic-ultramafic complexes of the Tocantins State, central Brazil: recently discovered large Proterozoic intrusions with favourable potential to host PGE deposits.. In: IX International Platinum Symposium. Extended Abstracts. Billings, Montana, pp. 141-143.

Ferreira Filho, C.F., Naldrett, A.J., Gorton, M.P., 1998. REE and pyroxene compositional variation across the Niquelândia Layered intrusion, Brazil: Petrological and metallogenetic implications. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy* 107 (B), 1-22.

Ferreira Filho, C.F., Pimentel, M.M., 2000. Sm-Nd isotope systematics and REE data for



leucotroctolites and their amphibolitized equivalents of the Niquelândia Complex upper layered series, central Brazil: further constraints for the timing of magmatism and high-grade metamorphism. *Journal of South American Earth Sciences* 13. 647-659.

Frasca, A.A.S, Araújo, V.A., 2001. Projeto Hidrogeologia no Tocantins – Folha Palmas – SD.22-Z-B. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Goiânia, 52p (in Portuguese).

Frasca, A.A.S, Lima, H.A.F., 2005. Levantamentos Geológicos Básicos – Folha Gurupi – 1:250.000. Caracterização Petrográfica e Litoquímica do Plutonismo Tonalítico-Granodiorítico Neoproterozóico da Suíte Aliança, Faixas Brasília-Araguaia. In: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, SBG. Goiânia, pp. 33-35 (in Portuguese).

Fuck, R.A., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Junges, S.L., Moraes, R., 2001. Nd isotopes, U-Pb single grain and SHRIMP zircon ages from basement rocks of the Tocantins Province. In: III South American Symposium on Isotope Geology. Proceedings, Extended Abstract (CD ROM). Santiago, pp. 141-144.

Gioia, S.M.C.L., Pimentel, M.M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *Anais Academia Brasileira de Ciências* 72, 219-245.

Gorayeb P.S.S., Moura C.A.V., Arcanjo S.H.S, 2000. Granitogenesis events in the Porto Nacional - Palmas - Paraíso do Tocantins region, Tocantins Province, Brasil. In: 31<sup>st</sup> International Geological Congress. Abstract, CD-ROM. Rio de Janeiro.

Gorayeb, P.S.S., 1996. Petrologia e Evolução Crustal das Rochas de Alto Grau de Porto Nacional – TO. Unpublished Ph.D. thesis, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 262p (in Portuguese with abstract in English).

Gorayeb, P.S.S., Moura, C.A.V., 2001. Aspectos geológicos e geocronológicos do anortosito Carreira Comprida, região de Porto Nacional, TO. In: 7<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia. Resumos Expandidos (CD-ROM). Belém (in Portuguese).

Kotschoubey, B., Hieronymus, B., Albuquerque, C.A.R., 2005. Disrupted peridotites and basalts from the Neoproterozoic Araguaia Belt (Northern Brazil): remnants of a poorly evolved oceanic crust. *Journal of South American Earth Sciences* 20, 211-230.

Kotschoubey, B., Lafon, J.M., Sachett, C.R., Damasceno, F.F., 2000. Timing of the Proterozoic magmatism and shear-zone related gold mineralizations from Porto Nacional Region (state of Tocantins, Brazil). In: 31<sup>st</sup> International Geological Congress. Abstract, CD-ROM. Rio de

Janeiro.

Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68, 277-279.

Krogh, T.E., 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochim Cosmochim Acta* 37, 485-494.

Latypov, R.M., Smolkin, V.F., Alapieti, T.T., 2001. Differentiation trend and parental melt composition of Ni-bearing gabbro-wehrlite Pechenga intrusions. *Kola Peninsula. Petrology* 9, 329-344.

Laux, J.H., Pimentel, M.M., Dantas, E.L., Armstrong, R., Armele, A., 2004. Mafic magmatism associated with the Goiás Magmatic Arc in the Anicuns-Itaberaí region, Goiás, Brazil: Sm-Nd isotopes and new ID-TIMS and SHRIMP U-Pb data. *Journal of South American Earth Sciences* 16, 599-614.

Lima, H.A.F., Ferreira Filho, C.F., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., 2003. Geocronologia das Intrusões Acamadadas Máficas-Ultramáficas de Porto Nacional, Tocantins: Evidências de Magmatismo Básico Cambriano (0,53 Ga) com Metamorfismo de Alto Grau Superimposto. In: 8° Simpósio de Geologia da Amazônia. Resumos Expandidos (CD-ROM). Manaus (in Portuguese).

Lima, H.A.F., Frasca, A.A.S., 2005. Geologia da Intrusão Máfica Morro da Mata, Crixás, Tocantins, Brasil, In: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, SBG. Goiânia, pp. 45-47 (in Portuguese).

Ludwig, K.R., 1993. PBDAT, a computer program for processing Pb-U-Th isotope data. *USGS Open File Report* 88, 34p.

Ludwig, K.R., 2001. Users Manual for Isoplot/Ex version 2.47. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication* 1a, 55p.

McBirney, A.R., 1996. The Skaergaard Intrusion. In: R.G Cawthorn (ed.), *Layered Intrusions, Developments in Petrology*, 15, Elsevier, pp. 147-180.

Medeiros, E.S., Ferreira Filho, C.F., 2001. Caracterização geológica e estratigráfica das mineralizações de platina e paládio associadas à Zona máfica Superior do Complexo de Niquelândia, GO. *Revista Brasileira de Geociências* 31, 29-36 (in Portuguese with abstract in English)

Miller, J.D., Ripley, E.M., 1996. Layered intrusions of the Duluth Complex, Minnesota, USA. In: R.G Cawthorn (ed.), Layered Intrusions, Developments in Petrology, 15, Elsevier, pp. 257-301.

Morse, S.A., 1979. Kiglapait geochemistry II: Petrography. *Journal of Petrology* 20, 591-624.

Naldrett, A.J., 2004. Magmatic Sulfide Deposits: Geology, Geochemistry and Exploration. Springer-Verlag, Berlin, 727 pp.

Pimentel, M.M., Ferreira Filho, C.F., Armele, A., 2006. Neoproterozoic age of the Niquelândia Complex: further ID-TIMS U-Pb and Sm-Nd isotopic evidence. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 228-238.

Pimentel, M.M., Ferreira Filho, C.F., Armstrong, R.A., 2004. SHRIMP U-Pb and Sm-Nd ages of the Niquelândia Layered Complex: Meso- (1.25 Ga) and Neoproterozoic (0.79 Ga) extensional events in central Brazil. *Precambrian Research* 132, 133-153.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira Filho, C.F., Araújo, S.M., 2000. The Basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America. 31<sup>st</sup> International Geological Congress. Rio de Janeiro, pp. 195-229.

Pimentel, M.M., Heaman, L., Fuck, R.A., Marini, O.J., 1991. U-Pb zircon geochronology of Precambrian tin-bearing continental-type acid magmatism in central Brazil. *Precambrian Research* 52, 321-335.

Presnall, D.C., Dixon, J.R., O'Donnell, T.H., Dixon, S.A., 1979. Generation of mid-ocean ridge tholeiites. *Journal of Petrology* 20, 3-35.

Quaresma, E.C., Kotschoubey, B., 2001. Granito Aroeira, Região de Porto Nacional, TO: testemunho de granitogênese Brasileira. In: 7<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia. Resumos Expandidos (CD-ROM). Belém (in Portuguese).

Sachett, C.R., 1996. Geologia, geoquímica isotópica e aspectos metalogenéticos das rochas ígneas e mineralizações auríferas associadas – região de Monte do Carmo – TO. Unpublished M.Sc. thesis. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 92p (in Portuguese with abstract in English).

Schobbenhaus Filho, C., Ribeiro C.L., Oliva L.A., Takanohashi J.T., Lindenmayer Z.G., Vasconcelos J.B., Orlandi V., 1975. Folha Goiás (SD. 22). In: Schobbenhaus, C., (Ed.), Carta

Geológica do Brasil ao Milionésimo. DNPM, Brasília, pp.15-84, pp. 99-113 (in Portuguese).

Silva, F.O., Nilson, A.A., 1990. Caracterização do Complexo Gabro-Anortosítico Acamadado de Santa Bárbara, Goiás. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. Natal, v. 4, p.1898 (in Portuguese).

Souza, J.O., Moreton, L.C., 1995. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Xambioá, Folha SB.22-Z-B. MME/DNPM/CPRM. Brasília, 84p (in Portuguese).

White, R.W., Motta, J., De Araújo, V.A., 1971. Platiniferous chromitite in the Tocantins Complex, Niquelândia, Goiás, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper 750, 26-33.

## CONCLUSÕES

Um sumário das principais conclusões obtidas no presente estudo é apresentado a seguir.

1) As intrusões acamadadas máfica-ultramáficas estudadas na região central do Estado de Tocantins constituem dois grupos com características geológicas e petrológicas marcadamente distintas;

2) O Grupo 1 reúne as intrusões Carreira Comprida, Rio Crixás e Morro da Mata localizadas a leste do rio Tocantins. Os litotipos principais são troctolito, gabronorito, olivina gabronorito e anortosito, representando diferentes tipos de cumulados máficos.

3) As composições de olivina (Ol), plagioclásio (Pl), ortopiroxênio (Opx) e clinopiroxênio (Cpx) das rochas do Grupo 1 são consistentes com um *trend* contínuo de fracionamento desde termos moderadamente primitivos (troctolito - Fo<sub>68</sub>, En<sub>72</sub>, An<sub>70-60</sub>), passando por termos intermediários (gabronorito - En<sub>60-38</sub>, An<sub>57-49</sub>), até composições altamente fracionadas (olivina gabronorito - Fo<sub>18-07</sub>, En<sub>35-20</sub>, An<sub>45-35</sub>). Nos termos mais fracionados ocorrem apatita e zircão como minerais cúmulus;

4) Cristais de zircão da Intrusão Rio Crixás analisados pelo método U-Pb indicaram idade Cambriana (530 Ma) que foi interpretada como a idade de cristalização magmática do corpo, o que o estabelece como a intrusão acamadada mais jovem da Província Tocantins;

5) Análise Sm-Nd de separados minerais e rocha total de um olivina gabronorito da Intrusão Rio Crixás (530 Ma) resultou idade isocrônica de 874±89 Ma com  $\epsilon_{Nd(T)}$  de -9. Outras análises apresentaram idades modelo variáveis entre 1687 e 2161 Ma e  $\epsilon_{Nd(530)}$  entre -7 e -12. Esses dados são consistentes com a cristalização de rocha cumulática em 530 Ma a partir de magma fortemente contaminado por rochas crustais mais antigas.

6) Estudos sistemáticos de petrografia e química mineral indicaram para o Grupo 1 a seguinte seqüência de cristalização  $Pl + Ol \rightarrow Pl + Ol + Cpx \rightarrow Pl + Opx$  ou pigeonita invertida +  $Cpx \rightarrow Pl + pigeonita invertida + Cpx + Ol \rightarrow Pl + pigeonita invertida + Cpx + Ol + Zrn + Ap$ ;

7) O Grupo 2, constituído pelas intrusões VE3, Monte do Carmo e São Domingos, é caracterizado pela abundância de rochas ultramáficas com texturas de ad- a ortocumuláticas e pela ausência de ortopiroxênio. Os litotipos principais são wehrlito, clinopiroxenito, e gabro, representando diferentes tipos de cumulados ultramáficos e máficos;

8) Dados de química mineral de olivina (Fo<sub>85-84</sub>) e clinopiroxênio (En<sub>49-42</sub>) da Intrusão VE3 mostraram composições homogêneas, indicativas de um fracionamento restrito no intervalo estratigráfico amostrado;

9) Análise Sm-Nd de rochas e concentrados minerais da Intrusão VE3 não produziram um alinhamento isocrônico que permitisse definir a idade de cristalização. Contudo, retornaram valores de  $\epsilon_{Nd(0)}$  negativos entre -4,15 e -5,31. Uma amostra de wehrlito com  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  de 0,1585 apresentou idade modelo de 1,77 Ga. Os valores negativos de  $\epsilon_{Nd}$  e as idades  $T_{DM}$  altamente variáveis sugerem que o magma parental foi heterogeneamente contaminado com material crustal mais antigo;

10) A descrição dos testemunhos de sondagem da Intrusão VE3, associada à petrografia e química mineral, indicam para o Grupo 2 a seguinte seqüência de cristalização:  $\text{Cpx} + \text{Ol} \rightarrow \text{Cpx} \rightarrow \text{Cpx} + \text{Pl}$ ;

11) A diferença entre as seqüências de cristalização dos Grupos 1 e 2 sugerem que eles pertençam a suítes magmáticas distintas. A seqüência de cristalização das intrusões acamadadas do Grupo 1 é típica de magmas toleíticos, semelhante ao da Intrusão Skaergaard na Groelândia, enquanto a seqüência do Grupo 2 é mais rara, livre de ortopiroxênio, e semelhante ao das intrusões de Pechenga na Rússia;

12) Quando considerados à luz das intrusões acamadadas máfica-ultramáficas já estudadas na Província Tocantins, os dados dos Grupos 1 e 2 indicam que elas são resultantes de magmatismo com origem em diferentes magmas parentais e com idades distintas. Em síntese, elas não pertencem a nenhum dos grupos de intrusões acamadadas previamente conhecidos na Província Tocantins;

13) Os dados levantados para o Grupo 1 sugerem origem a partir de uma colocação de magma toleítico em um ambiente de rifte continental ou de arco continental;

14) A capacidade de ambos os grupos em cristalizar rochas ricas em olivina e a indicação de que os magmas básicos foram contaminados por material crustal mais antigo, sugerem que os mesmos são favoráveis para hospedar mineralizações de EGP-Ni.

15) As intrusões acamadadas de Tocantins devem ser considerados como alvos para a prospecção de depósitos de Ni-PGE.

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

Localização das amostras estudadas



## Localização das amostras estudadas.

Amostra	E	N
<b>Intrusão Acamadada Rio Crixás</b>		
RC01	746693	8767728
RC02	746870	8767390
RC03	747132	8766955
RC04	747446	8766864
RC05	747428	8767240
RC06	748045	8767612
RC07	748071	8767669
RC08	748333	8767963
RC09	748433	8768062
RC10	748384	8768028
RC11	748477	8768196
RC12	748525	8768309
RC13	748795	8768649
RC14	748820	8768693
RC15	749176	8769236
RC16	751505	8769111
RC17	752061	8769055
RC18	752386	8768949
RC19	752605	8769315
RC20	753701	8769320
RC21	753868	8768503
<b>Intrusão Acamadada Carreira Comprida</b>		
CC07	781697	8803328
CC08A	784578	8805944
CC08B	784578	8805944

Sistema UTM. Zona 22. Datum SAD/69.

Amostra	E	N
<b>Intrusão Acamadada VE3</b>		
FURO FVE3-01	810000	8815232
FURO FVE3-08	810200	8815333
FURO FVE3-10	810225	8815525
FURO FVE3-09	810250	8815275
FURO FVE3-05	810350	8815710
FURO FVE3-03	810432	8815522
FURO FVE3-02	810440	8815585
<b>Intrusão Acamadada Monte do Carmo</b>		
MC05	815536	8813189
MC04A	815584	8813170
MC04B	815584	8813170
MC03A	815631	8813162
MC03B	815631	8813162
<b>Intrusão Acamadada Morro da Mata</b>		
MM01A	727183	8772582
MM01B	727183	8772582
MM01C	727183	8772582
MM01D	727183	8772582
MM02	722264	8781411
MM03A	725582	8778739
MM03B	725582	8778739
MM03C	725582	8778739
MM04	722554	8777215
MM05	726612	8773719
MM06	720992	8772582

## **ANEXO 2**

Tabela 1 – Análises químicas de olivina da Intrusão Rio Crixás

Tabela 2 – Análises químicas de Opx da Intrusão Rio Crixás

Tabela 3 – Análises químicas de Cpx da Intrusão Rio Crixás

Tabela 4 – Análises químicas de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás

Tabela 5 – Análises químicas de anfíbólio da Intrusão Rio Crixás

Tabela 6 – Análises químicas de olivina da Intrusão VE3

Tabela 7 – Análises químicas de Cpx da Intrusão VE3

Tabela 8 – Análises químicas de anfíbólio da Intrusão VE3

Tabela 1 - Composição química e fórmula estrutural de olivina da Intrusão Rio Crixás.

