

## QUÍMICA MINERAL

---

### 7.1 - METODOLOGIA

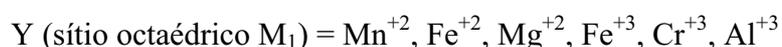
As análises químicas de minerais foram realizadas na Microsonda Eletrônica - CAMECA SX-50 da Universidade de Brasília com potencial de aceleração de 15 kv, corrente de 25 nA e 10 μm de abertura do feixe. Para o cálculo da fórmula estrutural dos minerais foram utilizados principalmente os programas MINFILE (Afifi & Essene, 1988) e MINPET 02 (Richard, 1995).

Foram analisados cristais primários de piroxênios, plagioclásio, espinélio, olivina, anfibólio, mica e sulfetos, objetivando investigar as possíveis variações crípticas ao longo da seqüência estratigráfica ou caracterização químicas destes. As análises foram selecionadas preferencialmente dentro do intervalo de fechamento entre 99 a 101 (% peso).

Nos silicatos o cálculo de *end members* e a confecção dos diagramas de variação composicional foram realizados utilizando-se o número átomos por unidade de fórmula (p.u.f.).

### 7.2 - PIROXÊNIOS

A nomenclatura utilizada para os piroxênios baseou-se em Deer *et. al.* (1978), considerando a sua composição química e ocupação do sítio M<sub>2</sub>, tendo sido calculado os *end member* En, Wo e Fs para evidenciar as suas principais variações químicas. Para o clinopiroxênio foi adotada uma descrição mais detalhada proposta por Poldervaart & Hess (1951, In: Deer, *et. al.*, 1978), objetivando a comparação com as principais referências bibliográficas de complexos acamadados. No cálculo da fórmula estrutural foi considerada a expressão geral:



A fórmula estrutural foi calculada na base de 6 oxigênios e com o  $\text{Fe}^{+3}$  definido estequiometricamente (Robinson, 1980). Para a avaliação da qualidade das análises, foram considerados os critérios de Cameron & Papike (1980). Os *end members* En, Wo e Fs foram calculados a partir do número de cátions na fórmula estrutural considerando respectivamente  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , e  $\text{Fe}^{+2} + \text{Mn}^{+2}$ .

Os grãos analisados correspondem a cristais cúmulus de ortopiroxênio e clinopiroxênio. Nos piroxenitos estes ainda estão bem preservados, enquanto nos gabronoritos o ortopiroxênio frequentemente apresenta-se como porfiroclasto, ao contrário do clinopiroxênio que predomina na forma de neoblastos, apresentando-se como raros porfiroclastos.

As análises dos porfiroclastos foram efetuadas preferencialmente no núcleo dos cristais, uma vez que as bordas originais apresentam-se frequentemente recristalizadas. As amostras foram analisadas para Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Ni, Mg, Ca, Na e K.

## 7.2.1 - CLINOPIROXÊNIO

### 7.2.1.1. - ANÁLISE DE CLINOPIROXÊNIO DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

Foram selecionadas 31 amostras de diferentes níveis estratigráficos do Complexo de Cana Brava (média de 2 cristais por amostra e 3 análises por grão), sendo consideradas somente as determinações do núcleo dos grãos, totalizando 159 análises.

Os resultados de análises representativas de clinopiroxênio, com as respectivas fórmulas estruturais, encontram-se na tabela A.1 (anexo).

Os cristais analisados classificam-se como clinopiroxênios cálcicos (Deer *et. al.*, 1978), posicionando-se no diagrama de Poldervaart & Hess (1951, In: Deer *et. al.*, 1978), preferencialmente nos campos de diopsídio-salita e mais restritamente do endiopsídio-augita. Os *end members* para todas as amostras do complexo são de:  $\text{En}_{35,4} : \text{Fs}_{21,6} : \text{Wo}_{43,0}$  a  $\text{En}_{49,0} : \text{Fs}_{5,5} : \text{Wo}_{45,5}$ .

Os cátions  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , calculados na base de 6 oxigênios, apresentam-se dentro do intervalo médio de variação dos clinopiroxênios cálcicos (Robinson, 1980), ao contrário do  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Ti}^{+4}$  que, mostram valores predominantemente mais elevados. O  $\text{Ni}^{+2}$  e  $\text{K}^{+1}$  possuem concentrações irregulares e provavelmente próximas ao limite de detecção.

O clinopiroxênio de piroxenitos e gabronoritos apresenta distintos valores de  $\text{Cr}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  (fig.7.1). Nos piroxenitos o clinopiroxênio possui a moda dos resultados com valores mais elevados em  $\text{Cr}^{+3}$ , enquanto nos gabronoritos a moda da concentração de  $\text{Mn}^{+2}$  mostrou-se mais elevada.

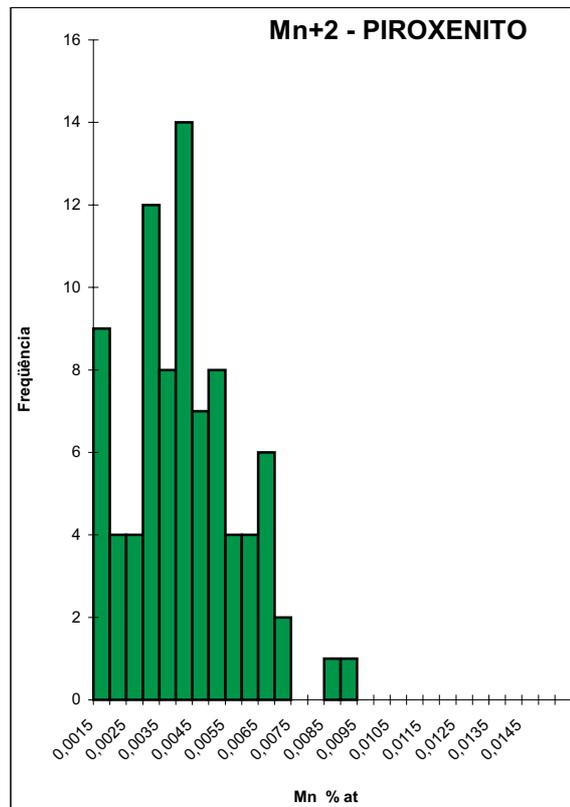
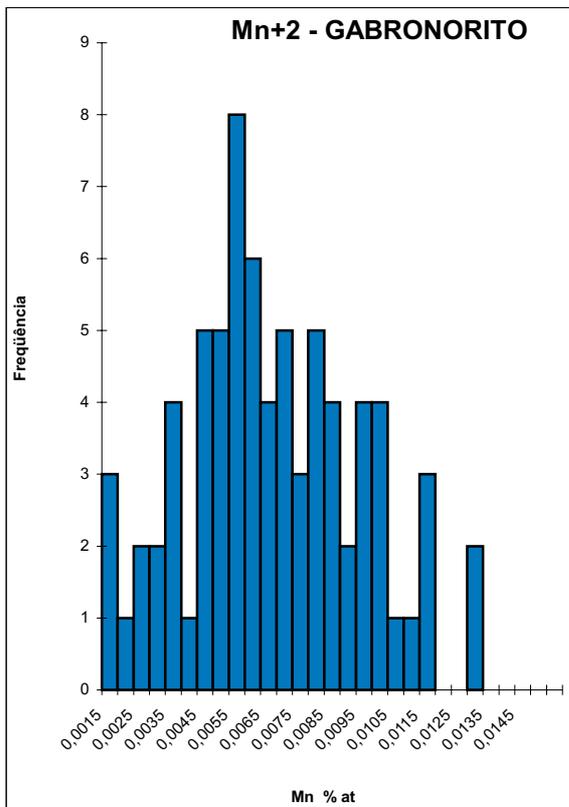
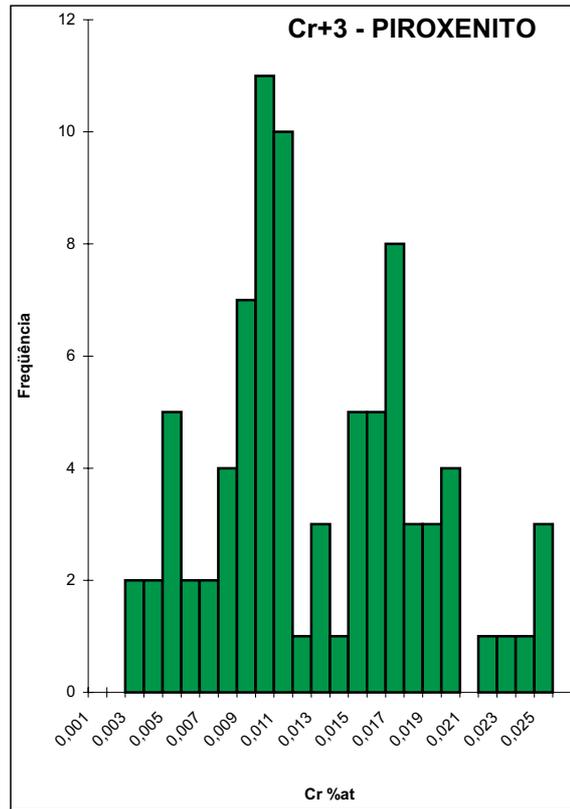
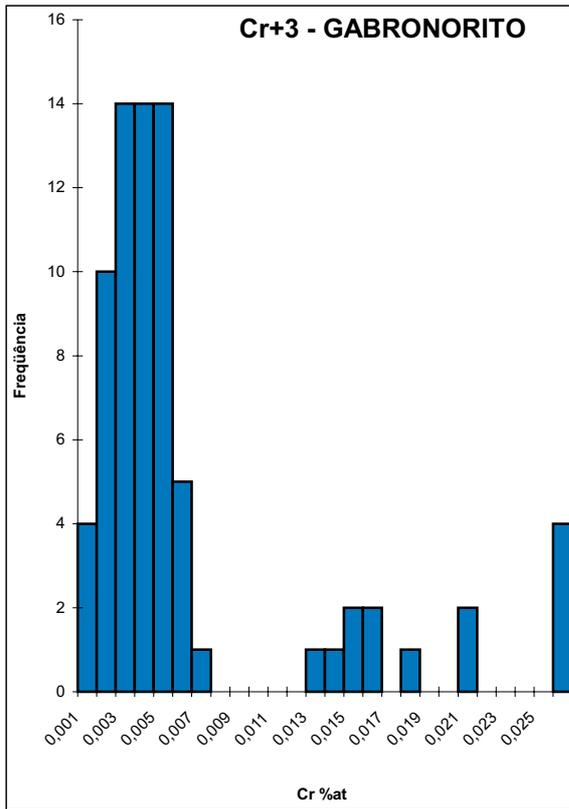


Figura 7.1 - Variações nas concentrações de Cr e Mn nos CLINOPIROXÊNIOS de gabronorito e piroxenito do Complexo de Cana Brava. Nos diagramas representa-se a frequência absoluta (numero de grãos analisados). Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

As variações composicionais do clinopiroxênio ao longo da seção estratigráfica são mostradas na figura 7.2.

#### 7.2.1.1.1 - Variações composicionais do clinopiroxênio na Zona Máfica Inferior (ZMI)

##### ***Gabronorito***

A amostragem e análise do clinopiroxênio em gabronorito ao longo desta zona foi descontínua, devido à ausência de cristais primários, decorrente da intensa deformação que esta unidade sofreu, principalmente na sua porção basal. Os grãos de clinopiroxênio de gabronorito apresentam-se como diopsídio, salita ou augita (fig.7.3 A) e com *end members* que variam de  $\text{En}_{45,4}:\text{Fs}_{4,4}:\text{Wo}_{50,2}$  até  $\text{En}_{35,4}:\text{Fs}_{21,6}:\text{Wo}_{43,0}$ .

Na porção basal desta unidade (ZMI-SB) são observadas inversões composicionais do clinopiroxênio presentes a 200 metros da base do complexo em relação à aqueles dispostos imediatamente acima (olivina-melagabronorito), caracterizadas por aumento na razão MMF,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e diminuição de  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  e  $\text{Al}^{+3}$  (fig. 7.2).

Na subzona ZMI-2 foi observada uma contínua diminuição da razão MMF e  $\text{Cr}^{+3}$ , acompanhada por um aumento de  $\text{Mn}^{+2}$ , evidenciando uma significativa variação críptica do clinopiroxênio no topo da ZMI. Quando considerada a variação da razão MMF,  $\text{Cr}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  no clinopiroxênio de gabronorito ao longo de toda seqüência estratigráfica da ZMI, observa-se o predomínio de um suave e contínuo *trend* de diferenciação em direção ao topo da ZMI.

##### ***Piroxenito***

Foram analisados grãos de clinopiroxênio de dois membros piroxeníticos, sendo que as análises se localizam preferencialmente no campo da salita e diopsídio. Estas apresentam composições de  $\text{En}_{44,6}:\text{Fs}_{6,6}:\text{Wo}_{48,8}$  até  $\text{En}_{42,8}:\text{Fs}_{9,1}:\text{Wo}_{48,1}$ , respectivamente nos membros ZMI-P1 e ZMI-P2 (fig. 7.3 B).

O nível piroxenítico basal ZMI-PI apresenta clinopiroxênio com os mais elevados valores de  $\text{Na}^{+1}$  e razão MMF (Fig.7.2), indicando representarem provavelmente termos menos diferenciados.