Amostra	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06	RC15
Litologia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
SiO <sub>2</sub>	30,58	30,35	29,90	30,43	30,04	30,62	31,21	31,30	31,48	31,30	31,30	31,28	30,99	31,10	31,12	31,12	31,04	38,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	0,01	0,02	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	<	<	0,02	<	<	<	<	<	0,01	0,03	0,03	0,02	<	<
MgO	3,01	2,91	2,72	2,78	2,86	2,83	7,41	7,41	7,47	7,01	7,12	7,13	5,52	5,63	5,84	5,79	5,48	34,26
MnO	0,93	0,96	0,93	0,95	0,96	0,92	0,73	0,74	0,74	0,76	0,72	0,78	0,94	0,95	0,86	0,93	0,90	0,27
FeO	64,62	65,21	65,00	65,34	64,80	64,75	60,40	60,31	60,24	61,22	60,52	60,32	62,42	62,04	62,89	62,46	62,63	27,55
NiO	<	<	0,02	0,03	0,03	0,03	<	0,02	<	<	<	0,02	<	<	0,02	0,04	<	0,03
Total	99,14	99,43	98,57	99,55	98,69	99,15	99,76	99,78	99,93	100,30	99,66	99,53	99,88	99,74	100,76	100,35	100,04	100,13
Normalizado a 4 oxigênios																		
Si	1,015	1,008	1,005	1,010	1,006	1,017	1,002	1,004	1,007	1,002	1,006	1,007	1,006	1,009	1,001	1,004	1,006	1,011
Al	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Mg	0,149	0,144	0,136	0,138	0,143	0,140	0,354	0,354	0,356	0,335	0,341	0,342	0,267	0,272	0,280	0,279	0,265	1,358
Mn	0,026	0,027	0,027	0,027	0,027	0,026	0,020	0,020	0,020	0,021	0,019	0,021	0,026	0,026	0,024	0,025	0,025	0,006
Fe	1,794	1,812	1,827	1,814	1,815	1,799	1,621	1,617	1,611	1,639	1,626	1,623	1,695	1,683	1,692	1,686	1,698	0,613
Ni	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Total	2,984	2,991	2,995	2,991	2,993	2,983	2,997	2,996	2,994	2,997	2,992	2,993	2,994	2,991	2,999	2,996	2,994	2,989
Fo	7,57	7,26	6,85	6,96	7,19	7,13	17,76	17,78	17,91	16,78	17,17	17,22	13,44	13,74	14,04	14,00	13,33	68,70

(1) Ol. gabronorito e (2) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. Fo (forsterita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 1 - Composição química e fórmula estrutural de olivina da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC15	RC15	RC15	RC15	RC17	RC17	RC17	RC17	RC17	RC19	RC19	RC19	RC19	RC19
Litologia	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	38,02	38,22	38,05	38,05	30,77	30,86	30,89	30,57	30,73	30,88	30,74	30,91	30,63	30,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0,02	0,02	<	0,01	<	<	0,02	<	<	<	<	<
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,03	<
MgO	34,54	34,49	34,14	34,35	4,52	4,66	4,69	4,63	4,66	3,71	3,72	3,65	3,63	3,71
MnO	0,29	0,27	0,31	0,29	0,84	0,89	0,85	0,79	0,82	1,00	1,00	1,03	1,04	0,95
FeO	27,66	27,52	27,52	27,42	64,06	64,05	64,42	63,76	64,00	65,39	65,01	65,17	65,11	64,68
NiO	0,10	0,09	0,08	0,08	<	<	<	<	0,03	<	<	<	<	0,02
Total	100,61	100,60	100,12	100,21	100,19	100,48	100,85	99,75	100,26	100,99	100,47	100,76	100,44	99,40
Normalizado a 4 oxigênios														
Si	1,007	1,011	1,012	1,011	1,004	1,004	1,002	1,002	1,002	1,006	1,006	1,008	1,004	0,997
Al	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	1,364	1,360	1,354	1,360	0,220	0,226	0,227	0,226	0,227	0,180	0,181	0,177	0,177	0,184
Mn	0,006	0,006	0,007	0,006	0,023	0,024	0,023	0,022	0,023	0,028	0,028	0,028	0,029	0,027
Fe	0,613	0,609	0,612	0,609	1,748	1,742	1,747	1,747	1,745	1,781	1,779	1,778	1,785	1,795
Ni	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Total	2,992	2,988	2,988	2,989	2,995	2,996	2,999	2,997	2,999	2,995	2,994	2,991	2,996	3,004
Fo	68,78	68,87	68,61	68,84	11,05	11,35	11,34	11,34	11,36	9,07	9,13	8,94	8,90	9,15

(1) Ol. gabronorito e (2) troctolito. Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. Fo (forsterita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás.

Amostra	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC03	RC03	RC03	RC03	RC03	RC03
Litologia	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
SiO <sub>2</sub>	47,66	47,81	48,20	48,01	47,24	47,60	49,20	48,97	49,26	49,66	49,66	48,93	50,38	50,74	50,67	51,44	50,97	51,18
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,11	0,11	0,23	0,11	0,11	0,12	0,11	0,16	0,09	0,12	0,11	0,14	0,12	0,14	0,09	0,12	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,72	0,62	0,57	0,67	0,59	1,07	1,08	1,03	0,99	1,04	1,01	0,87	0,74	0,78	0,76	0,79	0,74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,02	0,04	<	<	<	<	<	0,01	<	<	<	0,01	0,01	0,03	0,01	0,06	0,03
MgO	6,54	6,21	6,81	6,37	6,12	6,63	10,92	10,98	11,03	11,70	11,65	10,72	15,07	15,25	14,96	15,18	15,11	15,27
CaO	0,89	0,83	0,84	0,76	0,92	0,89	0,91	0,96	0,92	0,93	0,93	1,05	1,40	0,87	0,85	0,75	0,82	1,19
MnO	0,79	0,75	0,84	0,75	0,75	0,74	0,63	0,61	0,59	0,66	0,63	0,62	0,55	0,57	0,52	0,53	0,48	0,55
FeO	42,21	43,93	42,43	42,95	43,24	42,65	37,35	37,10	36,90	36,09	36,66	37,04	31,11	31,89	32,09	32,10	32,13	31,68
NiO	0,03	<	0,04	0,01	0,04	0,01	<	<	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	<	0,01	0,03	0,04
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,01	<	<	<	0,01	<
K <sub>2</sub> O	<	<	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	<	<	0,01	<	<	<	0,01	<	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,28	0,44	<	<	<	<
Total	98,79	100,38	99,94	99,67	99,11	99,23	100,20	99,82	99,92	100,13	100,71	99,53	99,84	100,64	100,04	100,88	100,51	100,80
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,998	1,984	1,995	1,997	1,985	1,990	1,975	1,973	1,978	1,981	1,974	1,978	1,972	1,973	1,981	1,990	1,982	1,982
Ti	0,003	0,003	0,003	0,007	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,003
Al	0,028	0,035	0,030	0,028	0,033	0,029	0,051	0,051	0,049	0,047	0,049	0,048	0,040	0,034	0,036	0,035	0,036	0,034
Cr	<	0,001	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<	0,002	0,001
Mg	0,409	0,384	0,420	0,395	0,383	0,413	0,653	0,659	0,660	0,696	0,690	0,646	0,879	0,884	0,872	0,875	0,876	0,881
Ca	0,040	0,037	0,037	0,034	0,041	0,040	0,039	0,042	0,039	0,040	0,040	0,046	0,059	0,036	0,035	0,031	0,034	0,049
Mn	0,028	0,026	0,029	0,026	0,027	0,026	0,021	0,021	0,020	0,022	0,021	0,021	0,018	0,019	0,017	0,017	0,016	0,018
Fe <sup>2+</sup>	1,479	1,525	1,469	1,494	1,520	1,491	1,253	1,250	1,239	1,204	1,219	1,252	1,018	1,037	1,049	1,038	1,045	1,026
Ni	0,001	<	0,001	<	0,001	<	<	<	0,001	<	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	0,001	0,001
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<
K	<	<	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,008	0,013	<	<	<	<
Total	3,986	3,995	3,986	3,982	3,994	3,993	3,996	3,999	3,992	3,993	3,998	3,996	3,999	4,000	3,995	3,988	3,996	3,995
Wo	2,05	1,86	1,91	1,73	2,10	2,03	1,98	2,11	2,01	2,03	2,02	2,32	2,98	1,83	1,79	1,59	1,73	2,51
En	20,89	19,48	21,47	20,27	19,45	20,97	33,21	33,44	33,70	35,47	35,04	32,88	44,51	44,74	44,18	44,60	44,43	44,63
Fs	77,06	78,66	76,61	78,00	78,45	77,00	64,81	64,45	64,29	62,50	62,95	64,80	52,50	53,44	54,03	53,81	53,84	52,87

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC03	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC05	RC05	RC05	RC05	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06
Litologia	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
SiO <sub>2</sub>	50,44	49,70	49,90	49,59	49,75	50,10	49,43	50,16	51,19	51,45	51,44	51,06	49,43	49,45	48,95	48,59	49,46	49,28	
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13	0,10	0,08	0,10	0,15	0,13	0,10	0,08	0,10	0,04	0,09	0,11	0,11	0,09	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	1,03	1,08	1,04	0,97	0,93	1,00	0,92	0,74	0,74	0,58	0,56	0,98	0,88	0,92	0,89	0,88	0,84	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	<	<	0,02	<	<	0,02	<	<	<	0,01	0,01	<	<	
MgO	14,77	12,39	12,36	11,98	12,19	12,53	12,09	12,43	15,88	15,99	16,11	15,95	11,30	11,52	10,76	10,99	11,18	11,10	
CaO	0,89	0,80	0,92	0,84	1,34	0,63	0,85	0,71	0,95	0,93	0,77	0,73	0,81	0,77	0,86	0,99	0,92	0,81	
MnO	0,51	0,60	0,60	0,66	0,57	0,64	0,66	0,59	1,09	1,03	1,03	1,02	0,70	0,70	0,76	0,68	0,69	0,71	
FeO	32,40	35,37	35,37	36,17	35,55	35,82	35,84	36,33	30,04	30,17	30,52	30,43	36,76	36,92	37,54	36,62	36,61	36,54	
NiO	0,02	<	0,04	<	<	<	0,04	<	0,01	0,02	0,04	<	0,01	0,01	0,02	0,03	<	0,01	
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
K <sub>2</sub> O	0,01	0,02	<	<	<	0,01	<	0,01	0,01	0,01	<	<	<	0,01	<	0,01	0,01	<	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	<	<	<	<	<	0,12	<	<	<	<	<	<	0,43	0,34	0,11	<	<	
Total	100,28	100,05	100,43	100,45	100,53	100,75	100,12	101,26	100,06	100,46	100,60	99,83	100,09	100,72	100,24	99,02	99,84	99,39	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,974	1,977	1,977	1,973	1,973	1,980	1,972	1,976	1,986	1,987	1,987	1,988	1,980	1,972	1,970	1,974	1,985	1,987	
Ti	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	
Al	0,035	0,048	0,050	0,049	0,045	0,043	0,047	0,043	0,034	0,034	0,026	0,026	0,046	0,041	0,044	0,043	0,042	0,040	
Cr	<	<	0,001	0,001	<	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	
Mg	0,861	0,734	0,730	0,710	0,721	0,738	0,719	0,730	0,918	0,921	0,927	0,926	0,674	0,684	0,646	0,665	0,669	0,668	
Ca	0,037	0,034	0,039	0,036	0,057	0,027	0,036	0,030	0,039	0,038	0,032	0,030	0,035	0,033	0,037	0,043	0,039	0,035	
Mn	0,017	0,020	0,020	0,022	0,019	0,021	0,022	0,020	0,036	0,034	0,034	0,034	0,024	0,023	0,026	0,023	0,023	0,024	
Fe <sup>2+</sup>	1,060	1,176	1,172	1,203	1,179	1,184	1,196	1,197	0,975	0,974	0,986	0,991	1,231	1,231	1,264	1,244	1,229	1,232	
Ni	0,001	<	0,001	<	<	<	0,001	<	<	0,001	0,001	<	<	<	<	0,001	<	<	
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
K	<	0,001	<	<	<	<	<	0,001	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	
Fe <sup>3+</sup>	0,011	<	<	<	<	<	0,004	<	<	<	<	<	<	0,013	0,010	0,003	<	<	
Total	3,999	3,994	3,994	3,998	3,998	3,996	3,999	4,001	3,992	3,994	3,997	3,997	3,993	3,998	4,000	3,999	3,990	3,989	
Wo	1,89	1,74	1,99	1,82	2,88	1,35	1,84	1,51	2,00	1,95	1,61	1,53	1,76	1,67	1,88	2,19	2,01	1,78	
En	43,60	37,36	37,22	36,02	36,47	37,46	36,44	36,93	46,66	46,80	46,86	46,74	34,34	34,71	32,73	33,67	34,12	34,07	
Fs	54,52	60,90	60,79	62,16	60,64	61,19	61,72	61,56	51,34	51,25	51,54	51,73	63,90	63,62	65,39	64,15	63,87	64,15	

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão [100 x Mg/(Mg+Fe)]. (&lt;) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC06	RC07	RC07	RC07	RC07	RC07	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC09	RC09	RC09	RC09	RC09	RC09
Litologia	2	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	49,27	50,51	50,90	50,61	50,67	49,95	49,85	49,88	50,40	49,44	50,09	49,75	52,41	52,55	52,36	52,63	52,45	52,56	
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,08	0,13	0,07	0,10	0,11	0,12	0,14	0,13	0,13	0,17	0,15	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84	0,70	0,72	0,57	0,73	0,74	0,94	0,91	0,99	0,99	1,13	0,99	0,87	0,91	0,92	0,82	0,92	0,94	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	<	0,01	0,02	0,01	<	0,04	<	<	<	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	<	<	0,06
MgO	11,34	14,48	14,79	14,77	14,51	14,50	13,27	13,25	13,96	13,70	13,13	13,59	20,01	20,05	20,17	20,19	20,13	20,54	
CaO	0,87	0,83	0,82	0,75	0,83	0,90	0,96	0,90	0,81	0,73	1,03	0,86	0,56	0,53	0,60	0,43	0,54	0,53	
MnO	0,73	0,97	0,95	1,00	0,98	0,87	0,70	0,68	0,64	0,65	0,58	0,59	1,02	1,01	0,95	0,93	0,98	0,90	
FeO	36,65	32,45	32,14	32,28	32,23	31,95	33,61	33,86	33,49	33,22	33,22	33,35	24,59	24,47	24,50	24,66	25,11	24,69	
NiO	0,01	0,01	<	<	<	0,01	0,02	0,02	<	<	<	0,05	<	<	<	<	0,01	0,01	
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
K <sub>2</sub> O	<	0,01	<	<	<	<	<	0,02	<	<	<	<	0,01	<	<	<	0,01	0,01	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	0,15	<	0,74	<	<	<	0,64	<	<	<	<	<	<	<	0,21	
Total	99,83	100,05	100,46	100,23	100,05	99,77	99,51	99,65	100,42	99,52	99,38	99,36	99,57	99,61	99,60	99,71	100,20	100,50	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,980	1,983	1,985	1,982	1,986	1,968	1,979	1,979	1,977	1,963	1,985	1,975	1,986	1,988	1,982	1,989	1,979	1,974	
Ti	0,003	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	
Al	0,040	0,032	0,033	0,026	0,034	0,034	0,044	0,042	0,046	0,046	0,053	0,046	0,039	0,040	0,041	0,037	0,041	0,042	
Cr	0,001	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<	<	<	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	0,002	
Mg	0,679	0,847	0,859	0,862	0,848	0,852	0,785	0,784	0,816	0,811	0,775	0,804	1,130	1,131	1,138	1,137	1,132	1,149	
Ca	0,038	0,035	0,034	0,031	0,035	0,038	0,041	0,038	0,034	0,031	0,044	0,037	0,023	0,021	0,024	0,018	0,022	0,021	
Mn	0,025	0,032	0,031	0,033	0,032	0,029	0,024	0,023	0,021	0,022	0,020	0,020	0,033	0,032	0,030	0,030	0,031	0,029	
Fe <sup>2+</sup>	1,232	1,065	1,048	1,057	1,056	1,053	1,116	1,124	1,099	1,103	1,101	1,108	0,779	0,774	0,776	0,779	0,792	0,775	
Ni	<	<	<	<	<	<	0,001	0,001	<	<	<	0,002	<	<	<	<	<	<	
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
K	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	0,001	<	<	<	0,001	<	
Fe <sup>3+</sup>	<	<	<	0,004	<	0,022	<	<	<	0,019	<	<	<	<	<	<	<	0,006	
Total	3,998	3,996	3,994	3,998	3,994	3,999	3,995	3,996	3,997	3,999	3,983	3,997	3,994	3,989	3,994	3,991	4,000	4,000	
Wo	1,91	1,77	1,73	1,58	1,76	1,92	2,08	1,95	1,72	1,59	2,26	1,86	1,16	1,09	1,24	0,89	1,10	1,08	
En	34,43	42,80	43,56	43,46	43,01	43,20	39,95	39,82	41,42	41,22	39,98	40,85	57,52	57,74	57,82	57,92	57,25	58,21	
Fs	63,67	55,43	54,71	54,96	55,23	54,88	57,97	58,23	56,86	57,19	57,77	57,29	41,32	41,17	40,94	41,19	41,65	40,71	