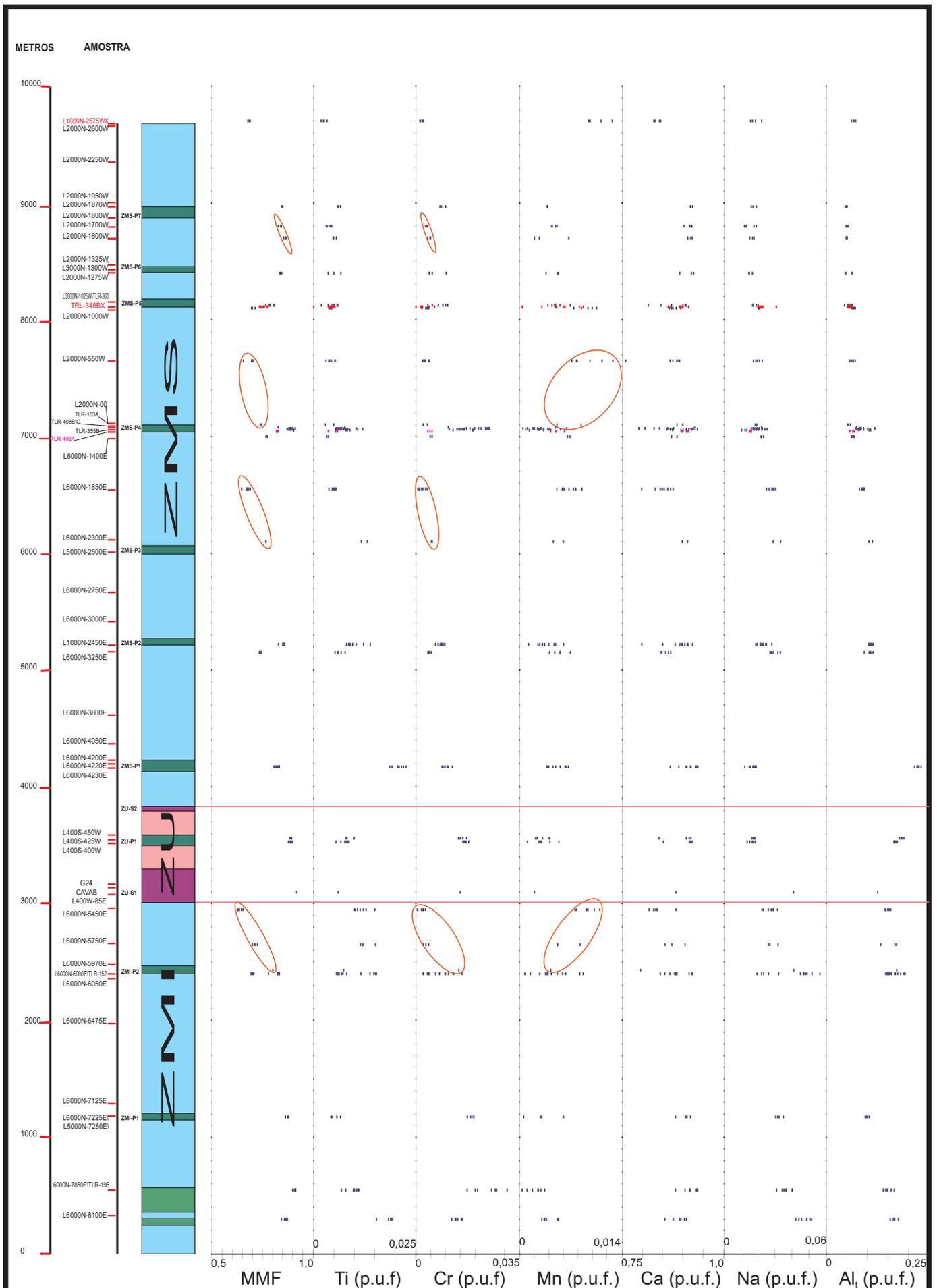


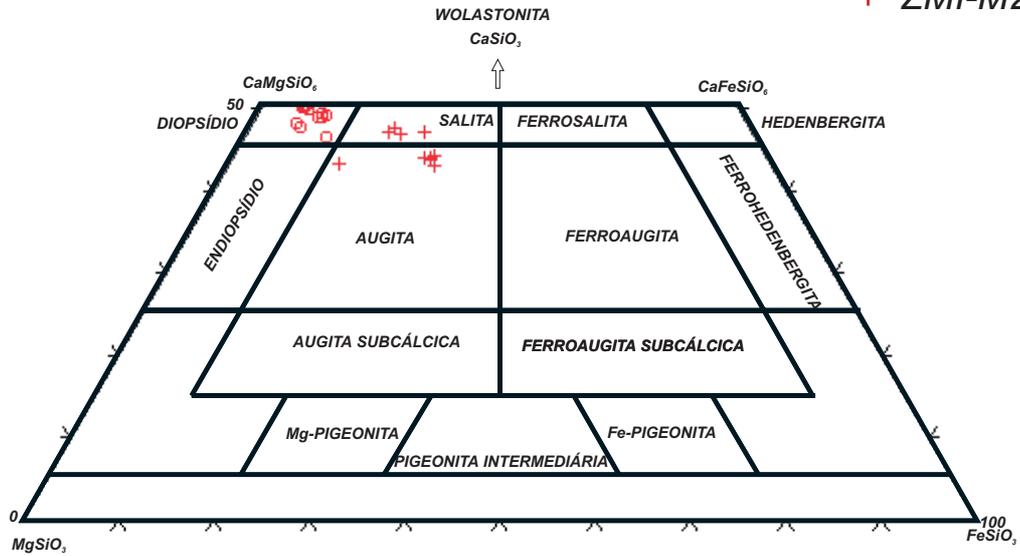
Figura 7.2- Variação composicional do CLINOPIROXÊNIO, ao longo da seqüência estratigráfica do Complexo de Cana Brava. TLR-348X e L1000N-2575BWX xenólitos nas Intrusões Noríticas. TLR-403A- autólito no Membro ZMS-P4. Os elementos encontram-se segundo a fórmula estrutural, calculada na base de 6 oxigênios.

*Trend de variação críptica do clinopiroxênio*

**A****GABRONORITO - ZMI**

○ ZMI-SBU

+ ZMI-M2

**B****PIROXENITO-ZMI**

+ ZMI-P1

○ ZMI-P2

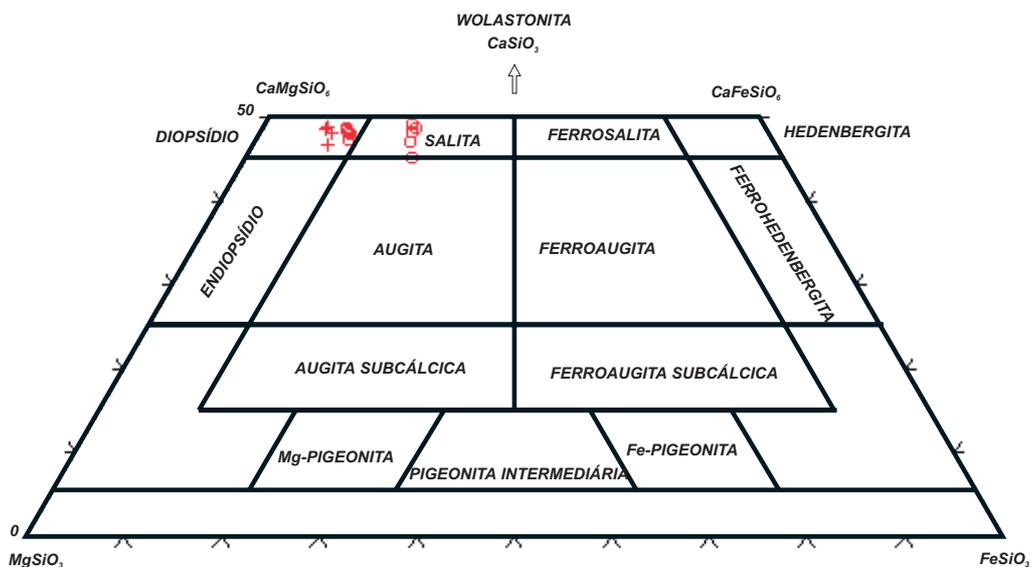


FIGURA 7.3 - Classificação de CLINOPIROXÊNIO de gabronorito e piroxenito da Zona Máfica Inferior (ZMI) - Complexo de Cana Brava. A) clinopiroxênio de gabronorito da ZMI B) clinopiroxênio de piroxenito da ZMI. Nomenclatura do clinopiroxênio no sistema  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , segundo Poldervaart & Hess (1951, In: Deer, et. al., 1978).

### 7.2.1.1.2 - Variação composicional do clinopiroxênio na Zona Ultramáfica (ZU)

#### *Peridotito e piroxenito*

Nesta unidade foram considerados os clinopiroxênios presentes em peridotito (analisados por Girardi & Kurat, 1982 e provavelmente pertencente a ZU-S1) e em piroxenito da ZU-P1. Os resultados obtidos se distribuem homogeneamente no campo do diopsídio, variando entre  $En_{47,6}:Fs_{4,3}:Wo_{48,1}$  (peridotitos) a  $En_{47,5}:Fs_{6,8}:Wo_{45,7}$  (piroxenitos) (fig. 7.4). O clinopiroxênio da ZU apresenta altos valores de MMF e  $Cr^{+3}$ . O clinopiroxênio do peridotito mostra composição semelhante à obtida para os litotipos na base da ZMI.

### 7.2.1.1.3 - Variação composicional do clinopiroxênio na Zona Máfica Superior (ZMS)

#### *Gabronorito*

O clinopiroxênio de gabronorito da Zona Máfica Superior caracteriza-se por apresentar vários *trends* de enriquecimento da molécula de Fs (para cada subzona estratigráfica), com termos gradacionando de diopsídio → salita → augita (fig.7.5 A). Nesta unidade são encontrados *end members* com  $En_{45,2}:Fs_{7,3}:Wo_{47,5}$  a  $En_{37,5}:Fs_{20,7}:Wo_{41,8}$ .

Mostra ainda heterogeneidade composicional ao longo da seqüência estratigráfica onde são observadas, em algumas subzonas, sistemáticas interrupções nas variações da razão MMF,  $Cr^{+3}$  e  $Mn^{+2}$ , coincidentes com a presença dos membros piroxeníticos (fig. 7.2).

Nas subzonas ZMS-3, ZMS-4 e ZMS-6 as amostras presentes a partir da base até o topo de cada membro máfico apresentam uma contínua diminuição da razão MMF e  $Cr^{+3}$ , acompanhada do aumento de  $Mn^{+2}$ .

No Membro ZMS-M6 a razão MMF mostra-se mais elevada do que no Membro Piroxenítico ZMS-P6, provavelmente iniciando um novo *trend* de variação críptica a partir da porção intermediária do Membro ZMS-M6.

Estas variações composicionais podem indicar pequenos e repetidos *trends* de diferenciação magmática coincidentes com uma seqüência de piroxenito e gabronorito.

As amostras posicionadas no topo dos membros ZMS-M3 e ZMS-M4 apresentam inversões no comportamento da razão MMF,  $Cr^{+2}$  e  $Mn^{+2}$ , similares aos observados no topo de algumas unidades cíclicas, principalmente das zonas ultramáficas dos complexos de Bushveld (Cawthorn *et al.*, 1991), Great Dyke (Wilson,1982), Jimberlana (Campbell,1977) e Rhum (Wager & Brown,1968).

## PIROXENITO/PERIDOTITO - ZU

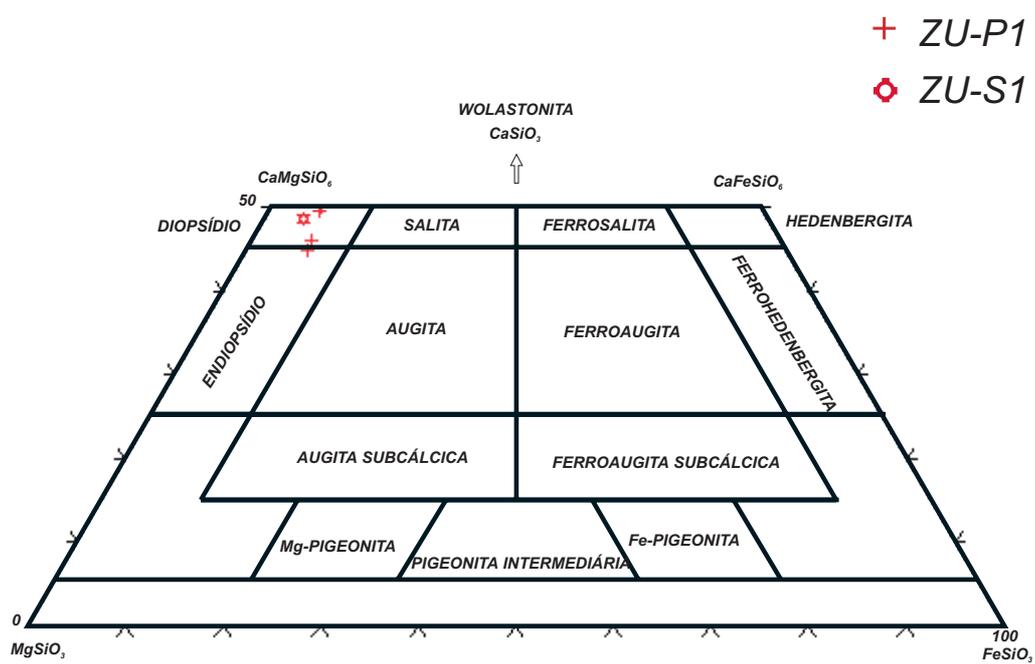
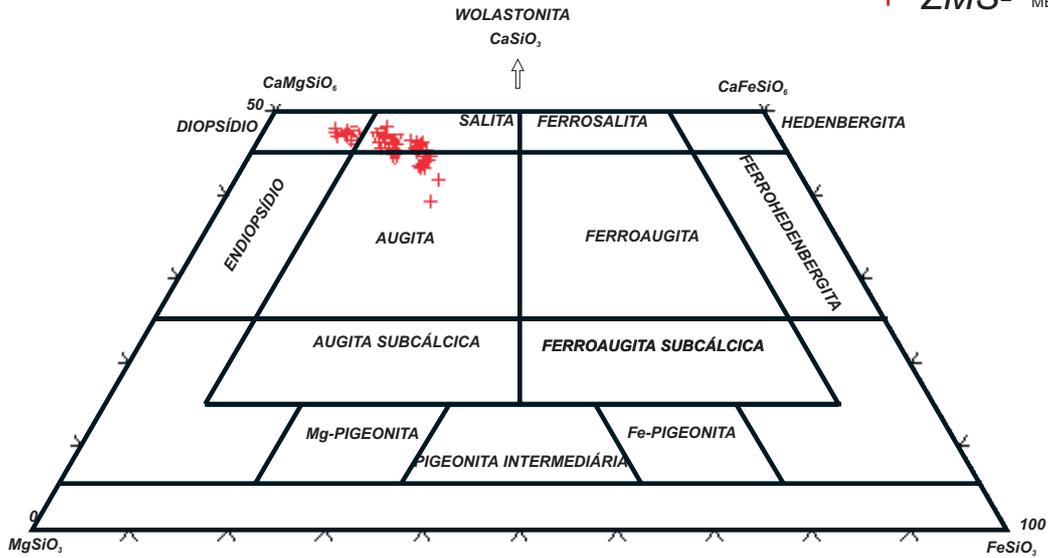


FIGURA 7.4 - Classificação de CLINOPIROXÊNIO de peridotito/piroxenito da Zona Ultramáfica (ZU) - Complexo de Cana Brava. Nomenclatura dos clinopiroxênios no sistema  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , segundo Poldervaart & Hess (1951, In: Deer, *et. al.*, 1978).

A

## GABRONORITO - ZMS

+ ZMS- MEMBROS MÁFICOS



B

## PIROXENITO-ZMS

+ ZMS MEMBROS PIROXENÍTICOS

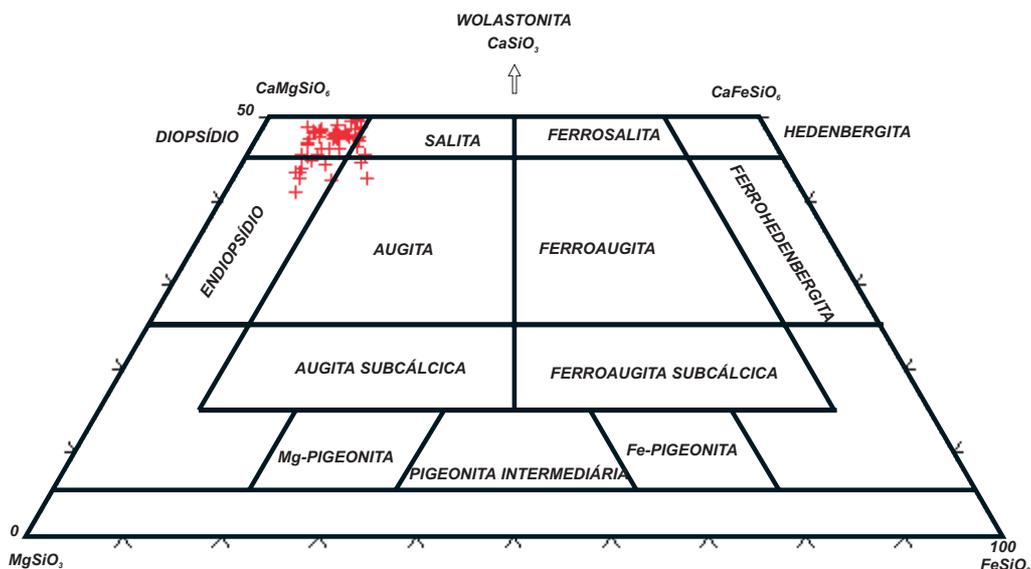


FIGURA 7.5 - Classificação do CLINOPIROXÊNIO de gabronorito e piroxenito da Zona Máfica Superior (ZMS) - Complexo de Cana Brava. A) clinopiroxênio de gabronorito da ZMS B) clinopiroxênio de piroxenito da ZMS. Nomenclatura de clinopiroxênio no sistema  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , segundo Poldervaart & Hess (1951, in: Deer, *et. al.*, 1978).

Campbell (1977) considerou estas variações como decorrentes da entrada de novos pulsos de magma produzindo, na interface de alojamento destes, modificações na sua composição devido à mistura com um líquido mais diferenciado em fase de cristalização.

Nos autólitos de gabronorito, presentes no Membro Piroxenítico ZMS-P4, o grãos de clinopiroxênio apresentam razões MMF mais elevadas do que nas amostras do Membro ZMS-M3, posicionadas imediatamente abaixo (50 metros). Possivelmente representem fragmentos de cumulatos menos diferenciados.

### ***Piroxenito***

A composição do clinopiroxênio de piroxenito concentra-se preferencialmente no campo do diopsídio e com poucas amostras no campo do endiopsídio (fig.7.5 B), mostrando composições que variam de  $En_{49,0}:Fs_{5,5}:Wo_{45,5}$  até  $En_{42,5}:Fs_{12,0}:Wo_{45,5}$ .

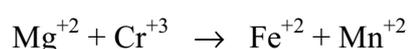
Nos diferentes membros piroxeníticos da ZMS é observada grande variação composicional no clinopiroxênio, sendo que somente o  $Mn^{+2}$  e  $Cr^{+3}$  apresentam boas correlações com a razão MMF (fig. 7.2).

No Membro ZMS-P4 verificam-se os mais altos valores da razão MMF e  $Cr^{+3}$ , enquanto no Membro ZMS-P-5 são observadas as mais altas concentrações de  $Mn^{+2}$ , acompanhadas de baixas razões MMF. Localmente desenvolvem-se pequenos *trends* na diminuição do MMF em direção a posições estratigráficas mais elevadas (ZMS-P4 → ZMS-P5).

#### **7.2.1.1.4 - Substituições cristal químicas**

Os cristais de clinopiroxênio de gabronorito e piroxenito apresentam as principais substituições cristal químicas associadas às variações de  $Fe^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  e  $Cr^{+3}$ . As variações de  $Fe^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  foram estimadas pela razão MMF ( $Mg^{+2}/Mg^{+2}+Fe^{+2}$ ) que evidenciam correlação positiva com o  $Cr^{+3}$  e negativa com o  $Mn^{+2}$  (figs. 7.6 e 7.8). Comportamento geoquímico semelhante foi observado nas intrusões de Niquelândia (Ferreira Filho,1995), Jimberlana (Campbell & Borley,1974) e no Complexo de Bushveld (Atkins,1969), as quais ainda apresentam boas correlações da razão MMF com  $Na^{+}$  e  $Al^{+3}$ .

Estas variações composicionais no clinopiroxênio do Complexo de Cana Brava estão associadas a substituições no sítio octaédrico  $M_1$ , que podem ser expressas pela relação:



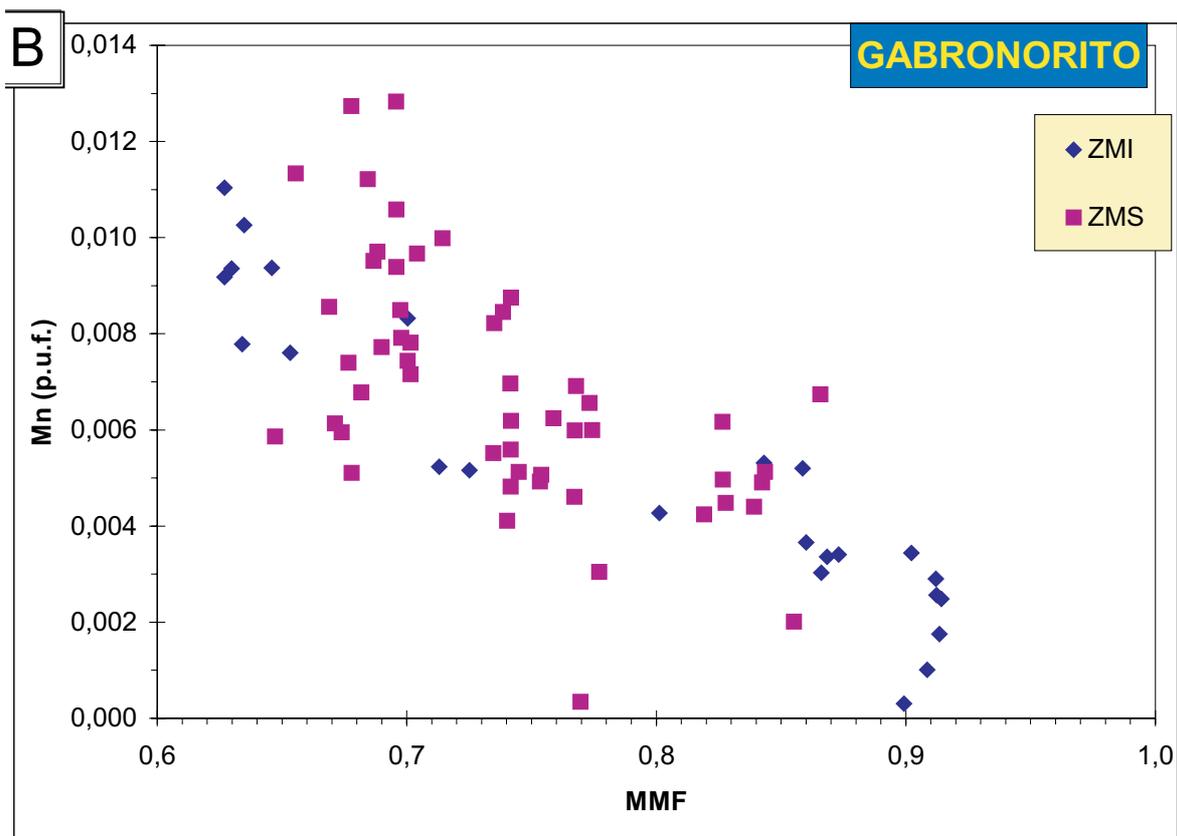


Figura 7.6 - Principais variações dos elementos menores em CLINOPIROXÊNIOS de gabronorito do Complexo de Cana Brava.

**A)** Diagrama  $Cr^{+3}$  x MMF    **B)** Diagrama  $Mn^{+2}$  x MMF.

Razão MMF =  $(Mg^{+2}/Mg^{+2} + Fe^{+2})$ . Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

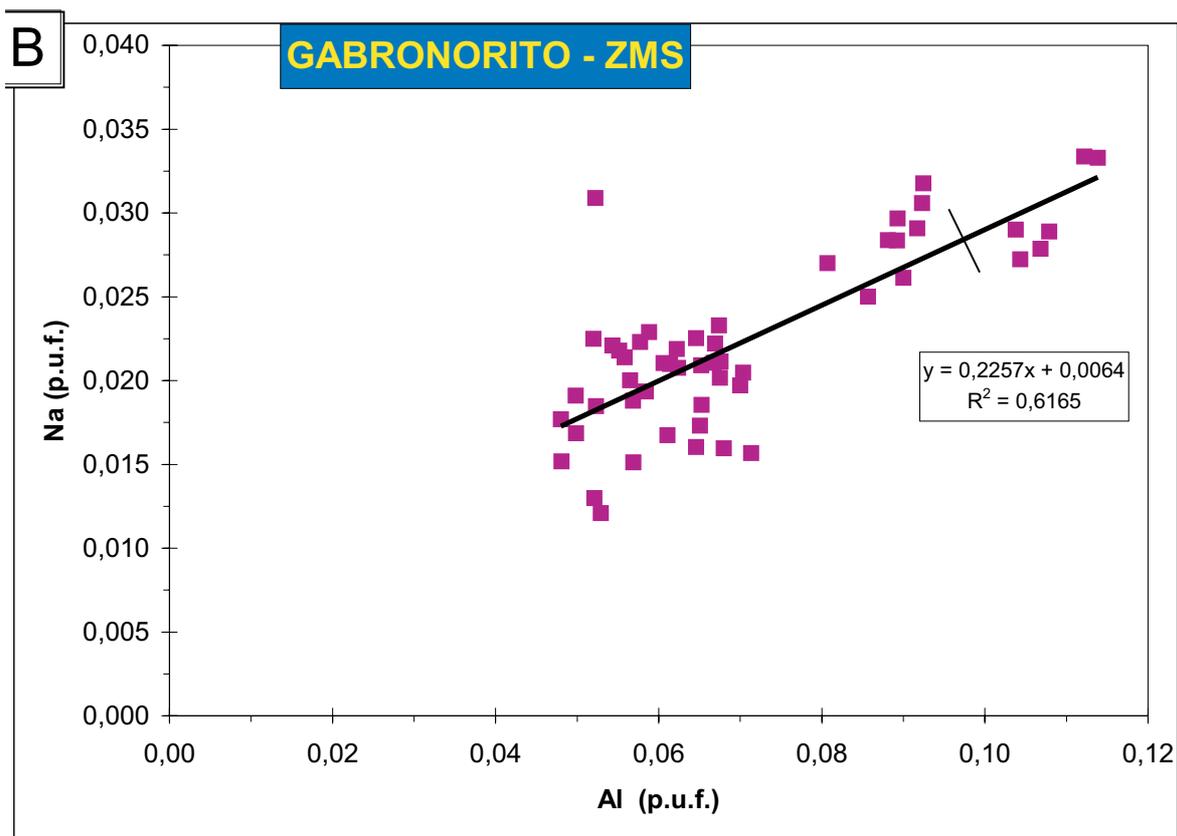


Figura 7.7 - Substituições de elementos nos sítios octaédricos M1 e M2 dos CLINOPIROXÊNIOS de gabronorito do Complexo de Cana Brava.