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC11	RC11	RC11	RC11	RC11	RC12	RC12	RC12	RC12	RC12	RC13
Litologia	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4
SiO <sub>2</sub>	49,71	49,48	50,08	49,39	50,21	50,08	49,86	52,77	53,08	52,55	51,85	52,77	52,80	53,63	52,81	53,65	53,46	49,51	
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,15	0,11	0,08	0,13	0,12	0,18	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,15	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,78	0,88	0,83	0,86	1,05	1,07	0,96	0,94	0,97	0,98	0,83	1,10	0,86	0,88	0,68	0,82	1,00	1,07	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	0,01	0,04	0,04	0,03	<	0,05	0,03	<	<	<	<	<	0,04	0,10	0,02	
MgO	12,88	12,83	13,31	13,16	13,50	13,65	13,56	20,55	20,61	20,34	20,03	20,65	20,97	21,57	20,88	21,60	21,23	13,76	
CaO	0,65	0,94	0,75	0,77	0,87	0,81	1,00	1,43	1,24	0,55	0,56	1,24	0,50	0,41	0,44	0,47	0,76	1,02	
MnO	0,75	0,71	0,66	0,64	0,67	0,60	0,63	1,23	1,16	1,24	1,25	1,18	0,59	0,60	0,59	0,58	0,54	0,58	
FeO	34,95	34,50	33,69	34,03	33,66	33,96	33,69	23,43	23,53	24,37	24,31	23,14	24,36	24,18	24,35	23,74	23,68	32,90	
NiO	<	0,01	<	0,01	0,04	0,04	<	0,04	<	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	<	0,01	<	<	
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,04	<	<	<	<	<	<	
K <sub>2</sub> O	0,01	<	0,01	<	<	0,01	<	<	<	0,01	0,02	<	<	0,01	0,02	0,01	0,01	<	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,36	<	0,52	<	0,04	0,10	0,45	<	<	0,03	<	<	<	<	<	<	0,27	
Total	100,30	99,86	99,44	99,48	100,16	100,41	100,00	100,91	100,69	100,15	98,95	100,17	100,19	101,36	99,85	100,99	100,85	99,28	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,972	1,970	1,988	1,969	1,978	1,971	1,971	1,971	1,982	1,979	1,980	1,978	1,981	1,983	1,988	1,988	1,984	1,966	
Ti	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	
Al	0,036	0,041	0,039	0,040	0,049	0,050	0,045	0,042	0,042	0,044	0,037	0,049	0,038	0,038	0,030	0,036	0,044	0,050	
Cr	<	<	<	<	0,001	0,001	0,001	<	0,001	0,001	<	<	<	<	<	0,001	0,003	0,001	
Mg	0,762	0,761	0,788	0,782	0,793	0,801	0,799	1,144	1,147	1,142	1,140	1,154	1,173	1,189	1,171	1,193	1,174	0,815	
Ca	0,028	0,040	0,032	0,033	0,037	0,034	0,042	0,057	0,050	0,022	0,023	0,050	0,020	0,016	0,018	0,019	0,030	0,044	
Mn	0,025	0,024	0,022	0,022	0,022	0,020	0,021	0,039	0,037	0,040	0,040	0,037	0,019	0,019	0,019	0,018	0,017	0,019	
Fe <sup>2+</sup>	1,160	1,148	1,118	1,135	1,109	1,117	1,114	0,732	0,734	0,767	0,776	0,725	0,764	0,748	0,767	0,735	0,735	1,093	
Ni	<	<	<	<	0,001	0,001	<	0,001	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	<	
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,003	<	<	<	<	<	<	
K	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	0,001	<	<	<	0,001	<	0,001	<	
Fe <sup>3+</sup>	0,014	0,011	<	0,016	<	0,001	0,003	0,013	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	0,008	
Total	4,000	3,999	3,990	4,000	3,994	4,000	4,001	4,001	3,995	3,997	4,000	3,997	3,998	3,995	3,996	3,992	3,990	4,001	
Wo	1,41	2,03	1,63	1,67	1,86	1,73	2,14	2,90	2,52	1,12	1,16	2,53	1,02	0,82	0,90	0,95	1,55	2,21	
En	38,59	38,58	40,19	39,68	40,43	40,60	40,44	58,02	58,29	57,93	57,59	58,68	59,35	60,30	59,33	60,70	60,02	41,35	
Fs	60,01	59,40	58,18	58,66	57,70	57,68	57,42	39,08	39,19	40,95	41,25	38,79	39,63	38,88	39,77	38,35	38,44	56,44	

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.



Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC13	RC13	RC13	RC13	RC13	RC13	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC15	RC15	RC15	RC15	RC15	RC16	RC16
Litologia	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	4	4
SiO <sub>2</sub>	49,67	49,86	49,52	50,31	50,12	50,11	52,47	52,65	51,40	51,68	51,34	54,75	54,45	54,44	54,11	54,01	49,51	49,79
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,14	0,11	0,13	0,15	0,14	0,08	0,07	0,32	0,05	1,18	0,32	0,29	0,25	0,36	0,33	0,10	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	0,99	0,99	0,95	0,96	0,99	0,91	0,88	0,83	0,94	0,85	2,20	2,27	2,44	2,45	2,47	0,70	0,66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0,03	0,02	<	<	<	0,01	0,02	0,02	0,02	0,11	0,10	0,08	0,05	0,10	0,01	<
MgO	13,95	13,99	14,04	14,29	14,10	14,23	20,32	20,33	19,64	19,87	19,94	26,24	26,09	26,32	25,80	26,06	10,55	10,99
CaO	0,93	1,15	0,97	0,82	0,84	1,13	0,53	0,60	0,54	0,59	0,56	1,03	0,93	0,71	1,10	1,01	0,78	0,73
MnO	0,61	0,65	0,62	0,67	0,66	0,57	1,21	1,31	1,29	1,10	1,31	0,31	0,28	0,31	0,28	0,30	0,61	0,61
FeO	32,84	32,69	32,39	32,76	33,01	32,62	24,38	24,43	24,53	24,12	24,87	16,21	16,46	16,34	16,00	16,10	37,62	37,56
NiO	<	<	0,03	0,04	0,03	0,02	<	0,01	<	0,05	<	<	0,02	<	0,01	<	0,04	<
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,01	0,03	<	0,03	0,03	<	<
K <sub>2</sub> O	<	<	<	<	0,02	<	<	0,02	0,01	<	<	0,02	0,04	0,02	0,02	<	0,02	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	0,01	0,71	<	<	0,23	<	<	<	<	0,73	<	<	<	<	<	<	<
Total	99,81	99,46	99,40	99,98	99,89	100,05	99,89	100,30	98,58	98,42	100,79	101,21	100,95	100,91	100,20	100,42	99,93	100,53
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,962	1,973	1,963	1,977	1,975	1,970	1,981	1,981	1,974	1,981	1,937	1,955	1,951	1,949	1,951	1,944	1,994	1,990
Ti	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,009	0,002	0,033	0,009	0,008	0,007	0,010	0,009	0,003	0,006
Al	0,048	0,046	0,046	0,044	0,045	0,046	0,040	0,039	0,037	0,043	0,038	0,092	0,096	0,103	0,104	0,105	0,033	0,031
Cr	<	<	0,001	0,001	<	<	<	<	0,001	0,001	<	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	<	<
Mg	0,821	0,825	0,829	0,837	0,828	0,834	1,144	1,140	1,124	1,135	1,121	1,396	1,394	1,404	1,386	1,398	0,633	0,655
Ca	0,039	0,049	0,041	0,035	0,035	0,048	0,021	0,024	0,022	0,024	0,022	0,040	0,036	0,027	0,042	0,039	0,034	0,031
Mn	0,020	0,022	0,021	0,022	0,022	0,019	0,039	0,042	0,042	0,036	0,042	0,009	0,008	0,009	0,009	0,009	0,021	0,021
Fe <sup>2+</sup>	1,085	1,082	1,074	1,077	1,088	1,072	0,770	0,769	0,788	0,773	0,785	0,484	0,493	0,489	0,482	0,485	1,267	1,255
Ni	<	<	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	<	0,002	<	<	0,001	<	<	<	0,001	<
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,001	0,002	<	0,002	0,002	<	<
K	<	<	<	<	0,001	<	<	0,001	0,001	<	<	0,001	0,002	0,001	0,001	<	0,001	<
Fe <sup>3+</sup>	0,019	<	0,021	<	<	0,007	<	<	<	<	0,021	<	<	<	<	<	<	<
Total	3,998	4,001	4,000	3,998	3,999	4,001	3,997	3,998	3,998	3,997	3,999	3,990	3,994	3,991	3,988	3,994	3,987	3,989
Wo	2,00	2,46	2,10	1,75	1,80	2,41	1,08	1,23	1,12	1,22	1,14	2,05	1,86	1,41	2,21	2,02	1,72	1,60
En	41,78	41,72	42,21	42,49	41,97	42,26	57,95	57,74	56,89	57,68	56,91	72,37	72,16	72,76	72,21	72,41	32,39	33,37
Fs	56,22	55,82	55,70	55,76	56,24	55,32	40,97	41,03	41,99	41,10	41,95	25,58	25,98	25,84	25,58	25,58	65,90	65,03

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC17	RC17	RC17	RC18	RC18	RC18	RC18	RC18	RC19
Litologia	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	2
SiO <sub>2</sub>	49,52	49,54	49,20	51,10	49,34	49,04	48,91	48,80	48,86	48,64	48,07	48,20	49,30	49,61	49,55	49,67	49,36	48,30	
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,09	0,11	0,10	0,05	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09	0,13	0,09	0,17	0,12	0,09	0,14	0,15	0,07	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67	0,56	0,76	0,75	0,54	0,63	0,72	0,68	0,63	0,73	0,77	0,74	0,77	0,70	0,71	0,62	0,72	0,65	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	0,05	<	<	<	0,01	0,02	<	<	0,03	<	0,03	<	<	0,01	<	
MgO	10,41	10,39	10,94	10,35	10,82	9,69	9,55	9,29	9,38	7,82	8,02	8,19	10,52	10,53	10,81	10,48	10,28	7,56	
CaO	0,89	0,80	1,77	1,87	0,59	0,86	0,76	0,80	0,77	0,80	0,88	0,86	1,00	0,80	0,70	1,04	1,98	0,88	
MnO	0,65	0,63	0,63	0,51	0,63	0,65	0,65	0,65	0,68	0,71	0,69	0,69	0,50	0,53	0,55	0,54	0,56	0,81	
FeO	37,83	37,88	36,42	37,15	37,48	39,17	39,01	39,91	39,66	41,51	41,29	41,32	38,26	38,59	38,62	38,21	37,20	42,06	
NiO	<	0,03	<	0,02	<	<	<	<	<	<	0,04	0,01	0,01	<	<	0,01	0,06	<	
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
K <sub>2</sub> O	<	<	0,03	<	<	0,02	<	0,01	0,02	0,01	0,02	<	<	0,01	<	<	<	0,01	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0,16	<	<	<	<	<	<	<	<	0,16	<	<	0,09	<	<	<	
Total	100,07	99,93	100,02	101,89	99,45	100,13	99,67	100,24	100,11	100,30	99,90	100,27	100,51	100,90	101,11	100,70	100,31	100,34	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,994	1,998	1,977	2,008	1,996	1,988	1,991	1,984	1,987	1,992	1,979	1,977	1,980	1,985	1,979	1,990	1,984	1,986	
Ti	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,002	
Al	0,032	0,026	0,036	0,035	0,026	0,030	0,034	0,033	0,030	0,035	0,037	0,036	0,036	0,033	0,033	0,029	0,034	0,032	
Cr	<	<	<	0,002	<	<	<	<	0,001	<	<	0,001	<	0,001	<	<	<	<	
Mg	0,625	0,625	0,656	0,606	0,652	0,586	0,579	0,563	0,568	0,477	0,492	0,500	0,630	0,628	0,643	0,626	0,616	0,463	
Ca	0,038	0,035	0,076	0,079	0,025	0,037	0,033	0,035	0,033	0,035	0,039	0,038	0,043	0,034	0,030	0,044	0,085	0,039	
Mn	0,022	0,022	0,021	0,017	0,021	0,022	0,022	0,022	0,023	0,025	0,024	0,024	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	0,028	
Fe <sup>2+</sup>	1,274	1,277	1,224	1,221	1,268	1,328	1,328	1,357	1,349	1,422	1,422	1,417	1,285	1,291	1,290	1,280	1,250	1,446	
Ni	<	0,001	<	0,001	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	<	0,002	<	
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
K	<	<	0,002	<	<	0,001	<	<	0,001	0,001	0,001	<	<	<	<	<	<	<	
Fe <sup>3+</sup>	<	<	0,005	<	<	<	<	<	<	<	<	0,005	<	<	0,003	<	<	<	
Total	3,988	3,987	4,000	3,972	3,990	3,995	3,989	3,997	3,995	3,990	3,999	4,001	3,996	3,993	4,000	3,991	3,994	3,996	
Wo	1,95	1,77	3,85	4,10	1,29	1,88	1,68	1,77	1,69	1,80	1,97	1,90	2,19	1,73	1,50	2,26	4,32	1,97	
En	31,89	31,90	33,16	31,53	33,17	29,68	29,52	28,47	28,80	24,36	24,89	25,28	31,89	31,86	32,47	31,78	31,24	23,44	
Fs	66,16	66,34	62,99	64,38	65,54	68,44	68,80	69,76	69,51	73,85	73,14	72,82	65,93	66,41	66,03	65,96	64,43	74,60	

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão [100 x Mg/(Mg+Fe)]. (&lt;) abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de ortopiroxênio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC19	RC19	RC19	RC19	RC19	RC20	RC20	RC20	RC20	RC20	RC21	RC21	RC21
Litologia	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO <sub>2</sub>	48,32	48,41	48,43	48,00	47,69	47,60	47,33	47,74	48,06	48,33	47,22	47,29	47,49
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,08	0,10	0,13	0,08	0,07	0,07	0,15	0,11	0,08	0,09	0,09	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,69	0,65	0,56	0,60	0,67	0,40	0,40	0,42	0,40	0,39	0,43	0,33	0,37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	<	0,01	0,01	0,01	0,03
MgO	7,22	8,28	7,14	7,31	6,72	5,62	5,63	5,78	5,77	5,92	4,61	4,47	4,53
CaO	0,83	0,74	0,92	0,92	0,81	0,85	0,73	0,95	1,01	1,31	0,93	0,95	0,92
MnO	0,77	0,87	0,90	0,84	0,85	0,70	0,73	0,75	0,75	0,68	0,78	0,81	0,76
FeO	42,86	41,32	42,90	42,17	43,23	44,47	44,63	44,51	44,46	44,44	46,33	46,30	46,40
NiO	<	0,05	0,03	<	<	<	0,03	<	0,02	<	<	<	0,01
Na <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
K <sub>2</sub> O	<	<	<	<	<	<	<	<	0,01	0,01	0,00	0,01	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,13	<	<	0,21	<	<	<	<	<	0,34	<	<
Total	100,81	100,54	100,98	99,97	100,27	99,75	99,56	100,32	100,58	101,18	100,75	100,25	100,58
Normalizado a 6 oxigênios													
Si	1,983	1,980	1,986	1,985	1,978	1,995	1,991	1,990	1,996	1,993	1,981	1,993	1,993
Ti	0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
Al	0,033	0,031	0,027	0,029	0,033	0,020	0,020	0,020	0,020	0,019	0,021	0,016	0,018
Cr	0,001	<	<	<	0,001	0,001	<	0,001	<	<	<	<	0,001
Mg	0,442	0,505	0,436	0,450	0,415	0,351	0,353	0,359	0,357	0,364	0,288	0,280	0,284
Ca	0,036	0,032	0,040	0,041	0,036	0,038	0,033	0,042	0,045	0,058	0,042	0,043	0,041
Mn	0,027	0,030	0,031	0,029	0,030	0,025	0,026	0,026	0,026	0,024	0,028	0,029	0,027
Fe <sup>2+</sup>	1,471	1,413	1,471	1,458	1,499	1,559	1,570	1,551	1,544	1,533	1,626	1,631	1,628
Ni	<	0,002	0,001	<	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<
Na	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
K	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	<	0,004	<	<	0,006	<	<	<	<	<	0,011	<	<
Total	3,997	3,999	3,995	3,996	4,000	3,991	3,996	3,994	3,991	3,994	4,000	3,995	3,994
Wo	1,84	1,64	2,03	2,06	1,82	1,94	1,65	2,14	2,28	2,93	2,11	2,16	2,08
En	22,36	25,49	22,05	22,76	20,97	17,79	17,82	18,15	18,10	18,40	14,53	14,14	14,32
Fs	75,80	72,88	75,92	75,18	77,21	80,27	80,53	79,71	79,62	78,67	83,36	83,71	83,60

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito e (5) troctolito. Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas.