**A)** Diagrama  $Ca^{+2} \times Fe^{+2}$       **B)** Diagrama  $Al^{+3} \times Na^{+1}$  de GABRONORITO da ZMS.  
Elementos calculados na base de 6 oxigênios

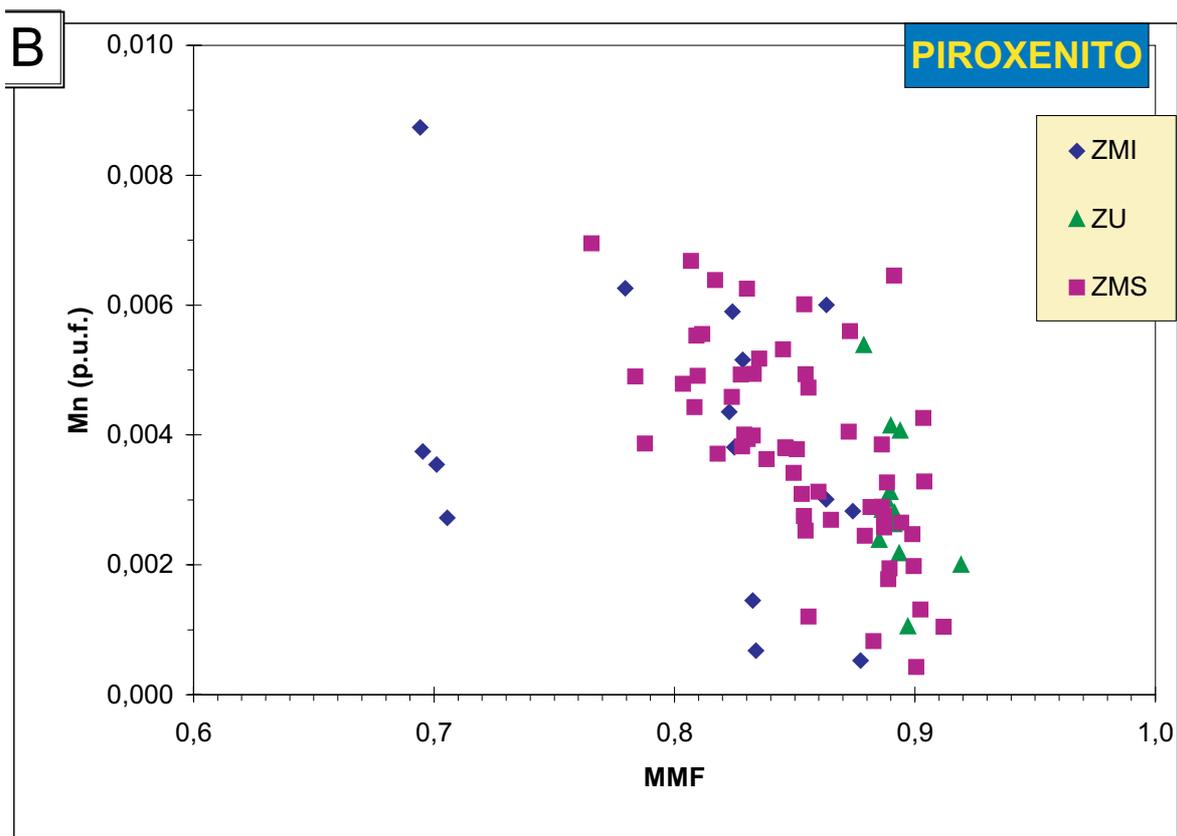


Figura 7.8 - Principais variações dos elementos menores em CLINOPIROXÊNIOS de piroxenito do Complexo de Cana Brava.

**A)** Diagrama  $\text{Cr}^{+3}$  x MMF , **B)** Diagrama  $\text{Mn}^{+2}$  x razão MMF.

Razão  $\text{MMF} = (\text{Mg}^{+2} / \text{Mg}^{+2} + \text{Fe}^{+2})$ . Elementos calculados na base de 6 oxigênios .

A saída do  $\text{Cr}^{+3}$  aparentemente não foi acompanhada da substituição de  $(\text{Al}^{+3})^{\text{IV}}$  por  $(\text{Si}^{+4})^{\text{IV}}$ , a fim de se obter o balanceamento de cargas. A saída de  $\text{Ca}^{+2}$  do sítio  $\text{M}_2$  concomitante à entrada do  $\text{Fe}^{+2}$  do sítio  $\text{M}_1$ , está restrita às amostras de gabronorito (Fig. 7.7A).

Nos gabronoritos da ZMS foi observada substituição simultânea do  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Na}^{+1}$  (Fig.7.7 B), indicando uma compensação de cargas pela entrada de  $\text{Na}^{+1}$ . Este fato indica portanto que o equilíbrio de carga foi alcançado provavelmente pela entrada de íons monovalentes e não necessariamente e somente por substituições com íons trivalentes na posição octaédrica  $\text{M}_1$ , como sugerido pela baixa correlação do  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Cr}^{+3}$  neste litotipo.

#### 7.2.1.1.5 - Variação composicional do clinopiroxênio em complexos acamadados

O Complexo de Bushveld (von Grunewaldt *et. al.*, 1985) apresenta como principais unidades estratigráficas: a) Zona Marginal, b) Zona Inferior, c) Zona Crítica (Superior e Inferior), d) Zona Principal e e) Zona Superior.

Neste complexo o clinopiroxênio e o plagioclásio ocorrem como cristais cúmulus coexistindo com o ortopiroxênio a partir da Zona Crítica Superior (onde inicia-se o predomínio de rochas máficas), até próximo (600 metros) do topo do complexo. Atkins (1969) observou uma contínua variação da composição do clinopiroxênio, caracterizada pela cristalização de augita, ferroaugita e finalmente (no topo da Zona Superior) ferrohedenbergita, onde os *end members* variam de  $\text{En}_{47} : \text{Fs}_9 : \text{Wo}_{44}$  até  $\text{En}_1 : \text{Fs}_{57} : \text{Wo}_{42}$ . Na Zona Inferior, onde predominam rochas ultramáficas, este ocorre como cristais pós-cúmulus de endiopsídio com composição  $\text{En}_{50} : \text{Fs}_5 : \text{Wo}_{45}$ . Atkins (1969) associou esta variação composicional a um contínuo processo de diferenciação magmática, embora tenham sido observadas inúmeras recomposições da molécula de En, indicando a entrada de repetidos pulsos de magma.

Atkins (1969) ainda descreveu que durante o fracionamento do clinopiroxênio do Complexo de Bushveld, este sofreu uma forte depleção de Cr e Ni associada principalmente à passagem da unidade ultramáfica para à unidade máfica. Estas variações foram acompanhadas pelo decréscimo de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Na}^{+1}$ , ao contrário de  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+2}$  que mostraram enriquecimento simultâneo. O  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$  e  $\text{Ba}^{+2}$  apresentaram concentrações aproximadamente uniformes.

Ferreira Filho (1995) observou no Complexo de Niquelândia clinopiroxênio de gabronorito, com variação composicional predominantemente de diopsídio a augita, onde o termo mais fracionado apresenta *end member*  $\text{En}_{32} : \text{Fs}_{21} : \text{Wo}_{47}$ . O clinopiroxênio em algumas posições estratigráficas mostra-se enriquecido na molécula de En, ao que sugeriu a presença de intermitentes entradas de novos pulsos de magma.

No Complexo de Niquelândia as diminuições simultâneas e contínuas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e da razão MMF no clinopiroxênio de gabronorito e piroxenito, ressaltam um *trend* geral de diferenciação a partir da Unidade Ultramáfica até o topo da Unidade Máfica Central de Oeste. O  $\text{MnO}$  apresenta um comportamento inverso, acompanhando o enriquecimento de  $\text{FeO}$  no clinopiroxênio.

Ferreira Filho (1995) observou que os grãos de clinopiroxênio da Unidade Máfica de Leste, similar à ZMI do Complexo de Cana Brava, exibem composições intermediárias às obtidas nas unidades máficas à oeste. Considerou esta unidade como um *grupo de borda*, onde se desenvolveram os primeiros cumulos da câmara magmática.

A Intrusão de Skaergaard (Wager & Brown, 1968) foi subdividida em três principais unidades a) Série Marginal de Borda, b) Série Acamadada e c) Série de Borda Superior, apresentando termos predominantemente máficos (olivina-gabro e gabronorito).

Nesta intrusão o clinopiroxênio da Série Acamadada (Wager & Brown, 1968) e da Série Marginal de Borda (Hoover, 1989) mostra variações composicionais semelhantes. Predomina augita que varia de  $\text{En}_{47}:\text{Fs}_{12}:\text{Wo}_{41}$  a  $\text{En}_{09}:\text{Fs}_{50}:\text{Wo}_{41}$  e onde foi observado aumento de  $\text{Al}^{\text{IV}}$  sincrônico ao  $\text{Fe}^{+2}$ . Entretanto para as amostras da Série Marginal de Borda o clinopiroxênio possui termos mais ricos na molécula de enstatita.

Na região de contato da Zona Marginal de Borda com a unidade encaixante (um intervalo de 5-10 metros do contato), foi observada uma inversão composicional do clinopiroxênio representada por um aumento na molécula de diopsídio de  $\text{Di}_{60-67}$  para  $\text{Di}_{70-78}$ .

A Intrusão de Jimberlana (Campbell & Borley, 1974) é formada por três principais unidades: Série Marginal, Série Acamadada Inferior e Série Acamadada Superior. Nas zonas ultramáficas destas últimas, o clinopiroxênio ocorreu como uma fase pós-cúmulus, passando para cúmulus a partir de suas zonas gabróicas e apresentando uma diminuição de  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$  e  $\text{Na}^{+1}$  com o aumento de  $\text{Fe}^{+2}$ .

Campbell & Borley (1974) associaram à maior concentração de  $\text{Cr}^{+3}$  à presença de  $\text{Al}^{+3}$ , considerando ainda que a forte depleção de  $\text{Al}^{+3}$  a partir do contato das unidades ultramáfica e máfica, evidenciaria o controle da cristalização do plagioclásio na disponibilidade de  $\text{Al}^{+3}$  no sistema e conseqüentemente na entrada da estrutura dos piroxênios. Segundo estes autores o  $\text{Na}^{+1}$  particionou para o clinopiroxênio devido à maior capacidade de acomodação em sua estrutura, em relação ao ortopiroxênio, mostrando também uma relação direta com o balanceamento de cargas com o  $\text{Cr}^{+3}$ .

O  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Ti}^{+4}$  mostraram uma correlação positiva com o  $\text{Fe}^{+2}$ , enriquecendo-se nas fases finais de cristalização do magma da Intrusão de Jimberlana.

Nas unidades máficas a concentração dos elementos foi controlada pelo declínio de temperatura, constituindo um sistema fechado, a exemplo das unidades máficas da Intrusão de Skaergaard (Campbell & Borley, 1974).

Concluindo, a composição do clinopiroxênio do Complexo de Cana Brava assemelha-se à observada em outros complexos acamadados. Este mostra ainda vários pequenos *trends* de variação críptica análogos aos encontrados em unidades cíclicas. É interessante notar que o clinopiroxênio apresenta genericamente os mesmos padrões de fracionamento e variação composicional observados nas unidades máficas e ultramáfica do Complexo de Niquelândia.

#### 7.2.1.1.6 - Associações petrogenéticas

Kushiro (1960) admitiu uma relação genética das proporções atômicas de Si, Al e  $Ti^{+4}$  dos clinopiroxênio com os tipos de magma, com os quais estava em equilíbrio no momento de sua cristalização. Desta forma individualizou os campos de clinopiroxênio derivado de magmas toleííticos (basaltos toleííticos, diabásios, gabros e andesitos), magma alcalino sem feldspatóides e magma alcalino com feldspatóides.

Associou para o caráter mais saturado em  $SiO_2$  dos magmas toleííticos, uma maior concentração de  $Si^{+4}$  no clinopiroxênio. Este fato permitiria uma menor substituição por  $Al^{IV}$ , condicionando também a entrada de  $Ti^{+4}$  na posição octaédrica  $M_1$ . Desta forma sugeriu os diagramas de  $Al^{+3} \times Si^{+4}$  e  $Al^{+3} \times Ti^{+4}$  para o clinopiroxênio associando-os com os principais tipos de magmas.

O clinopiroxênio do Complexo de Cana Brava apresenta-se dentro do campo dos basaltos toleííticos nos dois diagramas propostos por Kushiro (1960) (Fig.7.9 A/B).

LeBas (1962) considerou também que o conteúdo de  $Al^{+3}$  do clinopiroxênio poderia definir a filiação magmática deste, assim utilizou os diagramas  $SiO_2 \times Al_2O_3$  (% peso) e  $TiO_2$  (% peso) x  $Al_z$  (onde  $Az = Al^{IV} * 100/2$ ) para melhor definir os campos de classificação propostos por Kushiro (1960), redefinindo-os como magmas alcalinos normais, peralcalinos e não alcalinos (basaltos toleíitos, cálcio-alcalinos e de alto Al).

Nos dois diagramas propostos por LeBas (1962) a composição do clinopiroxênio do Complexo de Cana Brava, enquadra-se no campo das rochas não alcalinas (Fig.7.9 C/D), o que é também corroborado pelos seus baixos valores de  $TiO_2$  (< 1%).

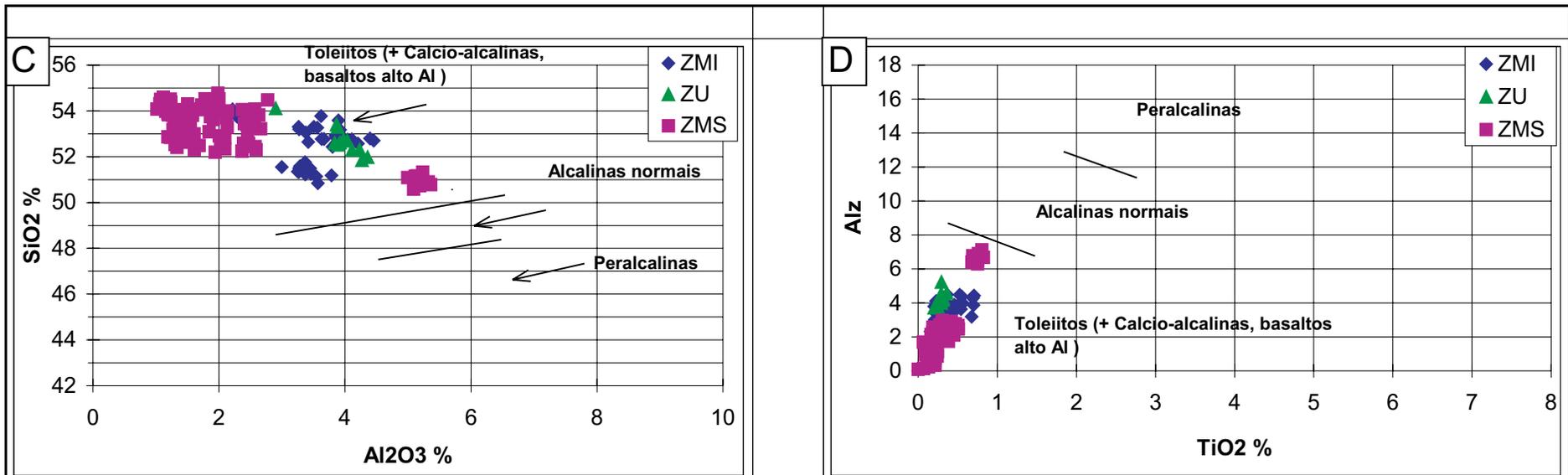


Figura 7.9 - Classificação dos magmas saturados e insaturados em sílica a partir da composição de clinopiroxênio no Complexo de Cana Brava Diagramas A e B (Kushiro, 1960); C e D (LeBas, 1962). Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

## 7.2.2 - ORTOPIROXÊNIO

### 7.2.2.1 - ANÁLISE DO ORTOPIROXÊNIO DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

No Complexo de Cana Brava os grãos de ortopiroxênio foram melhor preservados da deformação, razão pela qual foi realizado um maior número de análises, que objetivaram investigar os processos de fracionamento magmático no complexo. Assim foram analisados dois a três grãos (duas a três determinações de núcleo, por grão) em 42 amostras, que totalizaram 218 análises. Para a ZU foi considerada adicionalmente a análise em peridotito (amostra G-24) efetuada por Girardi & Kurat (1982), a fim de se obter uma melhor representatividade na amostragem desta unidade.

Os grãos de ortopiroxênio no Complexo de Cana Brava mostram *end members* que variam de  $\text{En}_{87,6}:\text{Fs}_{11,8}:\text{Wo}_{0,6}$  a  $\text{En}_{50,9}:\text{Fs}_{47,4}:\text{Wo}_{1,7}$ . As amostras mais ricas na molécula de Fs situam-se abaixo do campo composicional da pigeonita, indicando provavelmente representarem pigeonita invertida, apesar de terem sido observadas exsoluções somente em (001).

Os resultados de análises representativas, com as respectivas fórmulas estruturais, são apresentados na tabela A.2 (anexo). As variações de composição do ortopiroxênio ao longo da seqüência estratigráfica encontram-se na figura 7.10.

#### 7.2.2.1.1 - Variação composicional do ortopiroxênio da Zona Máfica Inferior (ZMI)

##### *Gabronorito*

Nesta unidade a amostragem dos grãos de ortopiroxênio apresentou-se descontínua, devido à baixa preservação de cristais cúmulus, principalmente na base do complexo. Estes apresentam composições que variam de  $\text{En}_{85,2}:\text{Fs}_{14,5}:\text{Wo}_{0,3}$  a  $\text{En}_{50,9}:\text{Fs}_{47,4}:\text{Wo}_{1,7}$  (fig. 7.11 A).

Na base da unidade é verificado no ortopiroxênio um aumento da razão MMF em direção à camada de olivina-melagabronorito, definindo uma padrão inverso de variação críptica (fig.7.10). Semelhante fato foi observado para as composições de clinopiroxênio e plagioclásio.

Na unidade ZMI-2, representando o topo desta zona, é observada uma contínua diminuição na razão MMF, acompanhada de um aumento de  $\text{Mn}^{+2}$ , ressaltando o fracionamento magmático no topo da ZMI.

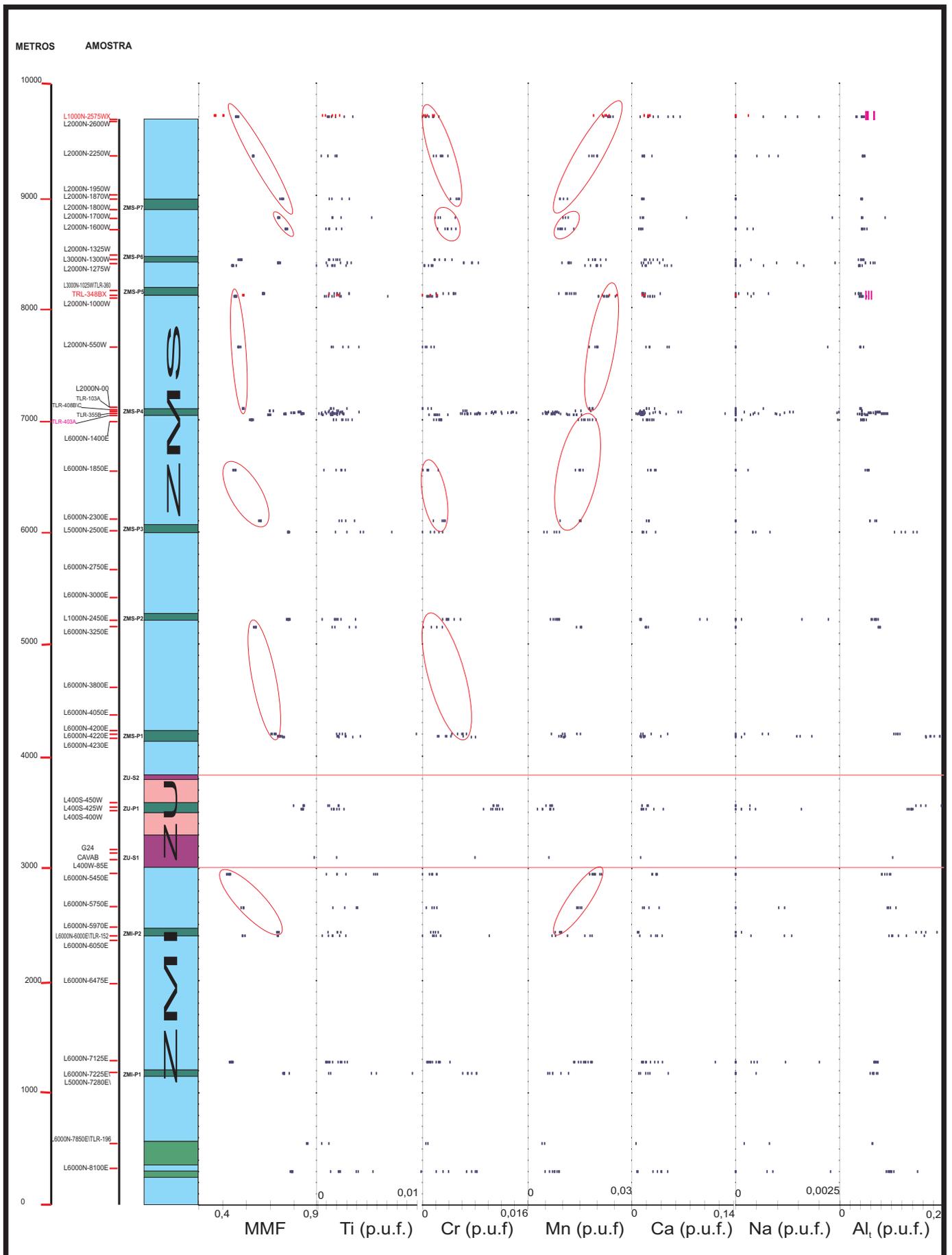


Figura 7.10 - Variação composicional do ORTOPIROXÊNIO, ao longo da seqüência estratigráfica do Complexo de Cana Brava. TLR-348XL1000N-2575BWx -xenólitos presentes nas Intrusões Noríticas. TLR-403A - autólitos no Membro Piroxenítico ZMS-P4. Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

*Trend de variação críptica do ortopiroxênio*

Na amostra localizada na base do Membro ZMI-1, com uma textura predominantemente granoblástica, observa-se os mais baixos valores da razão MMF no complexo, diferindo do padrão das amostras adjacentes a esta. Estes cristais analisados apresentam-se pequenos, podendo ter sofrido possíveis reequilíbrios composicionais, devido à intensa deformação\metamorfismo a que foram submetidos.

A razão MMF apresenta correlação positiva com  $Cr^{+3}$  e negativa com  $Mn^{+2}$ . Os demais elementos apresentaram uma grande dispersão dos dados ou valores próximos do limite de detecção.

### ***Piroxenito***

As composições dos grãos de ortopiroxênio nos membros piroxeníticos variam de  $En_{73,3}:Fs_{22,2}:Wo_{0,5}$ , (ZMI-P1) a  $En_{64,4}:Fs_{24,2}:Wo_{11,4}$ , (ZMI-P2) (fig. 7.11 B). No Membro ZMI-P2 os grãos de ortopiroxênio apresentam composições preferencialmente distribuídas abaixo de campo de estabilidade da pigeonita, representando provavelmente pigeonita invertida. Para uma melhor avaliação da composição original seriam necessárias análises de suas lamelas de exsolução.

O ortopiroxênio apresenta uma diminuição da razão MMF e do  $Cr^{+3}$ , sincrônica ao aumento do  $Mn^{+2}$  em direção ao Membro ZMI-P2 (fig. 7.10). Neste membro os cristais de ortopiroxênio mostram os mais altos valores da molécula de Fs, em relação aos outros membros piroxeníticos do Complexo de Cana Brava.

#### **7.2.2.1.2 - Variação composicional do ortopiroxênio da Zona Ultramáfica (ZU)**

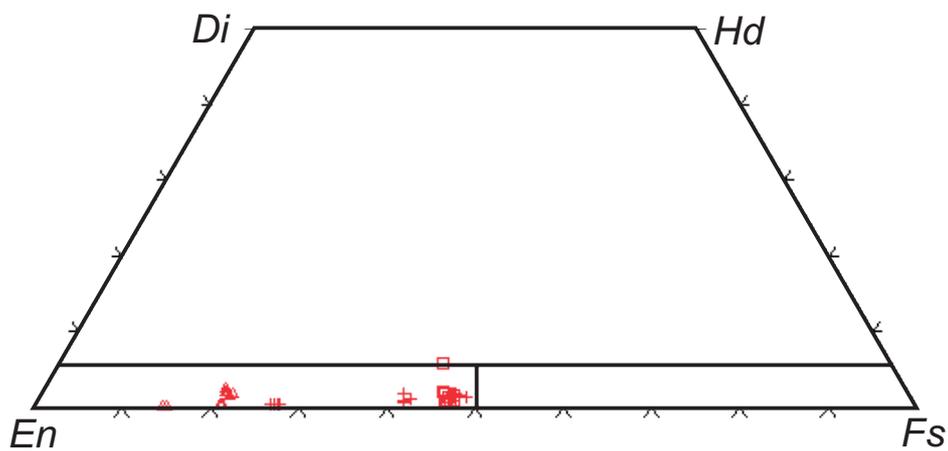
### ***Piroxenito e peridotito***

Nesta unidade a investigação dos processos de fracionamento foi prejudicada pela ausência de uma seção estratigráfica aflorante contínua, assim como pela intensa serpentinização e alteração de peridotitos e piroxenitos. Entretanto foram consideradas as variações composicionais de ortopiroxênio em peridotitos, presentes no extremo sul do complexo (amostra G24 - Girardi & Kurat, 1982) e em piroxenitos do topo da subzona ZU-1.

No peridotito é observada uma composição média (15 análises) de  $En_{87,6}:Fs_{11,8}:Wo_{0,6}$ , enquanto nos piroxenitos se tem valores de até  $En_{78,9}:Fs_{20,4}:Wo_{0,7}$  (fig. 7.12). A razão MMF sofreu uma diminuição, acompanhada do aumento de  $Cr^{+3}$  e  $Al^{+3}$ , a partir do membro ZU-S1 em direção ao membro ZU-P1. No Membro ZU-P1 os outros elementos apresentam uma grande dispersão nas suas concentrações, dificultando a observação de *trends* composicionais (fig. 7.10).