Amostra	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC05	RC05	RC05	RC05	RC05	RC05
Litologia	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	49,17	49,79	49,86	49,71	48,84	48,79	49,98	50,26	50,34	50,54	50,68	50,66	52,30	52,48	52,47	52,72	52,18	52,21
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,18	0,21	0,23	0,17	0,21	0,33	0,25	0,28	0,32	0,30	0,24	0,19	0,16	0,21	0,15	0,24	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32	1,30	1,31	1,37	1,29	1,36	1,85	1,68	1,87	1,96	1,94	1,75	1,08	1,10	1,19	0,95	1,15	1,07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,04	<	<	<	<	<	0,01	<	<	<	<	0,07	0,08	0,02	0,04	0,05	0,03
MgO	5,28	5,36	5,24	5,20	5,19	5,17	8,89	8,98	8,83	8,73	8,81	9,21	11,89	12,18	11,98	12,13	11,85	11,98
CaO	19,93	19,27	19,78	20,06	19,32	20,64	20,48	17,51	20,47	20,15	21,13	18,16	21,67	19,30	21,44	21,66	21,66	22,03
MnO	0,34	0,35	0,41	0,44	0,41	0,32	0,30	0,41	0,33	0,30	0,35	0,35	0,43	0,49	0,40	0,42	0,45	0,44
FeO	22,18	23,76	23,09	22,67	22,79	20,95	16,33	20,36	16,91	17,74	16,19	19,49	11,86	14,50	11,96	12,05	11,81	11,21
NiO	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	<	<	<	<	<	0,04	<	0,02	0,02	<	0,01	<	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,30	0,27	0,33	0,30	0,27	0,33	0,28	0,23	0,27	0,28	0,32	0,26	0,31	0,31	0,37	0,29	0,32	0,29
K <sub>2</sub> O	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	<	<	0,01	0,01	0,01	<	0,01	<	<	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44	0,03	<	<	0,81	1,39	1,41	0,04	0,44	0,49	0,74	<	0,53	0,65	0,53	0,26	0,45	0,96
Total	100,18	100,39	100,26	100,03	99,11	99,17	99,87	99,74	99,72	100,51	100,50	100,14	100,33	101,28	100,57	100,66	100,14	100,44
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,955	1,974	1,977	1,974	1,963	1,954	1,938	1,962	1,953	1,950	1,949	1,963	1,974	1,972	1,974	1,981	1,972	1,967
Ti	0,005	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,010	0,007	0,008	0,009	0,009	0,007	0,005	0,004	0,006	0,004	0,007	0,006
Al	0,062	0,061	0,061	0,064	0,061	0,064	0,085	0,077	0,085	0,089	0,088	0,080	0,048	0,049	0,053	0,042	0,051	0,048
Cr	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
Mg	0,313	0,317	0,310	0,308	0,311	0,308	0,514	0,523	0,510	0,502	0,505	0,532	0,668	0,682	0,672	0,679	0,667	0,673
Ca	0,849	0,819	0,840	0,853	0,832	0,886	0,851	0,733	0,851	0,833	0,871	0,754	0,876	0,777	0,864	0,872	0,877	0,889
Mn	0,011	0,012	0,014	0,015	0,014	0,011	0,010	0,014	0,011	0,010	0,012	0,012	0,014	0,016	0,013	0,013	0,014	0,014
Fe <sup>2+</sup>	0,737	0,788	0,766	0,753	0,766	0,702	0,530	0,665	0,549	0,572	0,521	0,632	0,374	0,456	0,376	0,379	0,373	0,353
Ni	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	<	<	<	<	0,001	<	0,001	0,001	<	<	<	<
Na	0,023	0,021	0,025	0,023	0,021	0,026	0,021	0,018	0,020	0,021	0,024	0,020	0,023	0,023	0,027	0,021	0,023	0,021
K	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	0,043	0,001	<	<	0,024	0,042	0,041	0,001	0,013	0,014	0,021	<	0,015	0,018	0,015	0,007	0,013	0,027
Total	4,000	4,001	4,001	3,999	3,998	4,000	4,001	4,000	4,000	4,000	4,001	4,000	4,000	4,000	4,001	3,999	3,999	3,999
Wo	44,43	42,30	43,55	44,25	43,27	46,45	44,68	37,89	44,30	43,45	45,64	39,08	45,33	40,26	44,90	44,87	45,40	46,09
En	16,38	16,37	16,05	15,95	16,18	16,18	26,98	27,04	26,58	26,18	26,47	27,58	34,59	35,34	34,89	34,95	34,55	34,88
Fs	39,20	41,33	40,40	39,80	40,56	37,37	28,34	35,08	29,12	30,37	27,89	33,34	20,07	24,41	20,21	20,18	20,05	19,03

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas. Continuação.

Amostra	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06	RC07	RC07	RC07	RC07	RC07	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC09	RC09
Litologia	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1
SiO <sub>2</sub>	50,35	50,14	50,68	50,56	50,26	52,48	51,87	52,43	51,92	51,31	50,77	50,92	50,61	49,79	51,71	50,81	53,32	53,10
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,30	0,23	0,27	0,21	0,11	0,27	0,07	0,20	0,25	0,32	0,29	0,27	0,23	0,18	0,17	0,15	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,79	1,62	1,70	1,84	1,65	0,73	1,48	0,71	1,30	1,39	1,88	1,80	1,75	1,51	1,26	1,63	1,48	1,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0,02	<	0,02	<	0,04	<	<	0,02	<	<	<	<	<	0,04	<	0,03
MgO	8,79	9,28	9,08	9,10	9,18	11,50	10,90	11,45	11,10	10,90	10,31	10,51	10,59	10,17	10,85	10,20	13,51	13,54
CaO	19,77	17,26	18,86	19,02	17,97	22,44	21,49	22,10	22,24	21,46	21,45	21,54	20,10	21,35	22,53	21,34	21,93	22,28
MnO	0,35	0,36	0,38	0,35	0,34	0,37	0,37	0,34	0,29	0,34	0,30	0,22	0,23	0,24	0,22	0,27	0,34	0,36
FeO	17,93	20,03	18,67	18,42	19,29	12,12	13,27	12,63	12,12	12,75	13,76	13,22	14,60	12,86	12,43	13,89	8,95	8,38
NiO	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	<	<	0,01	0,04	<	0,01	<	<	<	<	0,01	0,01	<
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,25	0,29	0,29	0,27	0,24	0,35	0,23	0,33	0,34	0,23	0,30	0,25	0,25	0,25	0,26	0,50	0,48
K <sub>2</sub> O	<	<	0,01	<	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<	<	<	0,05	<	<	<	<	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,73	1,10	0,32	0,53	0,67	0,93	0,65	0,53	1,12	1,10	1,12	1,56	0,69	1,77	1,25	1,08	<	0,44
Total	100,27	100,37	100,26	100,37	99,87	100,91	100,69	100,49	100,66	99,86	100,14	100,37	99,14	98,16	100,67	99,71	100,16	100,25
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,949	1,948	1,961	1,953	1,956	1,977	1,963	1,983	1,961	1,958	1,941	1,940	1,953	1,942	1,958	1,952	1,983	1,974
Ti	0,009	0,009	0,007	0,008	0,006	0,003	0,008	0,002	0,006	0,007	0,009	0,008	0,008	0,007	0,005	0,005	0,004	0,004
Al	0,082	0,074	0,077	0,084	0,076	0,032	0,066	0,031	0,058	0,062	0,085	0,081	0,080	0,070	0,056	0,074	0,065	0,066
Cr	<	<	0,001	<	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<	<	<	<	0,001	<	0,001
Mg	0,507	0,537	0,524	0,524	0,532	0,645	0,615	0,645	0,625	0,620	0,587	0,597	0,609	0,592	0,612	0,584	0,749	0,750
Ca	0,820	0,718	0,782	0,787	0,749	0,905	0,871	0,896	0,900	0,878	0,879	0,879	0,831	0,892	0,914	0,878	0,874	0,887
Mn	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,012	0,012	0,011	0,009	0,011	0,010	0,007	0,008	0,008	0,007	0,009	0,011	0,011
Fe <sup>2+</sup>	0,581	0,651	0,604	0,595	0,628	0,382	0,420	0,399	0,383	0,407	0,440	0,421	0,471	0,420	0,394	0,446	0,278	0,260
Ni	<	0,001	0,001	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Na	0,019	0,019	0,022	0,021	0,020	0,017	0,026	0,016	0,024	0,025	0,017	0,022	0,019	0,019	0,018	0,019	0,036	0,034
K	<	<	0,001	<	<	0,001	0,001	<	<	<	<	<	0,002	<	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	0,021	0,032	0,009	0,015	0,020	0,026	0,018	0,015	0,032	0,032	0,032	0,045	0,020	0,052	0,036	0,031	<	0,012
Total	4,000	4,001	4,001	3,999	3,998	4,000	4,001	3,998	3,999	4,001	4,000	4,000	4,001	4,002	4,000	3,999	4,000	3,999
Wo	42,73	37,45	40,67	41,04	39,01	46,57	45,43	45,90	46,96	45,82	45,87	46,17	43,31	46,68	47,43	45,80	45,71	46,49
En	26,42	28,01	27,25	27,33	27,72	33,19	32,05	33,07	32,60	32,36	30,66	31,34	31,74	30,95	31,78	30,47	39,17	39,28
Fs	30,85	34,54	32,08	31,63	33,26	20,24	22,52	21,03	20,45	21,82	23,47	22,49	24,95	22,36	20,80	23,73	15,12	14,23

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas. Continuação.

Amostra	RC09	RC09	RC09	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC10	RC11	RC11	RC11	RC11	RC11	RC12	RC12	RC12	RC12
Litologia	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	4	4	4	4
SiO <sub>2</sub>	52,95	53,08	52,41	50,83	51,66	51,76	51,82	51,48	50,90	53,03	52,98	54,01	52,58	53,39	53,15	53,03	53,61	53,84
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,18	0,21	0,33	0,21	0,17	0,17	0,18	0,28	0,18	0,17	0,14	0,17	0,19	0,20	0,20	0,21	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	1,58	1,75	1,76	1,47	1,46	1,46	1,52	1,74	1,61	1,65	1,40	1,53	1,66	1,59	1,47	1,59	1,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	<	0,02	0,03	<	<	0,01	<	<	0,03	0,05	0,04	<	0,01	<	<	0,03	<
MgO	13,55	13,42	13,42	9,95	10,33	10,49	10,55	10,59	10,12	13,38	13,70	14,04	13,47	13,82	14,07	13,86	13,89	13,74
CaO	21,82	22,14	22,35	21,64	20,90	21,90	22,14	22,03	21,53	22,59	22,39	22,74	22,60	22,44	22,17	21,44	22,43	22,76
MnO	0,34	0,37	0,39	0,27	0,30	0,26	0,27	0,27	0,27	0,43	0,51	0,45	0,44	0,46	0,27	0,27	0,22	0,22
FeO	8,26	8,68	7,41	14,08	15,55	13,93	13,63	13,22	14,11	8,10	7,69	8,02	7,51	7,89	7,41	8,84	8,03	8,28
NiO	0,01	0,01	0,03	<	0,01	<	0,01	<	0,01	<	0,04	<	<	<	0,01	0,03	0,01	<
Na <sub>2</sub> O	0,53	0,49	0,50	0,26	0,20	0,24	0,23	0,24	0,24	0,48	0,46	0,44	0,45	0,49	0,55	0,49	0,55	0,51
K <sub>2</sub> O	0,11	<	0,04	0,02	<	<	<	0,01	<	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	<	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,03	0,45	1,26	1,20	0,83	0,34	0,56	0,93	1,01	1,03	1,20	0,42	1,42	0,96	1,81	1,11	0,83	0,28
Total	100,55	100,39	99,80	100,38	101,44	100,55	100,84	100,46	100,20	100,88	100,84	101,70	100,17	101,30	101,24	100,74	101,41	101,40
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,963	1,972	1,957	1,943	1,957	1,966	1,963	1,957	1,947	1,962	1,959	1,976	1,958	1,963	1,955	1,964	1,967	1,975
Ti	0,006	0,005	0,006	0,009	0,006	0,005	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,005
Al	0,076	0,069	0,077	0,079	0,065	0,065	0,065	0,068	0,078	0,070	0,072	0,060	0,067	0,072	0,069	0,064	0,069	0,068
Cr	<	<	0,001	0,001	<	<	<	<	<	0,001	0,002	0,001	<	<	<	<	0,001	<
Mg	0,749	0,743	0,747	0,567	0,583	0,594	0,595	0,600	0,577	0,738	0,755	0,765	0,748	0,758	0,771	0,765	0,760	0,752
Ca	0,867	0,881	0,894	0,886	0,848	0,891	0,898	0,897	0,882	0,896	0,887	0,891	0,902	0,884	0,873	0,851	0,882	0,895
Mn	0,011	0,012	0,012	0,009	0,010	0,008	0,009	0,009	0,009	0,014	0,016	0,014	0,014	0,014	0,008	0,008	0,007	0,007
Fe <sup>2+</sup>	0,256	0,270	0,231	0,450	0,493	0,443	0,432	0,420	0,451	0,251	0,238	0,245	0,234	0,243	0,228	0,274	0,246	0,254
Ni	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	0,001	<	<
Na	0,038	0,035	0,037	0,019	0,015	0,017	0,017	0,018	0,018	0,034	0,033	0,031	0,033	0,035	0,039	0,035	0,039	0,036
K	0,005	<	0,002	0,001	<	<	<	<	<	0,001	0,001	0,001	<	0,001	<	<	<	<
Fe <sup>3+</sup>	0,029	0,012	0,035	0,035	0,024	0,010	0,016	0,027	0,029	0,029	0,033	0,012	0,040	0,027	0,050	0,031	0,023	0,008
Total	4,000	3,999	4,000	3,999	4,001	3,999	4,000	4,001	3,999	4,001	4,002	4,000	4,001	4,002	3,999	3,999	4,000	4,000
Wo	46,05	46,24	47,44	46,36	43,87	46,03	46,45	46,59	45,98	47,19	46,79	46,52	47,53	46,57	46,44	44,83	46,55	46,92
En	39,80	38,99	39,64	29,64	30,16	30,69	30,78	31,14	30,06	38,88	39,82	39,95	39,42	39,91	41,00	40,30	40,09	39,40
Fs	14,16	14,77	12,92	24,00	25,97	23,28	22,77	22,27	23,97	13,93	13,39	13,53	13,05	13,52	12,57	14,87	13,36	13,68

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas. Continuação.

Amostra	RC12	RC12	RC12	RC13	RC13	RC13	RC13	RC13	RC13	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC16	RC16	RC16
Litologia	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	4	4	4
SiO <sub>2</sub>	50,08	53,27	53,28	50,97	51,11	51,05	50,89	50,88	51,07	52,50	52,07	51,81	53,01	53,34	52,83	51,64	51,40	51,20
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,21	0,26	0,31	0,19	0,31	0,30	0,22	0,24	0,20	0,21	0,24	0,16	0,17	0,18	0,20	0,12	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,44	1,89	1,81	2,05	1,71	1,98	2,02	1,84	1,86	1,58	1,54	1,59	1,44	1,51	1,42	1,44	1,11	1,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	0,08	0,09	<	0,03	0,02	0,02	0,03	<	<	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03
MgO	14,08	13,78	13,75	10,37	10,50	10,38	10,26	10,51	10,43	13,15	13,75	13,10	13,59	13,46	13,44	8,61	8,90	8,59
CaO	21,48	22,14	21,94	21,24	21,91	20,30	21,32	21,29	22,06	21,94	18,95	22,40	22,10	21,79	22,52	21,09	21,50	17,70
MnO	0,16	0,25	0,23	0,26	0,24	0,27	0,24	0,26	0,30	0,44	0,42	0,33	0,43	0,57	0,50	0,27	0,24	0,34
FeO	4,60	8,02	8,75	13,63	12,66	14,87	13,43	13,30	12,62	8,50	11,25	7,26	8,18	8,80	7,88	17,08	16,71	21,60
NiO	0,01	0,03	0,02	<	<	<	0,03	0,05	0,05	0,01	<	<	0,03	0,02	<	0,02	<	<
Na <sub>2</sub> O	0,62	0,57	0,49	0,35	0,35	0,35	0,39	0,30	0,32	0,53	0,43	0,54	0,51	0,53	0,46	0,26	0,26	0,23
K <sub>2</sub> O	0,06	0,01	0,01	0,01	<	0,01	0,01	<	<	<	<	0,01	<	0,02	<	<	<	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,50	1,49	0,82	1,18	1,37	0,47	1,55	1,42	1,44	0,90	1,02	2,15	1,01	<	0,96	<	0,57	<
Total	100,90	101,73	101,45	100,37	100,06	100,03	100,44	100,10	100,38	99,73	99,65	99,49	100,48	100,22	100,20	100,67	100,84	101,34
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,844	1,952	1,959	1,941	1,949	1,953	1,938	1,943	1,943	1,966	1,961	1,947	1,968	1,983	1,967	1,981	1,972	1,974
Ti	0,018	0,006	0,007	0,009	0,005	0,009	0,009	0,006	0,007	0,006	0,006	0,007	0,004	0,005	0,005	0,006	0,004	0,007
Al	0,193	0,081	0,078	0,092	0,077	0,089	0,091	0,083	0,083	0,070	0,068	0,070	0,063	0,066	0,062	0,065	0,050	0,064
Cr	0,006	0,002	0,003	<	0,001	0,001	<	0,001	<	<	<	0,002	<	<	<	0,002	0,001	0,001
Mg	0,773	0,753	0,753	0,589	0,597	0,592	0,582	0,598	0,591	0,734	0,772	0,734	0,752	0,746	0,746	0,493	0,509	0,494
Ca	0,847	0,869	0,864	0,867	0,895	0,832	0,870	0,871	0,899	0,880	0,765	0,902	0,879	0,868	0,898	0,867	0,884	0,731
Mn	0,005	0,008	0,007	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	0,010	0,014	0,013	0,011	0,013	0,018	0,016	0,009	0,008	0,011
Fe <sup>2+</sup>	0,141	0,246	0,269	0,434	0,404	0,476	0,428	0,425	0,401	0,266	0,354	0,228	0,254	0,273	0,245	0,548	0,536	0,696
Ni	<	0,001	0,001	<	<	<	0,001	0,001	0,001	<	<	<	0,001	0,001	<	0,001	<	<
Na	0,044	0,041	0,035	0,026	0,026	0,026	0,029	0,023	0,023	0,038	0,031	0,039	0,036	0,038	0,034	0,019	0,019	0,017
K	0,003	<	0,001	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,125	0,041	0,023	0,034	0,039	0,013	0,044	0,041	0,041	0,025	0,029	0,061	0,028	<	0,027	<	0,017	<
Total	3,999	4,000	4,000	4,000	4,001	4,001	4,000	4,000	3,999	3,999	3,999	4,001	3,998	3,999	4,000	3,991	4,000	3,996
Wo	47,96	46,36	45,63	45,66	47,03	43,60	46,09	45,79	47,30	46,47	40,16	48,11	46,30	45,55	47,16	45,23	45,64	37,84
En	43,75	40,13	39,78	31,02	31,36	31,02	30,84	31,44	31,09	38,75	40,52	39,15	39,62	39,14	39,14	25,71	26,27	25,55
Fs	8,29	13,51	14,59	23,32	21,61	25,39	23,08	22,76	21,61	14,78	19,32	12,74	14,08	15,30	13,70	29,07	28,09	36,61

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas. Continuação.