**A****GABRONORITO - ZMI**

- △ ZMI-SB
- ZMI-M1
- + ZMS-M2

**B****PIROXENITO - ZMI**

- ZMI-P1
- + ZMI-P2

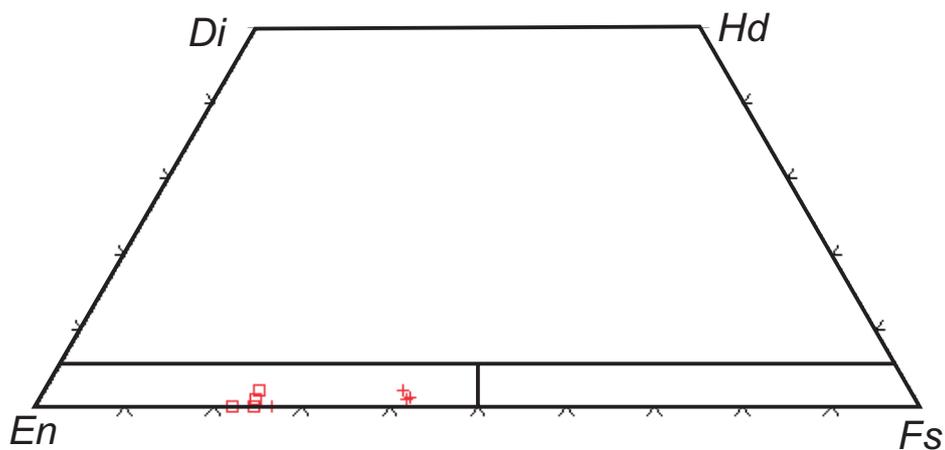


FIGURA 7.11 - Composição de ortopiroxênio na Zona Máfica Inferior - Complexo de Cana Brava a partir dos *end members* no sistema En-Fs-Di-Hd . A) ortopiroxênio de gabronorito da ZMI. B) ortopiroxênio de piroxênito da ZMI.

## PIROXENITO\PERIDOTITO - ZU

◇ ZU-S1

+ ZU-P1

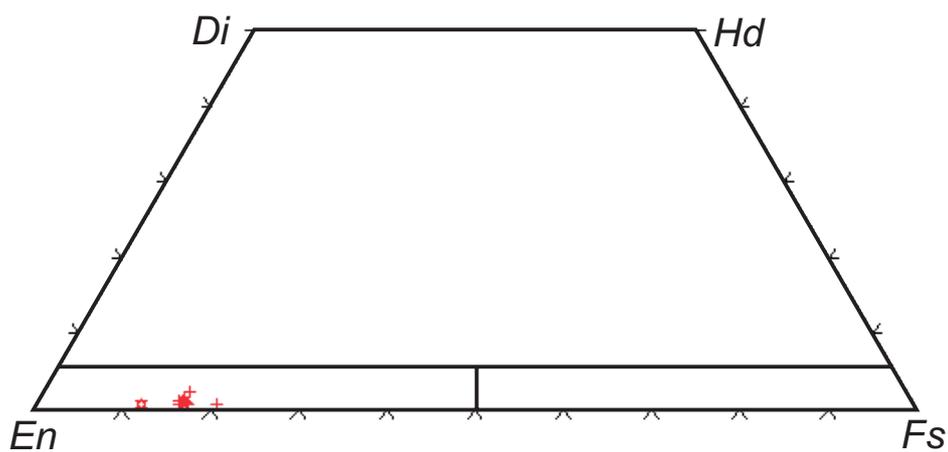


FIGURA 7.12 - Composição de ortopiroxênio de piroxenito e peridotito da Zona Ultramáfica - Complexo de Cana Brava; a partir dos *end members* do sistema En-Fs-Di-Hd.

O ortopiroxênio da ZU individualizou-se composicionalmente em relação àqueles de piroxenitos da ZMI e ZMS, caracterizado por altos valores de  $\text{Cr}^{+3}$  e razão MMF e baixas concentrações de  $\text{Mn}^{+2}$ .

### 7.2.2.1.3 - Variação composicional do ortopiroxênio da Zona Máfica Superior (ZMS)

#### *Gabronorito*

Os grãos de ortopiroxênio presentes nos gabronoritos da ZMS apresentam grandes variações composicionais, refletidas por *end members* de  $\text{En}_{53,0}:\text{Fs}_{46,2}:\text{Wo}_{0,7}$  a  $\text{En}_{76,2}:\text{Fs}_{23,1}:\text{Wo}_{0,7}$ . (fig. 7.13A). As amostras mais diferenciadas situam-se abaixo do campo da pigeonita, indicando serem prováveis pigeonitas invertidas.

Nas subzonas ZMS-1, ZMS-3, ZMS-4, ZMS-6 e ZMS-7 o ortopiroxênio apresenta *trends* contínuos de variação críptica, marcados pela sistemática diminuição da razão MMF em direção ao topo de cada subzona. Na maioria destas subzonas a diminuição da razão MMF do ortopiroxênio é acompanhada por aumentos sincrônicos de  $\text{Mn}^{+2}$  e diminuição de  $\text{Cr}^{+3}$ , ressaltando portanto repetições cíclicas dos *trends* de diferenciação magmática (fig. 7.10).

No Membro ZMS-M6 foi verificada uma nova seqüência de fracionamento a partir de sua porção intermediária, onde está presente gabronorito de granulação grossa, enquanto a amostra presente no topo do Membro ZMS-M4 mostra valores mais elevados da razão MMF e de  $\text{Cr}^{+3}$  indicando uma inversão no *trend* de variação críptica.

Na passagem do membro piroxenítico para o membro máfico de cada subzona verifica-se uma grande mudança na razão MMF e no conteúdo de  $\text{Al}^{+3}$  do ortopiroxênio, o que ressalta principalmente o controle da cristalização do plagioclásio na disponibilidade de  $\text{Al}^{+3}$  no sistema, similar ao observado na Intrusão de Jimberlana (Campbell & Borly, 1974) e no Complexo de Bushveld (Eales *et. al.*, 1993).

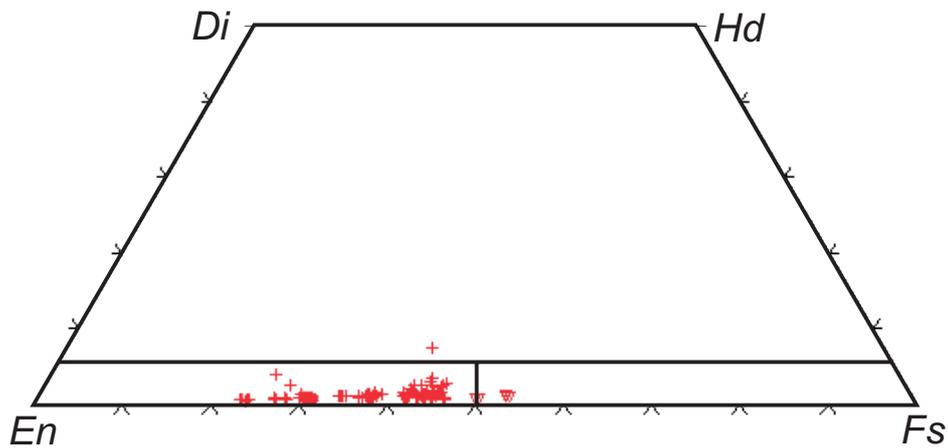
Os xenólitos de gabronorito, presentes nas Intrusões Noríticas (IN) e dispostas no topo da ZMS-7, apresentam cristais de ortopiroxênio com menores razões MMF, sugerindo serem representantes de porções mais diferenciadas do complexo. Os grãos de ortopiroxênio em xenólitos, presentes nas Intrusões Noríticas e posicionadas na ZMS-4, apresentam razões MMF similares às encontradas nesta unidade, indicando ser prováveis fragmentos desta porção máfica do Complexo de Cana Brava.

**A**

## GABRONORITO - ZMS

▽ ZMS - XENÓLITOS NAS INTRUSÕES NORÍTICAS

+ ZMS - MEMBROS MÁFICOS

**B**

## PIROXENITO - ZMS

+ ZMS - MEMBROS PIROXENÍTICOS

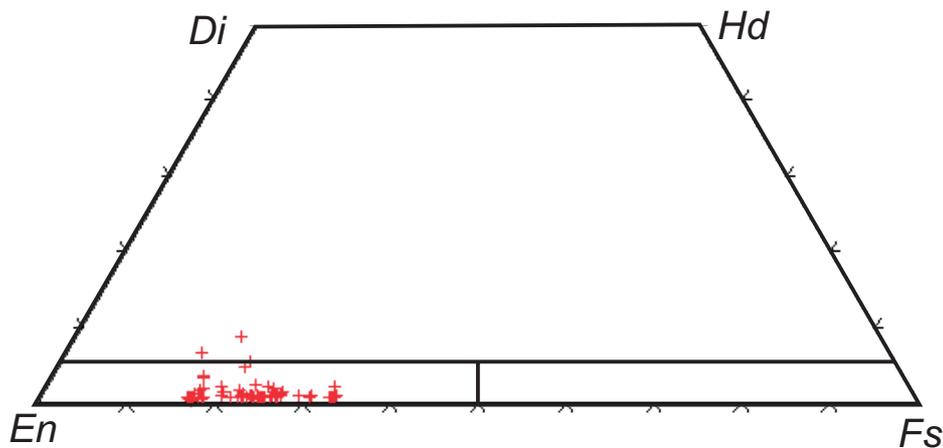


FIGURA 7.13 - Composição de ortopiroxênio na Zona Máfica Superior - Complexo de Cana Brava a partir dos *end members* no sistema En-Fs-Di-Hd . A) ortopiroxênio de gabronorito da ZMS. B) ortopiroxênio de piroxênito da ZMS.

## **Piroxenito**

Na ZMS os grãos de ortopiroxênio dos membros piroxeníticos apresentam preferencialmente composições mais primitivas em relação aos membros máficos, com poucas análises encontrando-se abaixo do campo de estabilidade da pigeonita. Mostram composições que variam de  $En_{82,7}:Fs_{16,6}:Wo_{0,7}$  a  $En_{65,6}:Fs_{33,4}:Wo_{1,0}$  (fig. 7.13 B).

Dentro de um mesmo membro, às vezes são observadas variações composicionais laterais e verticais, como no Membro ZMS-P4. No Membro ZMS-P1 a razão MMF diminui em direção ao topo desta unidade.

Nos diversos membros piroxeníticos a razão MMF e demais elementos, apresentam-se muito variáveis, não configurando qualquer *trend* de diferenciação entre estes.

No Membro ZMS-P4 são encontrados os mais elevados valores de  $Cr^{+3}$  (até 0,0138 p.u.f.), e menores de  $Ti^{+4}$ . Nos membros ZMS-P3 e ZMS-P6 o  $Ti^{+4}$  mostra os maiores teores (~ 0,30 p.u.f.).

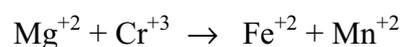
O  $Mn^{+2}$  mostra os mais altos valores associados ao membro ZMS-P6. Um pequeno aumento do  $Mn^{+2}$  pôde ser observado a partir do membro ZMS-P1 até ZMS-P3. O  $Ca^{+2}$  mostra concentração similar nos diversos membros piroxeníticos da ZMS.

O  $Ni^{+2}$ ,  $K^{+1}$  e  $Na^{+1}$  possuem valores muito baixos, provavelmente próximos do limite de detecção, não sendo possível caracterizar quaisquer variações químicas sistemáticas entre os diversos níveis piroxeníticos.

Em resumo, o ortopiroxênio dos piroxenitos na ZMS mostra uma boa correlação linear negativa da razão MMF com o  $Mn^{+2}$ , apresentando um espectro de variação composicional intermediário às amostras de piroxenitos da ZU e da ZMI. O  $Cr^{+3}$  possui grande variação em sua concentração, além de mostrar uma correlação positiva com a razão MMF.

### **7.2.2.1.4 - Substituições cristal químicas**

A principal variação composicional no ortopiroxênio de gabronoritos e piroxenitos, ao longo da seqüência estratigráfica, é representada por substituições de  $Mg^{+2}$  por  $Fe^{+2}$ , diminuindo desta forma o índice MMF. Estas ainda são acompanhadas, respectivamente pela saída do  $Cr^{+3}$  e entrada de  $Mn^{+2}$  no sítio octaédrico  $M_1$  (Fig.7.14 e 7.15), a qual pode ser representada pela relação:



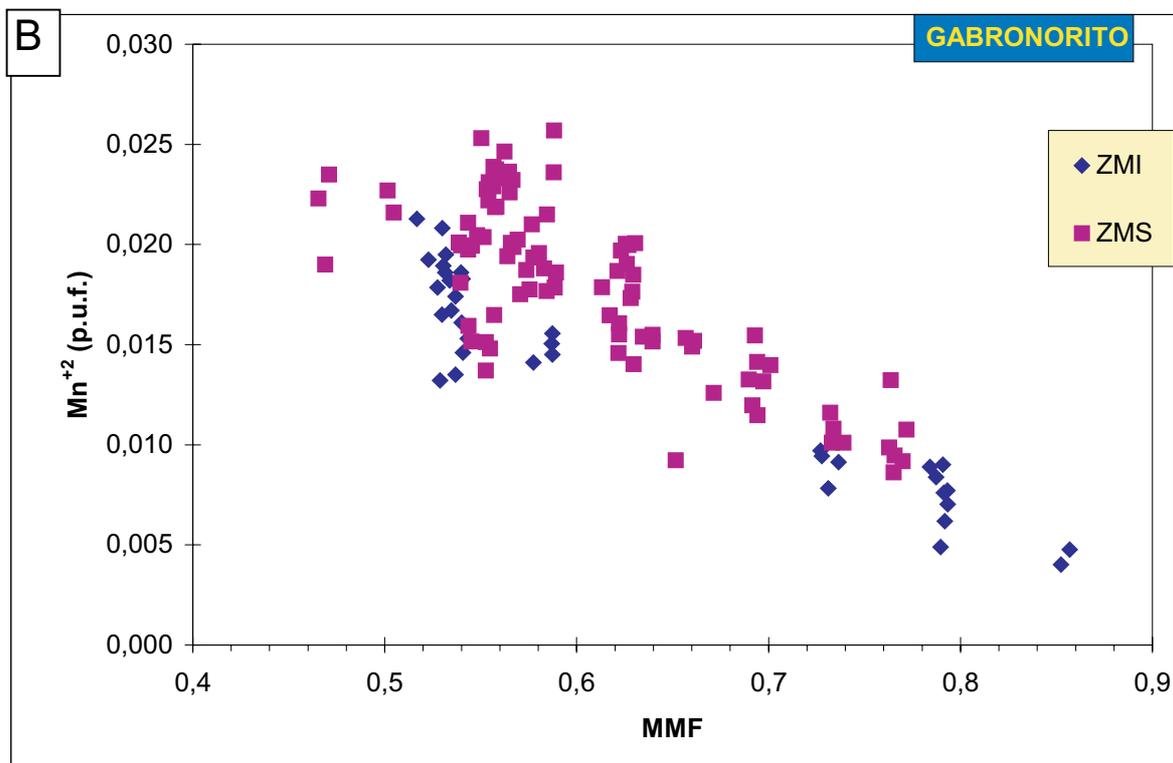
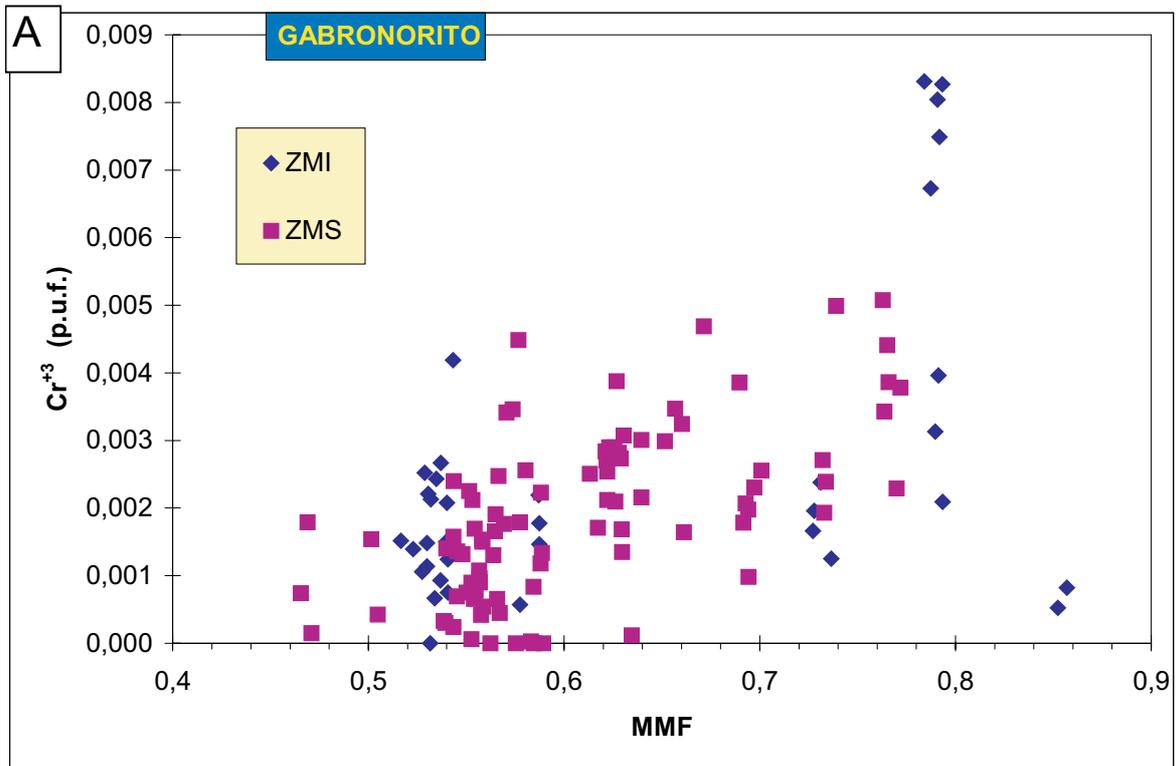


Figura 7.14 - Principais substituições no sítio octédrico M1 em relação ao índice de diferenciação MMF em ORTOPIROXÊNIO de gabronorito do Complexo de Cana Brava.

A) Diagrama  $\text{Cr}^{+3}$  x MMF B) Diagrama  $\text{Mn}^{+2}$  x MMF.

Razão MMF =  $\text{Mg}^{+1}/\text{Mg}^{+2} + \text{Fe}^{+2}$ . Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

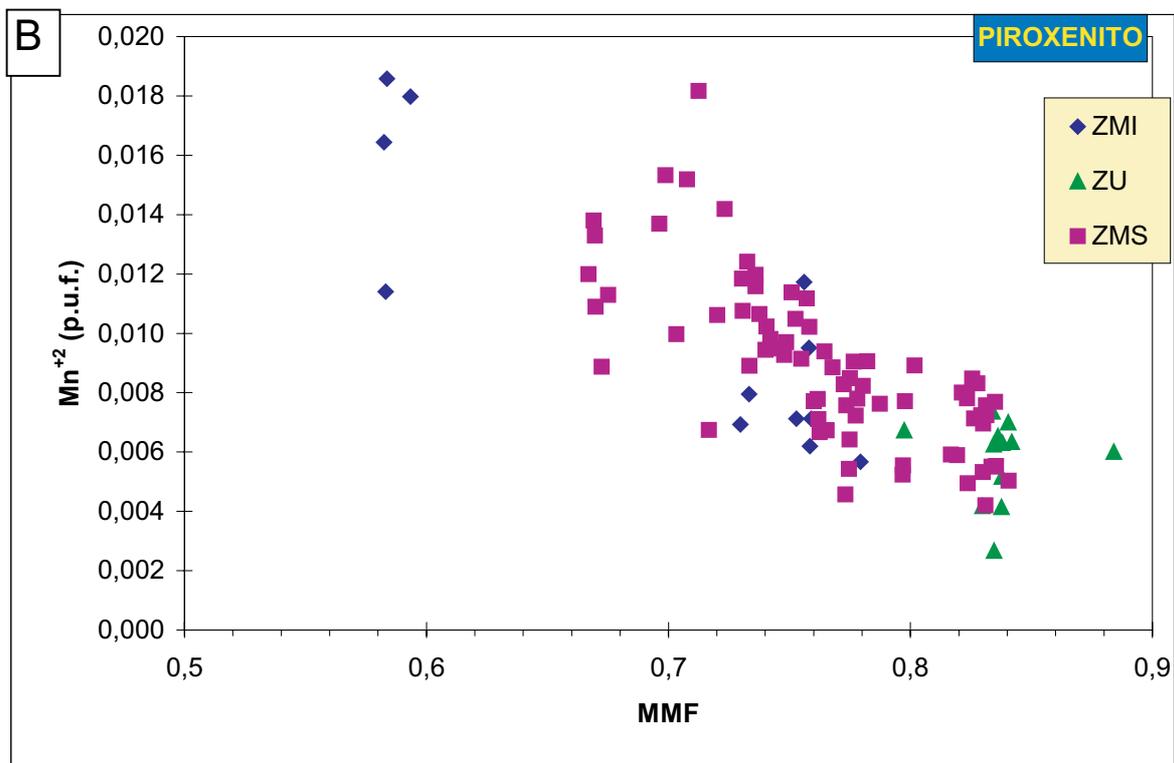
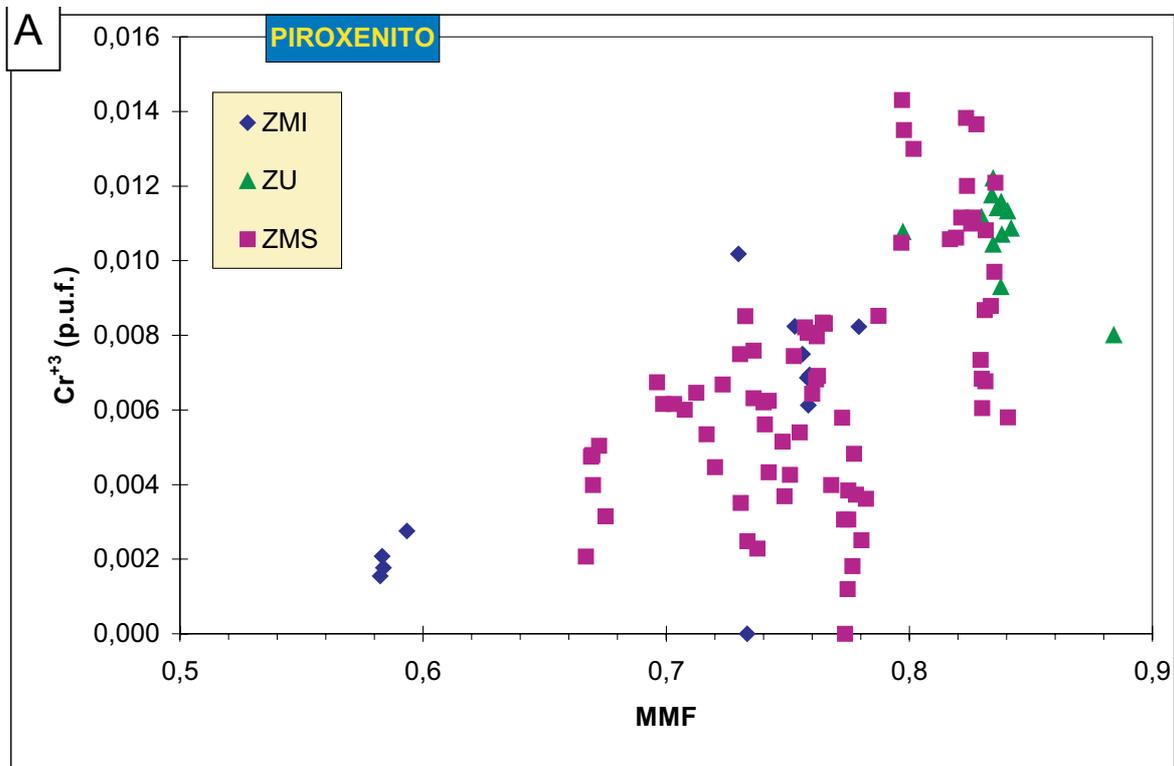


Figura 7.15 - Principais substituições no sítio octédrico M1 em relação ao índice de diferenciação MMF em ORTOPIROXÊNIO de piroxenitos do Complexo de Cana Brava.

A) Diagrama  $Cr^{+3}$  x MMF B) Diagrama  $Mn^{+2}$  x MMF.

Razão  $MMF = Mg^{+2} / Mg^{+2} + Fe^{+2}$ . Elementos calculados na base de 6 oxigênios.

A entrada do  $\text{Cr}^{+3}$  aparentemente não foi acompanhada de substituição de  $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$  no sítio tetraédrico, como evidenciado pelos baixos índices de correlação de  $\text{Cr}^{+3}$  e  $\text{Al}_t$ . Os demais elementos mostram baixas correlações com o índice MMF.

#### 7.2.2.1.5 - Variação composicional do ortopiroxênio em complexos acamadados.

As composições dos cristais de ortopiroxênio nos Complexos de Bushveld e Niquelândia e nas Intrusões de Skaergaard e Jimberlana são sucintamente apresentadas, a fim de se efetuar uma melhor comparação com aquelas do Complexo de Cana Brava.

No Complexo de Bushveld o ortopiroxênio apresenta um *trend* geral de variação de  $\text{En}_{90-84}$  a  $\text{En}_{31-45}$  (Naldrett, 1989). Na Zona Inferior do Complexo de Bushveld o ortopiroxênio apresenta repetidas variações de FeO, atribuídas à presença de unidades cíclicas (formadas por harzburgitos e ortopiroxenitos) (McDonald, 1967; In: Jackson, 1970; Atkins, 1969, Eales *et. al.*, 1993). Na Zona Crítica, Naldrett (1986) e Cameron (1982) mostraram inúmeras variações na composição deste ( $\#\text{Mg}_{0,84}$  a  $\#\text{Mg}_{0,70}$ ), marcando as unidades cíclicas. Os grãos de ortopiroxênio coexistem com os cristais cúmulus de plagioclásio e augita a partir da Zona Crítica Superior até a porção intermediária da Zona Principal, onde apresentam termos com composição de até  $\text{Mg}_{70-65} \text{Fe}_{30-35}$ . A partir destes ocorre como pigeonita que gradaciona para ferripigeonita, até cerca de 600 metros do topo da Zona Superior, quando cessa sua cristalização, a uma composição de  $\text{Mg}_{29} \text{Fe}_{71}$ .

Atkins (1969) constatou que durante o fracionamento, o ortopiroxênio apresentou uma marcante depleção de Cr, Ni, Al, e Na e um enriquecimento de Mn e V. Outros elementos tais como Co, Sr e Ba mostram concentrações praticamente constantes. Eagles *et. al.* (1993) observaram semelhante comportamento nos litotipos da zonas Inferior e Crítica, onde a razão MMF manteve uma correlação negativa com o Al, Mn e Ti. Na passagem das unidades ultramáficas para as máficas o  $\text{Al}^{+3}$  mostrou uma grande inflexão, controlada pela cristalização de plagioclásio.

Cawthorn *et. al.* (1991) observaram em um dos níveis piroxeníticos (*Pyroxenite Marker*) da Zona Principal do Complexo de Bushveld, uma inversão no conteúdo de En, Cr, Ti, Na e Al na composição do ortopiroxênio, que atribuíram à adição de um magma menos diferenciado e com um volume comparável ao magma residente.