Amostra	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC17	RC17	RC17	RC17	RC18	RC18	RC18	RC18	RC18	RC19	RC19
Litologia	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2
SiO <sub>2</sub>	51,17	50,93	50,69	50,96	50,62	50,49	50,93	50,20	50,29	49,64	50,29	51,11	50,70	51,30	51,34	51,42	50,00	50,16	
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,21	0,26	0,20	0,18	0,26	0,20	0,13	0,15	0,13	0,16	0,18	0,20	0,21	0,20	0,14	0,17	0,16	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,47	1,46	1,48	1,37	1,35	1,52	1,28	1,33	1,43	1,28	1,38	1,36	1,37	1,45	1,30	1,15	1,36	1,38	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,01	0,03	<	0,01	<	<	0,01	0,01	<	0,01	<	0,03	<	<	<	<	<	0,04
MgO	8,71	8,57	8,09	8,08	7,64	7,71	7,65	7,06	6,90	6,76	7,00	8,55	8,65	8,64	8,47	8,61	6,09	5,89	
CaO	21,25	21,63	20,97	21,15	20,21	19,51	20,87	19,45	19,79	20,31	19,97	21,14	21,72	21,48	21,20	21,84	20,32	20,97	
MnO	0,28	0,29	0,26	0,28	0,23	0,32	0,33	0,38	0,33	0,33	0,32	0,19	0,23	0,19	0,22	0,27	0,36	0,38	
FeO	17,08	16,75	18,15	18,34	19,15	20,26	19,11	21,18	21,37	20,18	20,79	17,54	16,12	17,16	17,93	16,88	21,60	21,31	
NiO	0,02	0,01	<	<	<	<	0,01	0,06	<	<	0,02	0,03	<	<	<	0,02	0,02	0,03	
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,23	0,25	0,21	0,20	0,28	0,25	0,22	0,19	0,20	0,21	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,21	
K <sub>2</sub> O	<	<	<	<	0,01	<	0,02	<	<	<	0,03	<	0,02	0,01	<	<	<	<	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,35	0,36	0,15	<	0,32	<	0,61	0,27	0,53	0,28	0,33	1,72	0,47	0,37	0,64	0,71	<	
Total	100,45	100,44	100,54	100,73	99,59	100,67	100,63	100,63	100,74	99,34	100,46	100,67	101,01	101,18	101,28	101,20	100,85	100,52	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,970	1,964	1,962	1,969	1,981	1,963	1,975	1,965	1,966	1,966	1,968	1,969	1,948	1,965	1,969	1,970	1,962	1,971	
Ti	0,006	0,006	0,008	0,006	0,005	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	
Al	0,067	0,067	0,068	0,062	0,062	0,070	0,058	0,062	0,066	0,060	0,063	0,062	0,062	0,065	0,059	0,052	0,063	0,064	
Cr	<	<	0,001	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	<	0,001	
Mg	0,500	0,492	0,467	0,465	0,445	0,447	0,442	0,412	0,402	0,399	0,408	0,491	0,495	0,493	0,484	0,491	0,356	0,345	
Ca	0,877	0,894	0,870	0,876	0,847	0,813	0,867	0,816	0,829	0,862	0,838	0,873	0,894	0,881	0,871	0,896	0,854	0,883	
Mn	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,011	0,011	0,013	0,011	0,011	0,011	0,006	0,008	0,006	0,007	0,009	0,012	0,012	
Fe <sup>2+</sup>	0,550	0,540	0,588	0,592	0,627	0,659	0,620	0,693	0,699	0,668	0,680	0,565	0,518	0,549	0,575	0,541	0,709	0,700	
Ni	0,001	<	<	<	<	<	<	0,002	<	<	0,001	0,001	<	<	<	<	0,001	0,001	
Na	0,019	0,017	0,019	0,016	0,015	0,021	0,019	0,017	0,015	0,015	0,016	0,019	0,018	0,020	0,019	0,018	0,018	0,016	
K	<	<	<	<	<	<	0,001	<	<	<	0,002	<	0,001	<	<	<	<	<	
Fe <sup>3+</sup>	<	0,010	0,010	0,004	<	0,009	<	0,018	0,008	0,016	0,008	0,010	0,050	0,014	0,011	0,018	0,021	<	
Total	3,999	3,999	4,002	3,999	3,990	4,001	3,999	4,002	4,000	4,001	4,000	4,001	4,001	3,999	4,001	3,999	4,001	3,998	
Wo	45,29	46,17	45,01	45,07	43,97	42,13	44,71	42,19	42,72	44,42	43,24	45,10	46,69	45,66	44,97	46,27	44,23	45,49	
En	25,83	25,45	24,14	23,96	23,12	23,17	22,79	21,29	20,72	20,56	21,07	25,38	25,86	25,55	24,98	25,37	18,43	17,78	
Fs	28,89	28,38	30,85	30,97	32,92	34,70	32,50	36,52	36,57	35,02	35,69	29,52	27,45	28,79	30,05	28,37	37,33	36,73	

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão [100 x Mg/(Mg+Fe)]. (<) abaixo do limite de detecção.



Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio da Intrusão Rio Crixas. Continuação.

Amostra	RC19	RC19	RC19	RC20	RC20	RC20	RC20	RC20	RC21	RC21	RC21	RC21
Litologia	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SiO <sub>2</sub>	46,98	48,92	50,32	48,94	48,35	50,34	50,10	49,83	49,41	49,22	50,00	49,72
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,18	0,10	0,12	0,14	0,13	0,10	0,11	0,17	0,15	0,16	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,42	1,40	1,29	0,90	0,90	0,88	0,86	0,84	0,86	0,89	0,86	0,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	0,01	0,02	<	0,01	0,05	<	0,01	0,02	<	<
MgO	6,34	5,78	6,17	4,90	5,00	5,12	5,12	5,09	4,05	4,02	3,98	3,95
CaO	18,77	20,90	21,19	21,00	20,86	20,68	20,12	19,84	20,63	20,87	18,21	21,02
MnO	0,44	0,43	0,32	0,32	0,35	0,31	0,34	0,29	0,36	0,39	0,37	0,35
FeO	19,88	20,13	20,90	21,40	20,54	23,12	23,48	23,86	24,14	23,58	27,58	23,93
NiO	0,01	<	<	0,05	0,04	0,02	<	<	<	<	0,02	<
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,22	0,19	0,26	0,28	0,23	0,25	0,22	0,23	0,24	0,20	0,28
K <sub>2</sub> O	<	<	0,01	<	0,03	0,03	0,01	<	<	<	0,02	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,36	2,11	0,89	1,66	2,42	<	<	0,30	0,78	1,59	<	0,89
Total	98,51	100,07	101,38	99,57	98,91	100,86	100,43	100,39	100,65	100,97	101,38	101,09
Normalizado a 6 oxigênios												
Si	1,900	1,939	1,962	1,960	1,949	1,986	1,987	1,981	1,972	1,960	1,990	1,975
Ti	0,005	0,005	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,005	0,004	0,005	0,003
Al	0,068	0,065	0,059	0,043	0,043	0,041	0,040	0,039	0,041	0,042	0,040	0,039
Cr	<	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<	0,001	<	<
Mg	0,382	0,341	0,359	0,292	0,300	0,301	0,303	0,302	0,241	0,239	0,236	0,234
Ca	0,814	0,887	0,885	0,901	0,901	0,874	0,855	0,845	0,882	0,890	0,776	0,894
Mn	0,015	0,015	0,011	0,011	0,012	0,010	0,011	0,010	0,012	0,013	0,012	0,012
Fe <sup>2+</sup>	0,672	0,667	0,681	0,717	0,692	0,763	0,779	0,793	0,806	0,785	0,918	0,795
Ni	<	<	<	0,002	0,001	0,001	<	<	<	<	0,001	<
Na	0,011	0,017	0,014	0,020	0,021	0,018	0,019	0,017	0,018	0,018	0,016	0,021
K	<	<	<	<	0,002	0,001	<	<	<	<	0,001	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,133	0,063	0,026	0,050	0,074	<	<	0,009	0,024	0,048	<	0,027
Total	4,000	3,999	4,000	4,001	3,999	3,999	3,998	3,999	4,001	4,000	3,995	4,001
Wo	43,20	46,45	45,72	46,91	47,28	44,87	43,89	43,34	45,45	46,20	39,97	46,23
En	20,30	17,86	18,53	15,22	15,76	15,45	15,53	15,48	12,41	12,39	12,15	12,07
Fs	36,49	35,68	35,75	37,88	36,97	39,69	40,57	41,18	42,14	41,42	47,88	41,69

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito e (4) gabronorito. Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás.

Amostra	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC01	RC02	RC02	RC02	RC02	RC02	RC03	RC03	RC03	RC03	RC03	RC04	RC04
Litologia	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4
Na <sub>2</sub> O	6,90	7,27	7,31	7,00	6,30	7,17	6,35	6,25	6,19	6,19	6,22	3,63	3,66	3,49	3,25	3,32	5,96	5,73
K <sub>2</sub> O	0,50	0,53	0,57	0,44	0,46	0,36	0,54	0,48	0,52	0,42	0,51	0,20	0,18	0,19	0,17	0,16	0,34	0,42
SiO <sub>2</sub>	61,43	60,30	60,27	59,39	56,53	59,70	58,05	57,32	57,12	57,05	57,62	51,39	51,34	51,47	50,76	51,56	56,37	55,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,82	25,96	26,07	26,50	24,67	26,20	27,45	26,84	27,55	27,96	27,26	31,32	31,43	30,93	31,84	31,61	27,45	27,54
FeO	0,22	0,07	0,06	0,10	3,76	0,16	0,11	0,12	0,11	0,09	0,13	0,08	0,12	0,12	0,09	0,11	0,21	0,17
CaO	7,15	7,36	7,37	7,88	7,27	7,97	9,06	9,18	9,38	9,32	8,89	13,72	13,98	14,34	14,04	14,28	10,03	10,35
BaO	<	<	<	0,07	0,01	0,02	0,23	0,12	<	0,10	0,19	0,04	0,06	<	0,04	<	0,13	0,03
SrO	<	0,07	<	<	<	0,07	<	0,09	0,12	0,08	0,10	<	<	<	<	<	<	<
Total	102,02	101,55	101,66	101,38	98,99	101,65	101,79	100,39	100,99	101,21	100,91	100,38	100,76	100,53	100,18	101,02	100,48	99,95
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,584	0,620	0,623	0,599	0,561	0,613	0,544	0,543	0,535	0,533	0,537	0,319	0,321	0,307	0,286	0,290	0,518	0,502
K	0,028	0,029	0,032	0,025	0,027	0,020	0,030	0,028	0,029	0,024	0,029	0,011	0,010	0,011	0,010	0,009	0,020	0,024
Si	2,680	2,653	2,649	2,621	2,599	2,630	2,565	2,569	2,546	2,536	2,567	2,328	2,320	2,332	2,305	2,321	2,530	2,515
Al	1,328	1,346	1,350	1,379	1,337	1,360	1,430	1,418	1,447	1,465	1,432	1,672	1,674	1,651	1,704	1,677	1,452	1,466
Fe	0,008	0,003	0,002	0,004	0,144	0,006	0,004	0,005	0,004	0,003	0,005	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,008	0,006
Ca	0,334	0,347	0,347	0,373	0,358	0,376	0,429	0,441	0,448	0,444	0,424	0,666	0,677	0,696	0,683	0,689	0,482	0,501
Ba	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001
Sr	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,962	5,000	5,003	5,002	5,026	5,007	5,006	5,008	5,012	5,009	4,999	5,000	5,007	5,001	4,992	4,990	5,012	5,015
An	35,33	34,81	34,63	37,39	37,86	37,27	42,75	43,56	44,24	44,34	42,84	66,87	67,14	68,66	69,76	69,76	47,26	48,75

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC04	RC05	RC05	RC05	RC05	RC05	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06	RC06	RC07
Litologia	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1
Na <sub>2</sub> O	6,91	7,08	5,65	4,95	6,06	6,10	7,59	7,72	7,45	7,37	7,58	7,45	7,20	7,50	7,00	7,53	7,34	6,81
K <sub>2</sub> O	0,30	0,51	0,19	0,19	0,32	0,33	0,23	0,22	0,21	0,24	0,23	0,35	0,33	0,33	0,22	0,31	0,27	0,25
SiO <sub>2</sub>	58,90	59,80	56,09	54,51	56,39	56,99	60,09	59,78	58,94	59,99	59,31	59,44	59,17	59,41	58,43	59,14	59,16	58,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,40	25,75	28,23	29,44	27,63	27,73	25,51	25,55	25,81	25,53	25,34	26,18	26,13	25,74	26,24	25,43	25,82	26,72
FeO	0,12	0,11	0,16	0,18	0,18	0,16	0,13	0,14	0,13	0,08	0,23	0,13	0,10	0,17	0,11	0,09	0,10	0,07
CaO	8,54	7,99	10,92	11,71	9,97	10,06	7,33	7,20	7,81	7,55	7,37	7,97	8,22	7,70	8,43	7,78	7,86	8,84
BaO	0,06	0,04	<	0,04	0,06	0,09	<	0,07	0,10	0,10	0,13	0,15	0,23	0,27	0,08	<	0,14	0,17
SrO	<	<	0,05	0,03	<	<	0,22	0,35	0,28	0,19	0,36	0,13	0,10	<	<	0,04	0,13	0,17
Total	101,23	101,27	101,28	101,05	100,61	101,46	101,08	101,02	100,72	101,05	100,54	101,79	101,47	101,12	100,51	100,32	100,82	101,45
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,594	0,606	0,488	0,430	0,526	0,526	0,651	0,664	0,644	0,633	0,655	0,637	0,618	0,645	0,605	0,652	0,633	0,585
K	0,017	0,029	0,011	0,011	0,018	0,019	0,013	0,012	0,012	0,013	0,013	0,020	0,018	0,019	0,012	0,017	0,015	0,014
Si	2,609	2,644	2,499	2,440	2,526	2,532	2,658	2,651	2,626	2,655	2,647	2,622	2,619	2,636	2,607	2,641	2,631	2,589
Al	1,378	1,341	1,482	1,553	1,459	1,452	1,330	1,335	1,355	1,332	1,333	1,361	1,363	1,346	1,380	1,338	1,353	1,396
Fe	0,004	0,004	0,006	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,003	0,009	0,005	0,004	0,006	0,004	0,003	0,004	0,003
Ca	0,405	0,378	0,521	0,562	0,479	0,479	0,347	0,342	0,373	0,358	0,353	0,377	0,390	0,366	0,403	0,372	0,375	0,420
Ba	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005	0,001	0,000	0,002	0,003
Sr	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,006	0,009	0,007	0,005	0,009	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,004
Total	5,008	5,003	5,008	5,005	5,016	5,015	5,010	5,019	5,024	5,001	5,021	5,028	5,018	5,023	5,012	5,024	5,016	5,014
An	39,87	37,33	51,10	56,05	46,78	46,80	34,36	33,61	36,25	35,67	34,53	36,47	37,98	35,55	39,48	35,73	36,63	41,18

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC07	RC07	RC07	RC07	RC07	RC08	RC08	RC08	RC08	RC08	RC09	RC09	RC09	RC09	RC09	RC09	RC09	RC10
Litologia	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3
Na <sub>2</sub> O	5,66	7,14	7,35	6,81	6,89	5,87	5,58	5,50	5,30	5,29	7,13	7,25	6,32	7,21	7,16	5,76	6,58	5,71
K <sub>2</sub> O	0,16	0,21	0,22	0,22	0,22	0,37	0,33	0,27	0,32	0,34	0,23	0,17	0,29	0,40	0,28	0,27	0,31	0,39
SiO <sub>2</sub>	55,48	58,76	58,46	58,29	57,39	56,14	55,78	54,76	54,07	55,02	59,23	58,83	56,84	58,10	59,37	55,95	57,20	56,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,25	26,29	26,08	26,88	26,71	27,43	27,55	27,87	27,94	28,59	26,17	26,33	27,02	26,00	25,83	28,12	26,88	27,59
FeO	0,11	0,13	0,04	0,13	0,06	0,12	0,14	0,22	0,13	0,22	0,12	0,17	0,15	0,06	0,12	0,13	0,15	0,17
CaO	10,59	8,50	8,38	8,72	9,17	10,55	10,45	10,90	11,16	11,34	8,03	8,07	9,61	8,30	8,05	10,22	9,23	10,26
BaO	0,11	0,07	<	<	<	0,01	<	0,08	<	<	0,10	<	0,11	0,07	0,07	0,15	0,04	0,12
SrO	0,24	0,03	0,20	0,10	0,16	0,03	0,18	0,11	<	0,08	0,11	0,30	0,25	0,11	0,20	0,23	0,20	<
Total	100,61	101,14	100,73	101,13	100,60	100,51	100,01	99,71	98,93	100,87	101,11	101,13	100,59	100,23	101,08	100,83	100,60	100,44
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,493	0,614	0,635	0,586	0,598	0,511	0,488	0,484	0,470	0,460	0,612	0,624	0,549	0,626	0,615	0,500	0,572	0,498
K	0,009	0,012	0,012	0,012	0,013	0,021	0,019	0,015	0,019	0,019	0,013	0,010	0,017	0,023	0,016	0,015	0,018	0,023
Si	2,492	2,607	2,607	2,586	2,568	2,522	2,517	2,485	2,472	2,469	2,624	2,610	2,549	2,605	2,633	2,506	2,561	2,524
Al	1,495	1,375	1,371	1,405	1,409	1,452	1,465	1,491	1,506	1,512	1,366	1,377	1,428	1,374	1,350	1,485	1,419	1,460
Fe	0,004	0,005	0,001	0,005	0,002	0,004	0,005	0,008	0,005	0,008	0,005	0,006	0,006	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007
Ca	0,510	0,404	0,400	0,415	0,439	0,508	0,505	0,530	0,547	0,545	0,381	0,384	0,462	0,399	0,383	0,490	0,443	0,494
Ba	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002
Sr	0,006	0,001	0,005	0,003	0,004	0,001	0,005	0,003	0,000	0,002	0,003	0,008	0,006	0,003	0,005	0,006	0,005	0,000
Total	5,011	5,019	5,031	5,012	5,033	5,019	5,004	5,017	5,019	5,015	5,006	5,019	5,019	5,033	5,007	5,010	5,025	5,008
An	50,36	39,23	38,20	40,95	41,87	48,84	49,89	51,49	52,81	53,21	37,87	37,70	44,92	38,06	37,74	48,75	42,90	48,69

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC10	RC10	RC10	RC10	RC11	RC11	RC11	RC11	RC11	RC11	RC12	RC12	RC12	RC12	RC12	RC12	RC12	RC13
Litologia	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4
Na <sub>2</sub> O	5,84	5,82	6,09	5,83	6,90	6,92	7,20	5,18	4,99	6,09	5,12	5,27	7,00	7,16	7,31	6,35	7,28	5,77
K <sub>2</sub> O	0,38	0,41	0,27	0,42	0,43	0,39	0,39	0,14	0,21	0,29	0,21	0,19	0,29	0,30	0,32	0,24	0,34	0,43
SiO <sub>2</sub>	56,08	56,51	55,45	56,05	58,60	58,86	59,29	54,84	54,30	56,76	55,17	55,23	59,07	59,99	59,79	57,64	59,49	55,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,66	27,93	27,49	27,26	26,89	26,61	26,19	29,01	29,00	27,83	29,32	28,92	27,10	26,44	25,73	27,41	26,24	27,52
FeO	0,12	0,14	0,17	0,18	0,12	0,14	0,17	0,25	0,85	0,14	0,07	0,14	0,10	0,11	0,32	0,04	0,11	0,16
CaO	10,28	10,30	10,42	10,08	8,88	8,58	8,08	11,70	11,33	10,08	11,64	11,55	8,63	8,05	7,61	9,64	8,03	10,41
BaO	0,08	0,08	<	<	0,11	0,06	<	0,04	<	0,14	0,10	0,15	0,08	0,13	0,21	0,11	0,13	0,21
SrO	0,06	<	<	0,03	0,20	0,11	0,25	0,24	0,21	0,13	0,08	0,16	0,04	0,14	0,09	0,10	0,06	0,02
Total	100,51	101,21	99,89	99,84	102,14	101,66	101,57	101,41	100,87	101,47	101,70	101,61	102,30	102,31	101,38	101,54	101,68	100,22
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,509	0,503	0,534	0,510	0,590	0,593	0,617	0,449	0,435	0,525	0,441	0,455	0,595	0,608	0,626	0,546	0,622	0,505
K	0,022	0,023	0,015	0,024	0,024	0,022	0,022	0,008	0,012	0,016	0,012	0,011	0,016	0,017	0,018	0,014	0,019	0,025
Si	2,518	2,519	2,508	2,531	2,583	2,600	2,620	2,451	2,443	2,524	2,454	2,462	2,591	2,627	2,644	2,554	2,623	2,513
Al	1,464	1,467	1,465	1,451	1,397	1,385	1,364	1,528	1,538	1,459	1,537	1,519	1,401	1,365	1,341	1,432	1,364	1,464
Fe	0,005	0,005	0,007	0,007	0,004	0,005	0,006	0,009	0,032	0,005	0,003	0,005	0,004	0,004	0,012	0,001	0,004	0,006
Ca	0,495	0,492	0,505	0,487	0,419	0,406	0,382	0,560	0,546	0,481	0,555	0,552	0,405	0,378	0,360	0,458	0,379	0,503
Ba	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,004
Sr	0,002	0,000	0,000	0,001	0,005	0,003	0,006	0,006	0,005	0,003	0,002	0,004	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002	0,000
Total	5,016	5,010	5,034	5,011	5,024	5,015	5,017	5,012	5,011	5,015	5,006	5,011	5,014	5,004	5,007	5,010	5,015	5,020
An	48,25	48,29	47,91	47,70	40,60	39,79	37,45	55,05	54,97	47,01	55,04	54,19	39,87	37,68	35,86	45,00	37,15	48,71

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC13	RC13	RC13	RC13	RC13	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC14	RC15	RC15	RC15	RC15	RC15
Litologia	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5
Na <sub>2</sub> O	5,52	5,65	5,85	5,62	5,70	5,55	5,31	7,29	7,37	5,04	7,51	7,93	7,52	4,47	3,60	4,50	4,10	4,42
K <sub>2</sub> O	0,34	0,33	0,31	0,30	0,40	0,26	0,21	0,31	0,31	0,21	0,38	0,41	0,39	0,12	0,09	0,16	0,14	0,14
SiO <sub>2</sub>	56,02	55,81	55,90	55,50	55,99	54,94	54,97	59,15	58,96	53,94	59,65	59,95	59,27	52,95	51,00	52,92	52,18	52,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,17	27,76	28,05	28,28	27,75	28,46	28,70	25,96	25,75	29,15	25,36	24,81	25,78	30,51	31,71	30,05	30,98	30,32
FeO	0,22	0,17	0,12	0,16	0,10	0,05	0,11	0,12	0,21	0,09	0,14	0,12	0,09	0,10	0,06	0,11	0,16	0,09
CaO	10,87	10,28	10,49	10,91	10,34	11,12	11,37	8,01	7,84	11,85	7,38	6,78	7,50	12,99	14,39	12,67	13,35	12,76
BaO	0,03	<	0,21	0,09	0,17	0,01	0,03	0,13	0,10	0,08	0,07	0,08	0,07	0,15	<	<	0,01	0,04
SrO	0,10	0,11	0,05	0,05	0,15	<	0,37	0,13	0,15	0,18	0,13	0,09	0,09	0,02	0,08	0,04	<	0,01
Total	101,26	100,11	100,98	100,90	100,59	100,38	101,05	101,09	100,69	100,54	100,61	100,17	100,70	101,31	100,93	100,44	100,92	100,63
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,478	0,493	0,507	0,488	0,496	0,484	0,461	0,627	0,637	0,441	0,648	0,686	0,649	0,389	0,315	0,394	0,358	0,386
K	0,019	0,019	0,018	0,017	0,023	0,015	0,012	0,017	0,018	0,012	0,021	0,023	0,022	0,007	0,005	0,009	0,008	0,008
Si	2,499	2,514	2,502	2,487	2,515	2,474	2,464	2,625	2,628	2,433	2,654	2,677	2,637	2,375	2,304	2,390	2,350	2,383
Al	1,481	1,474	1,480	1,494	1,469	1,510	1,516	1,358	1,353	1,550	1,330	1,306	1,351	1,613	1,688	1,600	1,645	1,611
Fe	0,008	0,006	0,005	0,006	0,004	0,002	0,004	0,005	0,008	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	0,002	0,004	0,006	0,004
Ca	0,519	0,496	0,503	0,524	0,497	0,536	0,546	0,381	0,374	0,573	0,352	0,325	0,358	0,624	0,696	0,613	0,644	0,617
Ba	0,000	0,000	0,004	0,001	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001
Sr	0,003	0,003	0,001	0,001	0,004	0,000	0,009	0,003	0,004	0,005	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000
Total	5,007	5,005	5,020	5,018	5,011	5,021	5,012	5,018	5,024	5,018	5,014	5,025	5,023	5,015	5,012	5,011	5,011	5,010
An	51,11	49,22	48,92	50,93	48,92	51,81	53,56	37,14	36,36	55,83	34,48	31,37	34,78	61,21	68,48	60,36	63,78	61,00

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás. Continuação.

Amostra	RC16	RC16	RC16	RC16	RC16	RC17	RC17	RC17	RC17	RC17	RC18	RC18	RC18	RC18	RC19	RC19	RC19	RC19
Litologia	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
Na <sub>2</sub> O	5,36	5,54	5,63	5,74	5,55	6,36	6,05	5,74	6,87	6,44	6,08	5,58	6,04	6,05	6,78	6,92	6,64	6,95
K <sub>2</sub> O	0,26	0,30	0,24	0,25	0,30	0,50	0,38	0,36	0,46	0,47	0,22	0,39	0,31	0,27	0,21	0,30	0,31	0,46
SiO <sub>2</sub>	55,40	55,81	55,88	56,04	56,01	57,89	56,86	56,70	58,36	57,90	57,63	56,20	56,90	56,99	58,84	59,06	57,93	59,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,81	28,63	28,45	28,58	28,40	27,18	27,53	27,81	26,51	26,96	27,91	28,18	28,05	27,63	27,09	26,45	26,58	26,35
FeO	0,14	0,37	0,16	0,37	0,15	0,09	0,12	0,28	0,13	0,23	0,10	0,18	0,14	0,11	0,12	0,08	0,26	0,09
CaO	11,33	10,75	10,68	10,83	10,88	9,34	9,54	9,99	8,58	9,06	9,94	10,67	10,38	9,73	8,92	8,44	9,07	8,31
BaO	<	<	0,03	0,08	<	0,08	0,15	0,17	0,01	<	<	0,31	<	0,13	0,07	<	<	<
SrO	<	<	<	0,01	<	<	<	0,11	0,07	<	0,09	<	<	0,07	<	<	0,01	<
Total	101,29	101,41	101,07	101,91	101,28	101,45	100,63	101,15	100,98	101,05	101,97	101,50	101,83	100,97	102,02	101,26	100,80	101,36
Normalizado a 8 oxigênios																		
Na	0,463	0,479	0,487	0,493	0,479	0,547	0,525	0,496	0,592	0,555	0,520	0,482	0,518	0,523	0,578	0,593	0,574	0,595
K	0,015	0,017	0,014	0,014	0,017	0,028	0,022	0,021	0,026	0,026	0,012	0,022	0,018	0,015	0,012	0,017	0,018	0,026
Si	2,471	2,486	2,494	2,487	2,495	2,567	2,543	2,528	2,596	2,575	2,541	2,504	2,519	2,540	2,587	2,612	2,583	2,617
Al	1,515	1,503	1,496	1,495	1,491	1,420	1,451	1,462	1,389	1,413	1,451	1,479	1,464	1,452	1,404	1,379	1,397	1,373
Fe	0,005	0,014	0,006	0,014	0,006	0,003	0,005	0,010	0,005	0,009	0,004	0,007	0,005	0,004	0,004	0,003	0,010	0,003
Ca	0,541	0,513	0,511	0,515	0,519	0,444	0,457	0,477	0,409	0,431	0,470	0,509	0,492	0,465	0,420	0,400	0,433	0,394
Ba	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	5,010	5,012	5,008	5,019	5,007	5,010	5,006	5,000	5,019	5,009	5,000	5,008	5,016	5,003	5,006	5,004	5,015	5,008
An	53,12	50,86	50,48	50,36	51,15	43,55	45,54	48,00	39,81	42,60	46,87	50,24	47,87	46,32	41,62	39,61	42,24	38,80

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural de plagioclásio da Intrusão Rio Crixás.

Continuação.

Amostra	RC19	RC20	RC20	RC20	RC20	RC20	RC21	RC21	RC21
Litologia	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Na <sub>2</sub> O	6,73	7,94	7,54	8,04	7,81	7,91	8,17	8,25	8,09
K <sub>2</sub> O	0,44	0,23	0,34	0,35	0,23	0,28	0,32	0,37	0,31
SiO <sub>2</sub>	59,12	61,31	58,36	61,46	60,96	60,80	61,20	60,97	61,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,76	25,32	24,20	24,85	24,84	24,95	25,07	24,82	25,09
FeO	0,14	0,18	0,18	0,04	0,08	0,05	0,10	0,13	0,11
CaO	8,69	6,84	6,53	6,71	6,85	6,75	6,66	6,56	6,80
BaO	<	<	0,01	0,15	0,11	0,18	0,16	<	0,30
SrO	<	<	0,05	0,04	<	0,05	<	<	<
Total	101,87	101,81	97,21	101,64	100,88	100,97	101,68	101,10	101,83
Normalizado a 8 oxigênios									
Na	0,574	0,674	0,671	0,684	0,669	0,678	0,696	0,706	0,689
K	0,025	0,013	0,020	0,020	0,013	0,016	0,018	0,021	0,017
Si	2,602	2,685	2,680	2,699	2,695	2,688	2,688	2,692	2,685
Al	1,388	1,307	1,310	1,286	1,294	1,300	1,298	1,292	1,298
Fe	0,005	0,006	0,007	0,002	0,003	0,002	0,003	0,005	0,004
Ca	0,410	0,321	0,321	0,316	0,324	0,320	0,314	0,311	0,320
Ba	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,000	0,005
Sr	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Total	5,004	5,006	5,010	5,011	5,000	5,008	5,020	5,027	5,018
An	40,64	31,86	31,72	30,95	32,22	31,55	30,53	29,93	31,16

(1) granulito máfico / gabronorito, (2) Ol. gabronorito, (3) anortosito, (4) gabronorito, e (5) troctolito. Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos.

An (anortita) = razão  $[100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}/\text{Na})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.



Tabela 5 - Composição química e fórmula estrutural de anfibólio da Intrusão Rio Crixás.

Amostra	RC12	RC15	RC15
Na <sub>2</sub> O	1,21	2,56	2,35
K <sub>2</sub> O	1,21	0,89	1,11
SiO <sub>2</sub>	44,97	43,88	43,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,21	13,68	14,22
MgO	12,14	15,74	16,00
TiO <sub>2</sub>	1,48	1,69	1,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,07	0,13
FeO	14,93	7,80	7,55
CaO	11,99	11,85	11,84
MnO	0,12	0,10	0,08
Total	98,27	98,26	98,14
Normalizado a 24 (O + OH)			
Si IV	6,655	6,371	6,373
Al IV	1,780	2,341	2,438
Sítio T	8,000	8,000	8,000
Al VI	0,435	0,712	0,811
Fe <sup>3+</sup>	0,045	0,113	0,188
Ti	0,165	0,184	0,119
Cr	0,002	0,008	0,015
Mg	2,679	3,405	3,470
Fe <sup>2+</sup>	1,674	0,578	0,397
Mn	-	-	-
Ca	-	-	-
M1.M2.M3	5,000	5,000	5,000
Fe <sup>2+</sup>	0,084	0,143	0,145
Mn	0,015	0,013	0,009
Ca	1,901	1,844	1,846
Na	-	-	-
Sítio M4	2,000	2,000	2,000
Na	0,347	0,720	0,662
K	0,229	0,165	0,206
Sítio A	0,576	0,885	0,868

(RC12) gabronorito e (RC15) troctolito.

Resultados em % em peso de óxidos.

Tabela 6 - Composição química e fórmula estrutural de olivina de wehrlito do furo FVE3-03 - Intrusão VE3.

Profundidade	179	179	179	179	179	179	188	188	188	188	188	201	201	201	201	208	208	208
SiO <sub>2</sub>	39,94	40,22	40,12	40,09	40,33	40,02	40,35	40,55	40,51	40,39	40,32	39,96	40,11	40,03	40,06	40,04	40,36	40,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	0,02	<	0,02	0,02	<	<	0,02	<	0,02	<	0,03	0,01	0,02	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<	<	<	<	<	0,01	<	<	0,02	<	<	<	<	<	0,02	0,01	<
MgO	44,67	44,84	44,90	45,06	45,00	44,69	45,08	45,16	45,07	44,97	45,02	44,97	45,14	44,70	45,00	44,88	44,91	45,07
MnO	0,16	0,16	0,20	0,18	0,15	0,15	0,19	0,17	0,19	0,18	0,15	0,17	0,14	0,16	0,16	0,18	0,16	0,18
FeO	14,76	14,94	14,81	14,59	14,72	14,66	14,85	14,70	15,20	15,02	15,13	15,04	14,89	15,05	14,79	14,59	14,59	14,48
NiO	0,13	0,12	0,08	0,10	0,12	0,10	0,12	0,14	0,12	0,13	0,13	0,09	0,10	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09
Total	99,65	100,27	100,11	100,02	100,34	99,61	100,62	100,74	101,09	100,70	100,77	100,23	100,39	100,07	100,14	99,82	100,16	100,02
Normalizado a 4 oxigênios																		
Si	1,005	1,005	1,004	1,004	1,006	1,006	1,005	1,007	1,005	1,006	1,004	1,000	1,002	1,004	1,003	1,005	1,008	1,005
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,675	1,671	1,676	1,681	1,674	1,675	1,673	1,673	1,667	1,669	1,671	1,678	1,680	1,671	1,679	1,678	1,672	1,680
Mn	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004
Fe	0,310	0,312	0,310	0,305	0,307	0,308	0,309	0,305	0,315	0,313	0,315	0,315	0,311	0,316	0,310	0,306	0,305	0,303
Ni	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
Total	2,996	2,993	2,996	2,996	2,993	2,994	2,994	2,993	2,993	2,995	2,997	2,999	2,998	2,997	2,998	2,995	2,991	2,995
Fo	84,22	84,11	84,21	84,46	84,36	84,32	84,22	84,40	83,92	84,06	84,00	84,05	84,26	83,96	84,29	84,41	84,43	84,57

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. Fo (forsterita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 6 - Composição química e fórmula estrutural de olivina de wehrlito do furo FVE3-03 - Intrusão VE3. Continuação.

Profundidade	208	208
SiO <sub>2</sub>	40,21	40,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	<
MgO	44,72	44,88
MnO	0,20	0,18
FeO	14,80	14,71
NiO	0,07	0,11
Total	100,00	99,95
Normalizado a 4 oxigênios		
Si	1,007	1,005
Al	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000
Mg	1,670	1,677
Mn	0,004	0,004
Fe	0,310	0,308
Ni	0,001	0,002
Total	2,992	2,996
Fo	84,16	84,30

Resultados analíticos apresentados em percentagem em peso de óxidos. Fo (forsterita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-02 - Intrusão VE3.

Profundidade	43	43	43	43	43	43	43	43	50	50	50	50	50	50	50	50	50	85
Litologia	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
SiO <sub>2</sub>	51,75	51,72	51,87	51,39	53,48	53,56	52,60	51,98	54,82	52,63	52,52	50,81	50,14	51,05	52,04	52,19	51,29	51,44
TiO <sub>2</sub>	0,35	0,35	0,35	0,35	0,14	0,12	0,13	0,22	<	0,27	0,26	0,46	0,48	0,40	0,37	0,25	0,37	0,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,33	3,50	3,16	3,50	1,37	1,26	1,65	2,73	0,36	2,60	2,45	4,75	4,81	4,12	3,03	2,66	3,36	3,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	<	0,03	0,04	0,01	0,03	<	0,02	<	<	<	0,01	<	0,01
MgO	15,67	15,39	15,33	15,31	15,94	15,82	15,63	15,36	16,11	16,15	16,13	13,87	14,39	14,08	15,26	14,93	14,99	14,78
CaO	22,34	22,85	22,68	22,68	22,54	22,82	22,15	22,86	25,16	22,05	22,14	23,05	22,71	22,83	22,66	23,10	22,82	23,18
MnO	0,07	0,09	0,08	0,07	0,13	0,12	0,10	0,12	0,08	0,11	0,09	0,12	0,10	0,09	0,14	0,13	0,09	0,09
FeO	4,00	3,85	4,15	3,78	4,95	5,06	4,67	3,89	3,44	4,72	4,59	4,78	3,57	4,95	4,53	4,26	3,87	3,86
NiO	<	0,01	<	0,02	<	<	0,03	<	<	0,02	0,03	0,01	0,01	<	<	<	<	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,32	0,37	0,33	0,37	0,33	0,43	0,35	0,15	0,28	0,26	0,43	0,40	0,44	0,35	0,44	0,37	0,42
K <sub>2</sub> O	0,02	<	<	<	<	<	<	0,02	<	<	<	<	0,04	<	<	<	<	<
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,76	1,25	1,34	1,42	0,52	0,39	1,33	1,35	<	0,76	1,05	1,47	2,62	1,40	1,50	1,41	2,04	1,87
Total	98,65	99,35	99,35	98,86	99,44	99,48	98,75	98,92	100,15	99,62	99,54	99,77	99,26	99,36	99,90	99,39	99,22	99,19
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,919	1,908	1,916	1,906	1,972	1,976	1,957	1,928	2,001	1,935	1,934	1,879	1,860	1,895	1,916	1,931	1,901	1,909
Ti	0,010	0,010	0,010	0,010	0,004	0,003	0,004	0,006	0,000	0,008	0,007	0,013	0,013	0,011	0,010	0,007	0,010	0,013
Al	0,146	0,152	0,138	0,153	0,059	0,055	0,072	0,119	0,015	0,113	0,106	0,207	0,210	0,180	0,131	0,116	0,147	0,135
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,866	0,847	0,844	0,847	0,876	0,870	0,867	0,849	0,876	0,885	0,886	0,764	0,796	0,779	0,838	0,823	0,828	0,817
Ca	0,888	0,903	0,897	0,901	0,890	0,902	0,883	0,908	0,984	0,869	0,874	0,913	0,903	0,908	0,894	0,916	0,906	0,921
Mn	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,124	0,119	0,128	0,117	0,153	0,156	0,145	0,121	0,105	0,145	0,141	0,148	0,111	0,154	0,140	0,132	0,120	0,120
Ni	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,023	0,023	0,027	0,024	0,026	0,024	0,031	0,025	0,011	0,020	0,019	0,031	0,029	0,031	0,025	0,032	0,027	0,030
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,021	0,035	0,037	0,040	0,014	0,011	0,037	0,038	0,000	0,021	0,029	0,041	0,073	0,039	0,041	0,039	0,057	0,052
Total	4,001	4,000	4,000	4,001	3,998	4,001	4,001	4,000	3,994	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000
En	46,05	45,24	45,08	45,34	45,56	45,05	45,66	45,13	44,53	46,53	46,53	41,79	43,90	42,27	44,66	43,92	44,60	43,91

(1) wehrlito, (2) gabro, (3) anfibolitito e (4) Ol Cpx anfibolitito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-02 - Intrusão VE3. Continuação.

Profundidade	85	85	85	85	85	85	91	91	91	91	91	91	91	91	130	130	130	130
Litologia	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	51,76	51,34	51,93	52,67	51,45	51,68	52,33	52,50	51,61	51,48	51,62	53,04	52,03	51,59	52,40	53,66	52,89	52,84
TiO <sub>2</sub>	0,44	0,48	0,40	0,25	0,43	0,50	0,29	0,36	0,39	0,40	0,39	0,26	0,34	0,47	0,35	0,33	0,30	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14	3,23	3,03	2,15	3,07	3,30	2,81	2,38	3,43	3,44	3,37	1,95	2,65	3,56	2,39	1,61	1,97	2,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,02	0,01	<	0,01	0,02	0,04	0,05	0,04	0,02	0,01	0,04	0,02	0,12	0,10	0,20	0,06
MgO	14,94	14,72	14,71	15,15	14,94	15,23	14,82	14,95	14,56	14,82	14,65	15,27	14,93	14,76	16,50	16,28	16,05	16,83
CaO	23,46	23,19	23,42	23,37	23,23	23,39	23,20	24,19	23,33	23,25	23,25	24,10	23,69	23,34	23,21	24,61	24,11	22,90
MnO	0,10	0,05	0,09	0,13	0,09	0,09	0,10	0,08	0,07	0,08	0,10	0,08	0,08	0,11	0,03	0,06	0,04	0,06
FeO	3,66	4,09	4,12	4,15	3,77	3,35	4,15	3,63	3,60	3,53	3,83	3,89	3,66	3,86	2,33	3,20	3,19	2,52
NiO	<	<	0,02	0,02	<	<	0,02	0,03	0,02	0,02	<	<	<	<	0,02	<	<	<
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,37	0,43	0,43	0,36	0,36	0,53	0,36	0,55	0,45	0,48	0,33	0,39	0,42	0,31	0,14	0,17	0,31
K <sub>2</sub> O	0,02	<	<	<	<	<	<	0,02	<	<	<	0,02	<	<	<	<	<	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,79	1,62	1,43	1,22	1,74	1,97	1,13	1,23	1,99	1,82	1,71	0,72	1,57	1,73	2,02	0,32	0,97	1,79
Total	99,70	99,11	99,60	99,53	99,07	99,89	99,39	99,76	99,58	99,33	99,42	99,68	99,39	99,85	99,68	100,29	99,88	99,95
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,909	1,906	1,918	1,945	1,909	1,900	1,934	1,934	1,906	1,904	1,909	1,953	1,924	1,900	1,920	1,956	1,939	1,928
Ti	0,012	0,013	0,011	0,007	0,012	0,014	0,008	0,010	0,011	0,011	0,011	0,007	0,009	0,013	0,010	0,009	0,008	0,009
Al	0,136	0,141	0,132	0,093	0,134	0,143	0,122	0,103	0,149	0,150	0,147	0,085	0,116	0,154	0,103	0,069	0,085	0,098
Cr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,003	0,006	0,002
Mg	0,821	0,815	0,810	0,834	0,827	0,835	0,816	0,821	0,801	0,817	0,808	0,838	0,823	0,810	0,901	0,884	0,877	0,916
Ca	0,927	0,923	0,927	0,924	0,924	0,921	0,918	0,955	0,923	0,921	0,921	0,951	0,939	0,921	0,911	0,961	0,947	0,895
Mn	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002
Fe <sup>2+</sup>	0,113	0,127	0,127	0,128	0,117	0,103	0,128	0,112	0,111	0,109	0,119	0,120	0,113	0,119	0,071	0,098	0,098	0,077
Ni	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,028	0,027	0,031	0,030	0,026	0,026	0,038	0,026	0,039	0,033	0,034	0,024	0,028	0,030	0,022	0,010	0,012	0,022
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Fe <sup>3+</sup>	0,050	0,045	0,040	0,034	0,049	0,055	0,031	0,034	0,055	0,051	0,048	0,020	0,044	0,048	0,056	0,009	0,027	0,049
Total	4,000	3,999	4,001	4,000	4,001	4,000	3,999	4,000	3,999	3,999	4,000	4,001	4,000	3,999	3,998	4,001	4,000	4,000
En	44,05	43,67	43,39	44,10	44,20	44,83	43,73	43,44	43,60	44,16	43,64	43,85	43,85	43,71	47,81	45,47	45,61	48,46

(1) wehrlito, (2) gabro, (3) anfibolitito e (4) Ol Cpx anfibolitito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-02 - Intrusão VE3. Continuação.

Profundidade	130	130	130	138	138	138	138	138	138	138	138	143	143	143	143	143	143	143	
Litologia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SiO <sub>2</sub>	52,58	52,23	52,47	52,42	52,81	52,49	53,21	52,68	52,18	54,18	4,65	53,57	52,90	52,89	52,79	52,63	53,25	53,56	
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,37	0,34	0,37	0,36	0,39	0,23	0,30	0,34	0,18	0,29	0,36	0,38	0,34	0,38	0,40	0,32	0,34	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	2,48	2,59	2,30	2,17	2,40	1,57	2,17	2,24	1,06	2,08	2,15	2,81	2,98	2,27	2,80	2,12	2,17	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38	0,14	0,24	0,26	0,17	0,14	0,22	0,19	0,15	0,09	0,14	0,09	0,13	0,34	0,12	0,08	0,06	0,10	
MgO	16,31	16,35	16,26	16,32	16,31	16,37	16,46	16,41	16,12	16,40	3,61	16,59	16,42	16,23	16,41	16,31	16,75	16,57	
CaO	23,22	23,20	23,25	23,26	23,26	23,29	24,07	23,10	23,25	24,66	22,95	23,16	23,15	23,03	23,05	23,12	23,25	23,25	
MnO	0,07	0,04	0,06	0,07	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,10	0,05	0,03	0,07	0,07	0,08	0,06	0,05	0,09	
FeO	2,62	2,53	2,64	2,47	2,98	2,47	2,98	2,97	2,66	3,38	<	3,68	3,23	3,55	3,11	3,13	2,77	3,34	
NiO	<	<	<	0,03	<	0,02	<	<	<	0,01	0,23	0,01	0,01	0,01	<	<	0,01	0,02	
Na <sub>2</sub> O	0,35	0,29	0,32	0,33	0,34	0,33	0,14	0,30	0,31	0,14	0,38	0,31	0,29	0,32	0,32	0,30	0,32	0,33	
K <sub>2</sub> O	0,01	<	0,03	0,01	<	<	<	<	<	<	0,01	<	<	<	<	<	<	0,01	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,52	1,77	1,63	1,79	1,24	1,78	0,88	1,17	1,74	0,21	40,02	0,23	1,13	1,06	1,07	1,22	1,24	0,75	
Total	99,65	99,41	99,82	99,63	99,67	99,74	99,81	99,36	99,05	100,42	74,41	100,18	100,53	100,82	99,60	100,04	100,14	100,53	
Normalizado a 6 oxigênios																			
Si	1,928	1,920	1,921	1,923	1,936	1,923	1,949	1,936	1,927	1,973	0,313	1,950	1,922	1,919	1,935	1,922	1,939	1,945	
Ti	0,009	0,010	0,009	0,010	0,010	0,011	0,006	0,008	0,009	0,005	0,015	0,010	0,010	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	
Al	0,098	0,107	0,112	0,100	0,094	0,104	0,068	0,094	0,098	0,045	0,165	0,092	0,120	0,128	0,098	0,120	0,091	0,093	
Cr	0,011	0,004	0,007	0,007	0,005	0,004	0,006	0,006	0,005	0,003	0,007	0,003	0,004	0,010	0,003	0,002	0,002	0,003	
Mg	0,892	0,896	0,887	0,893	0,891	0,894	0,899	0,899	0,887	0,890	0,362	0,900	0,889	0,878	0,897	0,888	0,909	0,897	
Ca	0,912	0,914	0,912	0,914	0,913	0,914	0,945	0,910	0,920	0,962	1,651	0,903	0,901	0,895	0,905	0,904	0,907	0,904	
Mn	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	
Fe <sup>2+</sup>	0,080	0,078	0,081	0,076	0,091	0,076	0,091	0,091	0,082	0,103	0,000	0,112	0,098	0,108	0,095	0,096	0,084	0,102	
Ni	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	
Na	0,025	0,021	0,023	0,023	0,024	0,024	0,010	0,022	0,022	0,010	0,050	0,022	0,020	0,023	0,023	0,022	0,023	0,023	
K	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	
Fe <sup>3+</sup>	0,042	0,049	0,045	0,049	0,034	0,049	0,024	0,032	0,048	0,006	2,023	0,006	0,031	0,029	0,029	0,034	0,034	0,020	
Total	4,000	4,000	4,000	3,999	3,999	4,002	3,999	4,000	4,000	4,000	4,602	3,999	3,997	4,001	3,997	4,001	4,000	4,001	
En	47,27	47,43	47,15	47,36	46,97	47,42	46,43	47,27	46,92	45,45	17,94	46,99	47,03	46,62	47,20	46,98	47,81	47,06	

(1) wehrlito, (2) gabro, (3) anfibolitito e (4) Ol Cpx anfibolitito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-03 - Intrusão VE3.

Profundidade	108	108	108	108	108	108	108	118	118	118	118	118	118	118	122	122	122	122
Litologia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
SiO <sub>2</sub>	51,43	51,75	52,98	52,09	52,55	51,98	52,32	52,96	52,33	52,27	52,65	53,09	52,92	52,72	51,34	52,47	53,08	50,99
TiO <sub>2</sub>	0,47	0,35	0,29	0,36	0,34	0,37	0,35	0,26	0,32	0,38	0,28	0,26	0,34	0,28	0,33	0,26	0,24	0,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,58	2,73	2,39	2,83	2,71	2,94	2,73	1,91	2,64	2,93	2,59	2,32	2,56	2,54	3,19	2,59	2,35	3,38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,41	0,24	0,18	0,16	0,16	0,12	0,60	0,41	0,13	0,22	0,31	0,13	0,29	0,51	0,35	0,39	0,83
MgO	15,58	15,81	16,25	15,86	16,04	15,82	15,97	16,57	16,16	15,98	16,18	16,39	16,17	16,17	15,43	16,10	16,22	15,45
CaO	22,77	22,84	23,28	22,73	23,07	22,85	22,96	23,03	23,08	22,97	22,98	22,96	23,11	22,89	22,62	22,64	23,03	22,72
MnO	0,05	0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,12	0,07	0,08
FeO	3,29	3,03	3,20	3,41	3,31	3,09	3,10	2,67	3,01	3,40	3,16	3,36	3,48	3,32	3,21	3,40	3,55	2,47
NiO	0,02	0,03	0,02	<	<	0,02	0,02	0,03	<	<	<	0,03	0,03	0,03	<	0,03	0,03	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,35	0,34	0,33	0,37	0,34	0,39	0,37	0,35	0,31	0,31	0,34	0,35	0,34	0,36	0,40	0,37	0,35	0,44
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,01	<	0,02	0,01	0,02	0,03	<	0,02	0,05	<	<	0,02	0,02	<	<	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,42	1,51	1,05	1,20	1,25	1,59	1,59	0,99	1,12	1,04	1,33	0,88	1,03	1,14	1,56	1,16	0,95	2,40
Total	99,08	98,87	100,08	99,12	99,86	99,29	99,62	99,49	99,44	99,46	99,81	100,01	100,17	99,82	98,67	99,50	100,25	99,14
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,900	1,916	1,935	1,923	1,925	1,916	1,921	1,943	1,923	1,921	1,928	1,939	1,932	1,931	1,907	1,929	1,937	1,887
Ti	0,013	0,010	0,008	0,010	0,009	0,010	0,010	0,007	0,009	0,011	0,008	0,007	0,009	0,008	0,009	0,007	0,006	0,010
Al	0,156	0,119	0,103	0,123	0,117	0,128	0,118	0,083	0,114	0,127	0,112	0,100	0,110	0,110	0,139	0,112	0,101	0,147
Cr	0,003	0,012	0,007	0,005	0,005	0,005	0,003	0,017	0,012	0,004	0,006	0,009	0,004	0,008	0,015	0,010	0,011	0,024
Mg	0,858	0,873	0,885	0,872	0,876	0,869	0,874	0,906	0,885	0,876	0,883	0,892	0,880	0,883	0,854	0,882	0,882	0,852
Ca	0,901	0,906	0,911	0,899	0,905	0,902	0,904	0,905	0,909	0,905	0,902	0,898	0,904	0,898	0,900	0,892	0,900	0,901
Mn	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,102	0,094	0,098	0,105	0,101	0,095	0,095	0,082	0,092	0,105	0,097	0,103	0,106	0,102	0,100	0,104	0,108	0,076
Ni	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
Na	0,025	0,025	0,023	0,027	0,024	0,028	0,027	0,025	0,022	0,022	0,024	0,025	0,024	0,026	0,029	0,027	0,025	0,031
K	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,039	0,042	0,029	0,033	0,034	0,044	0,044	0,027	0,031	0,029	0,037	0,024	0,028	0,031	0,044	0,032	0,026	0,067
Total	4,001	4,001	4,002	3,999	3,999	4,001	4,000	4,000	3,999	4,002	4,000	4,000	4,000	4,000	4,001	4,000	3,999	3,999
En	46,06	46,56	46,70	46,43	46,48	46,51	46,62	47,80	46,88	46,42	46,91	47,08	46,51	46,84	46,03	46,87	46,60	46,51

(1) Ol. clinopiroxenito, (2) Am. clinopiroxenito e (3) wehrlito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-03 - Intrusão VE3. Continuação.

Profundidade	122	122	122	122	144	144	144	144	144	144	144	179	179	179	179	179	179	179
Litologia	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3
SiO <sub>2</sub>	52,87	52,99	52,25	51,94	52,32	53,00	52,57	52,51	52,52	51,75	52,84	52,06	52,50	52,65	52,52	52,49	52,64	52,80
TiO <sub>2</sub>	0,23	0,25	0,30	0,34	0,30	0,31	0,28	0,25	0,32	0,37	0,24	0,36	0,31	0,32	0,37	0,37	0,33	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,22	2,15	3,06	3,32	2,88	2,33	2,56	2,70	2,67	3,07	2,47	2,86	2,60	2,64	2,87	2,96	2,68	2,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,39	0,60	0,72	0,39	0,30	0,35	0,40	0,19	0,11	0,27	0,31	0,16	0,32	0,07	0,22	0,32	0,19
MgO	16,24	16,18	15,32	15,50	16,06	16,50	16,32	16,10	16,11	15,02	16,39	16,17	16,39	16,38	16,38	16,19	16,43	16,45
CaO	22,91	22,76	23,20	22,77	22,97	23,09	22,99	23,43	22,71	22,58	22,91	23,12	22,86	23,24	23,23	23,25	23,40	23,14
MnO	0,07	0,09	0,08	0,09	0,07	0,04	0,06	0,06	0,05	0,08	0,09	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05	0,04	0,06
FeO	3,17	3,59	3,52	3,52	3,00	3,09	2,89	2,98	3,58	4,45	3,20	2,64	2,96	2,63	2,51	2,89	2,32	2,97
NiO	<	<	<	<	0,03	0,01	0,01	0,02	<	0,03	0,02	0,01	<	0,02	0,02	<	0,03	<
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,41	0,45	0,42	0,34	0,31	0,35	0,27	0,36	0,42	0,33	0,31	0,32	0,34	0,35	0,33	0,34	0,29
K <sub>2</sub> O	0,02	<	0,01	0,02	0,03	0,02	<	<	<	<	<	<	0,02	<	<	<	<	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,42	0,79	1,17	1,32	1,32	1,17	1,45	0,89	0,86	1,90	1,02	1,51	1,31	1,61	1,77	1,12	1,91	1,58
Total	99,99	99,59	99,95	99,97	99,72	100,16	99,82	99,60	99,36	99,80	99,77	99,40	99,47	100,22	100,13	99,87	100,45	100,29
Normalizado a 6 oxigênios																		
Si	1,934	1,945	1,917	1,905	1,918	1,933	1,924	1,926	1,932	1,910	1,934	1,914	1,927	1,920	1,915	1,919	1,915	1,925
Ti	0,006	0,007	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,007	0,009	0,010	0,007	0,010	0,008	0,009	0,010	0,010	0,009	0,009
Al	0,096	0,093	0,132	0,144	0,124	0,100	0,110	0,117	0,116	0,134	0,107	0,124	0,113	0,114	0,123	0,128	0,115	0,105
Cr	0,013	0,011	0,017	0,021	0,011	0,009	0,010	0,012	0,006	0,003	0,008	0,009	0,005	0,009	0,002	0,006	0,009	0,005
Mg	0,886	0,885	0,838	0,847	0,878	0,897	0,891	0,880	0,883	0,826	0,894	0,886	0,897	0,890	0,890	0,882	0,891	0,894
Ca	0,898	0,895	0,912	0,895	0,902	0,902	0,902	0,921	0,895	0,893	0,898	0,910	0,899	0,908	0,908	0,911	0,912	0,904
Mn	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Fe <sup>2+</sup>	0,097	0,110	0,108	0,108	0,092	0,094	0,088	0,091	0,110	0,137	0,098	0,081	0,091	0,080	0,076	0,088	0,071	0,091
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Na	0,028	0,029	0,032	0,030	0,024	0,022	0,024	0,019	0,026	0,030	0,023	0,022	0,023	0,024	0,024	0,023	0,024	0,021
K	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,039	0,022	0,032	0,037	0,036	0,032	0,040	0,025	0,024	0,053	0,028	0,042	0,036	0,044	0,049	0,031	0,052	0,043
Total	4,000	4,000	3,999	4,000	3,997	3,999	3,999	4,001	4,002	3,999	4,001	4,000	4,001	4,001	4,000	4,000	4,000	4,000
En	47,03	46,76	45,04	45,73	46,84	47,35	47,31	46,47	46,74	44,45	47,24	47,14	47,51	47,35	47,45	46,85	47,52	47,29

(1) Ol. clinopiroxenito, (2) Am. clinopiroxenito e (3) wehrlito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão [100 x Mg/(Mg+Fe)]. (&lt;) abaixo do limite de detecção.



Tabela 7 - Composição química e fórmula estrutural de clinopiroxênio de rochas do furo FVE3-03 - Intrusão VE3. Continuação.

Profundidade	188	188	188	188	188	201	201	201	201	201	208	208	208	208	208	208
Litologia	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
SiO <sub>2</sub>	53,01	53,52	53,08	52,76	52,85	52,47	52,99	52,46	52,68	52,56	53,29	52,46	52,87	52,47	52,22	52,88
TiO <sub>2</sub>	0,20	0,18	0,21	0,29	0,20	0,31	0,27	0,32	0,30	0,32	0,24	0,27	0,26	0,28	0,34	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,37	1,89	1,92	2,65	2,11	2,47	2,53	2,66	2,47	2,58	2,23	2,60	2,58	2,57	2,98	2,59
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80	0,65	0,60	0,55	0,42	0,53	0,62	0,47	0,52	0,15	0,29	0,28	0,73	0,53	0,28	0,67
MgO	16,63	17,04	16,99	16,34	16,85	16,46	16,44	16,23	16,39	16,36	16,22	16,21	16,36	16,24	16,09	16,37
CaO	23,09	23,12	22,89	23,24	23,10	23,12	23,03	23,26	23,33	23,16	20,05	23,15	23,23	23,12	23,29	23,17
MnO	0,10	0,05	0,09	0,05	0,05	0,06	0,07	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,08	0,10
FeO	2,33	2,41	2,47	2,76	2,07	2,45	2,94	2,75	2,45	2,64	4,46	2,74	2,63	2,68	2,62	2,71
NiO	0,03	0,03	0,02	<	0,01	<	0,04	0,01	0,01	<	<	0,03	<	0,01	<	<
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,36	0,31	0,35	0,35	0,33	0,38	0,32	0,35	0,35	0,70	0,33	0,39	0,36	0,33	0,38
K <sub>2</sub> O	0,02	0,01	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	0,02	0,02	<	<	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,52	1,21	1,30	1,54	1,76	1,60	1,28	1,42	1,67	1,68	<	1,71	1,26	1,65	1,79	1,38
Total	100,50	100,45	99,88	100,53	99,77	99,81	100,60	99,93	100,23	99,85	97,54	99,85	100,38	99,99	100,03	100,54
Normalizado a 6 oxigênios																
Si	1,926	1,942	1,938	1,919	1,931	1,920	1,925	1,919	1,921	1,923	1,982	1,921	1,924	1,919	1,909	1,922
Ti	0,006	0,005	0,006	0,008	0,006	0,008	0,007	0,009	0,008	0,009	0,007	0,007	0,007	0,008	0,009	0,008
Al	0,101	0,081	0,083	0,113	0,091	0,107	0,108	0,115	0,106	0,111	0,098	0,112	0,111	0,111	0,129	0,111
Cr	0,023	0,019	0,017	0,016	0,012	0,015	0,018	0,013	0,015	0,004	0,009	0,008	0,021	0,015	0,008	0,019
Mg	0,900	0,921	0,924	0,886	0,918	0,898	0,890	0,885	0,891	0,892	0,899	0,885	0,887	0,886	0,877	0,887
Ca	0,899	0,899	0,895	0,906	0,904	0,907	0,896	0,912	0,911	0,908	0,799	0,909	0,906	0,906	0,912	0,903
Mn	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,071	0,073	0,075	0,084	0,063	0,075	0,089	0,084	0,075	0,081	0,139	0,084	0,080	0,082	0,080	0,082
Ni	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,028	0,025	0,022	0,025	0,025	0,024	0,027	0,022	0,025	0,024	0,050	0,023	0,027	0,026	0,023	0,027
K	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,042	0,033	0,036	0,042	0,048	0,044	0,035	0,039	0,046	0,046	0,000	0,047	0,035	0,045	0,049	0,038
Total	4,001	4,002	4,001	4,001	3,999	4,000	3,998	3,999	4,000	4,000	3,985	4,000	4,000	4,000	3,998	4,001
En	48,07	48,62	48,70	47,18	48,65	47,73	47,41	47,03	47,41	47,39	48,90	47,08	47,33	47,22	46,84	47,30

(1) Ol. clinopiroxenito, (2) Am. clinopiroxenito e (3) wehrlito.

Resultados analíticos apresentados em porcentagem em peso de óxidos. En (enstatita) = razão  $[100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})]$ . (<) abaixo do limite de detecção.

Tabela 8 - Composição química e fórmula estrutural de anfibólio da Intrusão VE3.

Amostra	FVE3-02-85	FVE3-02-85	FVE3-02-85	FVE3-03-122	FVE3-03-122	FVE3-03-122	FVE3-03-188
Na <sub>2</sub> O	2,40	2,16	2,18	2,31	2,40	2,30	2,32
K <sub>2</sub> O	1,37	1,49	1,45	1,37	1,22	1,50	1,45
SiO <sub>2</sub>	43,27	43,36	43,51	43,78	43,98	43,34	42,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,14	13,34	13,52	13,00	12,93	13,02	13,06
MgO	14,55	14,97	14,40	16,59	16,27	16,46	15,03
TiO <sub>2</sub>	1,60	1,56	1,68	1,24	1,20	1,25	1,65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,03	0,02	0,13	0,34	0,23	0,00
FeO	9,00	8,84	9,45	7,45	7,28	7,60	9,00
CaO	12,35	12,31	12,26	12,37	12,39	12,27	12,21
MnO	0,09	0,08	0,04	0,03	0,00	0,10	0,11
Total	97,83	98,11	98,50	98,27	97,99	98,07	97,57
Normalizado a 24 (O + OH)							
Si IV	6,325	6,294	6,319	6,336	6,333	6,264	6,265
Al IV	1,675	1,706	1,681	1,664	1,667	1,736	1,735
Sítio T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al VI	0,589	0,576	0,633	0,554	0,527	0,482	0,520
Fe <sup>3+</sup>	-	-	-	0,105	-	0,021	0,019
Ti	0,176	0,171	0,184	0,135	0,130	0,135	0,182
Cr	0,006	0,003	0,002	0,015	0,038	0,027	-
Mg	3,171	3,239	3,118	3,579	3,492	3,546	3,283
Fe <sup>2+</sup>	1,058	1,011	1,063	0,612	0,813	0,789	0,996
Mn	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-
M1.M2.M3	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Fe <sup>2+</sup>	0,042	0,062	0,085	0,079	0,063	0,087	0,069
Mn	0,011	0,010	0,005	0,004	0,000	0,012	0,014
Ca	1,934	1,914	1,907	1,917	1,912	1,901	1,917
Na	0,013	0,014	0,003	-	0,025	-	-
Sítio M4	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,668	0,593	0,611	0,648	0,645	0,643	0,660
K	0,256	0,275	0,268	0,252	0,224	0,276	0,270
Sítio A	0,924	0,868	0,879	0,900	0,869	0,919	0,930

(FVE3-02-85) Cpx Pl anfibolitito, (FVE3-03-122) Am clinopiroxenito e (FVE3-03-188) wehrlito.

Resultados analíticos apresentados em percentagem em peso de óxidos. (<) abaixo do limite de detecção.

## **ANEXO 3**

Tabela 1 – Análises isotópicas Sm-Nd de rocha e concentrados minerais das intrusões Rio Crixás e VE3

Tabela 2 – Análises isotópicas U-Pb de cristais de zircão da Intrusão Rio Crixás

Tabela 1 - Dados isotópicos Sm-Nd

Amostra	Rocha / Concentrado Mineral	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{(o)}$	$\epsilon_{(530 \text{ Ma})}$	$T_{\text{DM}}$
<b>Intrusão Rio Crixás</b>								
RC08	Anortosito	0,511	3,676	0,0841	0,511656	-20,29	-11,55	1687
RC13	Gabronorito	17,289	91,030	0,1148	0,511813	-16,09	-10,57	1881
RC15	Leucotroctolito	0,159	0,793	0,1211	0,512001	-12,42	-7,32	1701
RC16	Gabronorito-piroxenito	7,600	28,960	0,1586	0,511950	-13,41	-10,86	* 3061
RC17	Olivina gabronorito	13,514	66,110	0,1236	0,511758	-17,17	-12,24	2161
RC17 pl	Plagioclásio / Ol. gabronorito	1,050	7,049	0,0901	0,511564	-	-	-
RC17 px	Ortopiroxênio / Ol. gabronorito	22,769	124,990	0,1101	0,511704	-	-	-
RC17 apt	Apatita / Olivina gabronorito	259,390	1319,000	0,1189	0,511726	-	-	-
<b>Intrusão VE3</b>								
FVE3-169	Clinopiroxenito	2,124	7,930	0,1619	0,512380	-5,03	** -2,69	* 1929
FVE3-173	Clinopiroxenito	1,170	4,312	0,1640	0,512366	-5,31	** -3,10	* 2056
FVE3-188	Wehrlito	0,711	2,710	0,1585	0,512394	-4,75	** -2,18	* 1770
FVE3-147	Gabro	1,329	4,646	0,1730	0,512425	-4,15	** -2,56	* 2303
FVE3-147pl	Plagioclásio / Gabro	2,173	9,718	0,1351	0,512322	-	-	-
FVE3-147px	Clinopiroxênio / Gabro	1,007	2,727	0,2232	0,512642	-	-	-

\*  $T_{\text{DM}}$  sem significado geológico ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} > 0,14$ ).

\*\* Valor de  $\epsilon_{(530 \text{ Ma})}$  apresentado apenas para efeito comparativo.

Tabela 2 - Dados Isotópicos U-Pb – Intrusão Rio Crixás

Amostra	Massa (mg)	U (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Razão Isotópica Radiogênica						Idades (Ma)			
						$^{207*}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	%	$^{206*}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	%	C. Cor (rho)	$^{207*}\text{Pb}/^{206*}\text{Pb}$	%	$^{206*}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207*}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207*}\text{Pb}/^{206*}\text{Pb}$
<b>Granulito / gabronorito</b>															
RC09-1	0,021	49,917	5,3074	51,82	453,7992	0,688529	2,210	0,086126	2,050	0,937755	0,0579815	0,768	532,58	531,92	529,06
RC09-2 *	0,016	215,560	20,7930	68,01	359,5965	0,764116	2,540	0,093618	2,280	0,913416	0,0591970	1,030	* 576,90	* 576,38	* 574,35
RC09-3 *	0,025	210,550	23,4070	43,53	526,7155	0,818215	1,620	0,099658	1,420	0,889240	0,0595464	0,743	* 612,40	* 607,05	* 587,13
RC09-4	0,036	98,045	9,7067	30,23	1038,403	0,690818	0,788	0,086809	0,689	0,889470	0,0577161	0,360	536,64	533,29	519,00
RC09-5	0,030	144,070	14,5400	36,27	1141,148	0,690097	0,665	0,086529	0,540	0,831800	0,0578424	0,369	534,98	532,86	523,80
RC09-6	0,010	189,110	19,5210	108,80	672,6259	0,676696	1,400	0,085060	1,160	0,850980	0,0571949	0,736	530,69	524,76	499,06
<b>Olivina gabronorito</b>															
RC17-1 *	0,034	63,706	6,3832	32,01	190,3879	0,580138	7,490	0,8358780	4,330	0,641710	0,0503370	5,770	* 517,50	* 464,55	* 210,58
RC17-2	0,022	49,028	5,6824	49,46	158,5755	0,682172	4,130	0,0866954	3,760	0,918649	0,0570685	1,630	535,96	528,09	494,18
RC17-3	0,024	47,737	5,7870	45,34	166,9521	0,662989	4,080	0,0858268	3,580	0,896270	0,0560250	1,810	530,81	516,44	453,36
RC17-4	0,026	41,938	4,8024	41,85	171,9692	0,680999	4,110	0,0864434	3,760	0,923040	0,0571364	1,580	534,47	527,38	496,80
RC17-5	0,024	127,68	12,8170	45,34	450,7342	0,679716	1,660	0,0859194	1,440	0,885200	0,0573766	0,773	531,36	526,60	506,04

\* Cristal não utilizado na concórdia.