Na Intrusão de Skaergaard (Wager & Brown, 1968; Hoover, 1989) o ortopiroxênio ocorre como grãos cúmulus apresentando variações composicionais semelhantes, para as séries Marginal de Borda e Acamadada. Na Série Marginal de Borda o ortopiroxênio mostra variação de  $\text{En}_{74} : \text{Fs}_{24} : \text{Wo}_2$  até  $\text{En}_{34} : \text{Fs}_{58} : \text{Wo}_8$ , enquanto na Série Acamadada o intervalo composicional é de  $\text{En}_{64}$  a  $\text{En}_{49}$ .

A Série Bandada Inferior da Intrusão de Jimberlana (Campbell & Borley, 1974) é formada na base por uma Zona Ultramáfica (repetidas camadas de dunito-bronzitito) com bronzita, seguida no topo por uma Zona Máfica, onde predominam grãos cúmulus de pigeonita (invertida) e plagioclásio (+clinopiroxênio)

Na Zona Ultramáfica o ortopiroxênio apresenta composição extremamente rica em magnésio, com valores de até  $En_{87-80}$ , passando para a Zona Máfica onde ocorrem variações de  $En_{70}$  a  $En_{60}$ .

No Complexo de Niquelândia, Ferreira Filho (1995) observou no ortopiroxênio de gabronorito um progressivo enriquecimento de FeO a partir da Unidade Ultramáfica até a Unidade Máfica Central de Oeste, respectivamente correlatas à ZU e ZMS do Complexo de Cana Brava, onde alcança até  $En_{49}$   $Fs_{51}$ . Acompanhando a diminuição da razão MMF, observou um aumento de MnO e um decréscimo de  $Al_2O_3$ . As diversas variações crípticas ao longo destas unidades foram consideradas como resultantes da presença de unidades cíclicas.

Ferreira Filho (1995) observou ainda uma grande descontinuidade composicional do ortopiroxênio no contato com a Unidade Serra dos Borges, onde predominam gabros e anortosito, ressaltando uma interrupção no processo de fracionamento das unidades inferiores.

De forma similar o ortopiroxênio presente em websteritos da Unidade Ultramáfica até as unidades Máfica Central de Leste e Máfica Central de Oeste, apresenta uma diminuição da razão MMF, acompanhada do aumento de MnO e da diminuição de  $Al_2O_3$ . Nestes litotipos o ortopiroxenito apresenta maiores valores de Cr, Na, Al em relação aos encontrados em gabronoritos.

Concluindo, a ZMI do Complexo de Cana Brava apresenta reduzido número de intervalos estratigráficos analisados, não permitindo representar a completa variação críptica do ortopiroxênio, ao longo desta unidade. Na ZMS o ortopiroxênio mostra pequenos *trends* de variação críptica associados às várias subzonas estratigráficas, formadas de um membro piroxenítico na base e gabronorítico no topo, análogos às variações crípticas descritas em unidades cíclicas dos complexos de Bushveld e Niquelândia. Na ZU o ortopiroxênio mostra composições similares às encontradas para unidades cíclicas ultramáficas de intrusões acamadadas.

#### **7.2.2.2 - ANÁLISE DE ORTOPIROXÊNIO DAS INTRUSÕES NORÍTICAS**

Nas Intrusões Noríticas foram analisados os grãos de ortopiroxênio representantes da Zona Norítica Central (ZNC) e Zona Norítica de Borda (ZNB), objetivando:

a) A caracterização química desta fase mineral, b) a observação de possíveis variações composicionais entre as duas principais unidades e c) comparação entre os litotipos da ZNC, presentes em diferentes localidades na área de estudo.

Os resultados de análises representativas e respectivas fórmulas estruturais encontram-se na tabela A.2 (anexo).

#### 7.2.2.2.1 -Variação composicional do ortopiroxênio na Zona Norítica Central (ZNC)

Na ZNC foram investigados os grãos de ortopiroxênio de três amostras, presentes nas porções norte (L4000N-2775A1W e L4000N-2775A2W) e sul (TLR-349) da área de estudo, totalizando 18 análises. Estes litotipos possuem aspectos texturais e mineralógicos semelhantes, representados por biotita-hornblenda-norito isotrópico de granulação grossa. O ortopiroxênio ocorre parcialmente substituído por hornblenda de cor castanha.

As amostras da porção norte apresentam composições de  $En_{66,7}: Fs_{32,5}: Wo_{0,8}$  até  $En_{64,0}: Fs_{35,0}: Wo_{1,0}$ , contrastando com aquelas obtidas na porção sul, que se mostram mais ricas na molécula de Fs e com *end members* de  $En_{58,5}: Fs_{39,7}: Wo_{1,8}$  a  $En_{57,4}: Fs_{41,4}: Wo_{1,2}$ . Estas variações parecem indicar que estes ortopiroxênios cristalizaram sob condições distintas.

#### 7.2.2.2.2 - Variação composicional do ortopiroxênio da Zona Norítica de Borda (ZNB)

Na Zona Norítica de Borda predomina granada-biotita-gnaiss derivados de quartzo-norito, no qual ainda pode ser observada textura ígnea. Este transiciona para biotita-metanorito, presente em uma posição intermediária entre as zonas noríticas Central e de Borda. No quartzo-norito analisado (L1000N-2575W) o ortopiroxênio ocorre como cristais pós-cúmulus, envolvendo plagioclásio e quartzo. No biotita-metanorito (L2000N-2700W) ocorre como porfiroclastos intensamente deformados.

Os cristais de ortopiroxênio de quartzo-norito apresenta as mais baixas razões Mg/Mg+Fe na área de estudo e caracterizam-se por possuírem composições de  $En_{49,8}: Fs_{49,4}: Wo_{0,8}$  a  $En_{48,8}: Fs_{50,2}: Wo_{1,0}$ . Nos termos transicionais as composições dos grãos mostram-se homogêneas e um pouco mais ricas na molécula de En, representadas por  $En_{57,3}: Fs_{41,5}: Wo_{0,8}$  a  $En_{57,0}: Fs_{42,0}: Wo_{1,0}$ .

### 7.2.2.2.3 - Variação composicional do ortopiroxênio na Zona Norítica Central e Zona Norítica de Borda

As variações composicionais dos cristais de ortopiroxênio da ZNC e ZNB, são principalmente representadas por um aumento na molécula de Fs em direção à ZNB, associado provavelmente a um processo de diferenciação magmática entre estas unidades. Na ZNB pode ter ocorrido a influência da contaminação de xenólitos e de uma maior taxa de transferência de calor com o Complexo de Cana Brava, modificando as condições iniciais de cristalização nesta unidade.

### 7.2.2.2.4 - Substituições cristal químicas

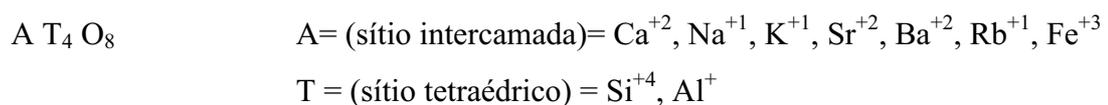
As principais substituições cristal químicas no ortopiroxênio, são representadas pelo aumento de  $Mn^{+2}$  e  $Fe^{+2}$  nos sítios octaédricos, para as amostras da ZNB, ressaltando o *trend* de fracionamento em direção a esta unidade (fig.7.16).

## 7.3 - PLAGIOCLÁSIO

### 7.3.1 - ANÁLISE DO PLAGIOCLÁSIO DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

Foram investigados 23 amostras de diferentes posições estratigráficas (com cerca de dois grãos analisados por amostra), totalizando 147 análises de plagioclásio. A amostragem apresentou-se descontínua ao longo da seqüência estratigráfica, onde foram analisados predominantemente os porfiroclastos (em gabronoritos) e mais raramente cristais pós-cúmulus (em piroxenitos).

O cálculo da fórmula estrutural foi realizado na base de 8 oxigênios, considerado a expressão geral:



A nomenclatura utilizada considerou o *end member* da molécula de anortita (An), calculada pela razão  $Ca^{+2}/(Ca^{+2} + Na^{+1} + K^{+1})$ . Os resultados de análises representativas e respectivas fórmulas estruturais, encontram-se na tabela A.3 (anexo).

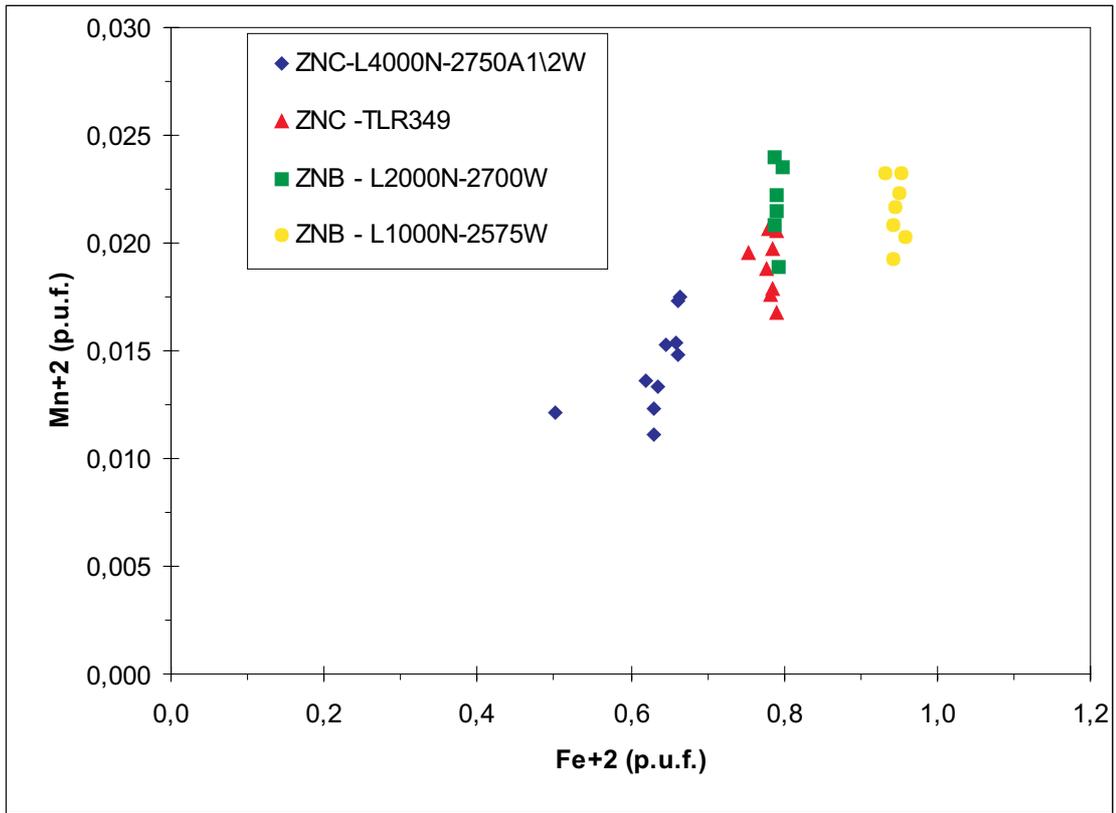


Figura 7.16 - Variação de Fe+2 vs Mn+2 em ORTOPIROXÊNIO da Zona Norítica Central (ZNC) e da Zona Norítica de Borda (ZNB), das Intrusões Noríticas.

Os cristais ocasionalmente apresentam variações nas análises de borda e núcleo representadas por um enriquecimento de  $\text{Ca}^{+2}$  em direção às bordas. Porém em grande parte das amostras investigadas não foi identificada zonação composicional sistemática, o que permitiu o tratamento em conjunto dos dados de borda e núcleo dos cristais.

As variações composicionais observadas são controladas principalmente pela natureza do litotipo, bem como por variações crípticas encontradas em uma mesma subzona estratigráfica. Assim a molécula de anortita para todas amostras do complexo variou de  $\text{An}_{55,7-94,7}$ , mostrando-se mais elevadas nos piroxenitos ( $\text{An}_{76,9-94,7}$ ) em relação aos gabronoritos ( $\text{An}_{55,1-92,4}$ ).

Apesar do reduzido número de intervalos estratigráficos analisados pôde-se observar que em alguns níveis do complexo ocorreram variações sistemáticas da molécula de anortita (An) acompanhadas inversamente pelo  $\text{K}^{+1}$  (fig.7.17).

### 7.3.1.1 - Variação composicional do plagioclásio na Zona Máfica Inferior (ZMI)

Nos litotipos desta unidade predominam texturas miloníticas a ultramiloníticas que não permitiram a preservação de cristais primários de plagioclásio em diversas posições estratigráficas, restringindo uma investigação sistemática de suas variações composicionais ao longo desta zona. As amostras analisadas pertencem preferencialmente às subzonas ZMI-SB e ZMI-2 e mostram um espectro de variação composicional de  $\text{An}_{73}$  a  $\text{An}_{90}$ .

#### ***Gabronorito***

Na ZMI-SB as amostras analisadas correspondem, da base para o topo, a gabronorito e olivina-melagabronorito coronítico e mostram uma inversão com aumento da molécula de anortita de  $\text{An}_{80,7-83,6}$  para  $\text{An}_{85,2-89,3}$ , respectivamente. Este fato parece estar condicionado pela natureza distinta dos litotipos, onde ocasionalmente ocorre olivina na associação mineral.

Na ZMI-2 foram analisados os grãos de plagioclásio do membro ZMI-M2, que apresentaram composições de  $\text{An}_{81,3-89,6}$ . Neste membro foi observado uma inversão composicional entre as amostras da base, indicada por menores valores da molécula de An. A partir de sua porção intermediária destaca-se a contínua diminuição da molécula de anortita ( $\text{An}_{87,8-89,7}$ ) em direção ao topo da unidade ( $\text{An}_{86,4-87,4}$ ), sugerindo uma regular variação críptica do plagioclásio em direção às porções estratigráficas de topo da ZMI, similar ao verificado nos piroxênios.

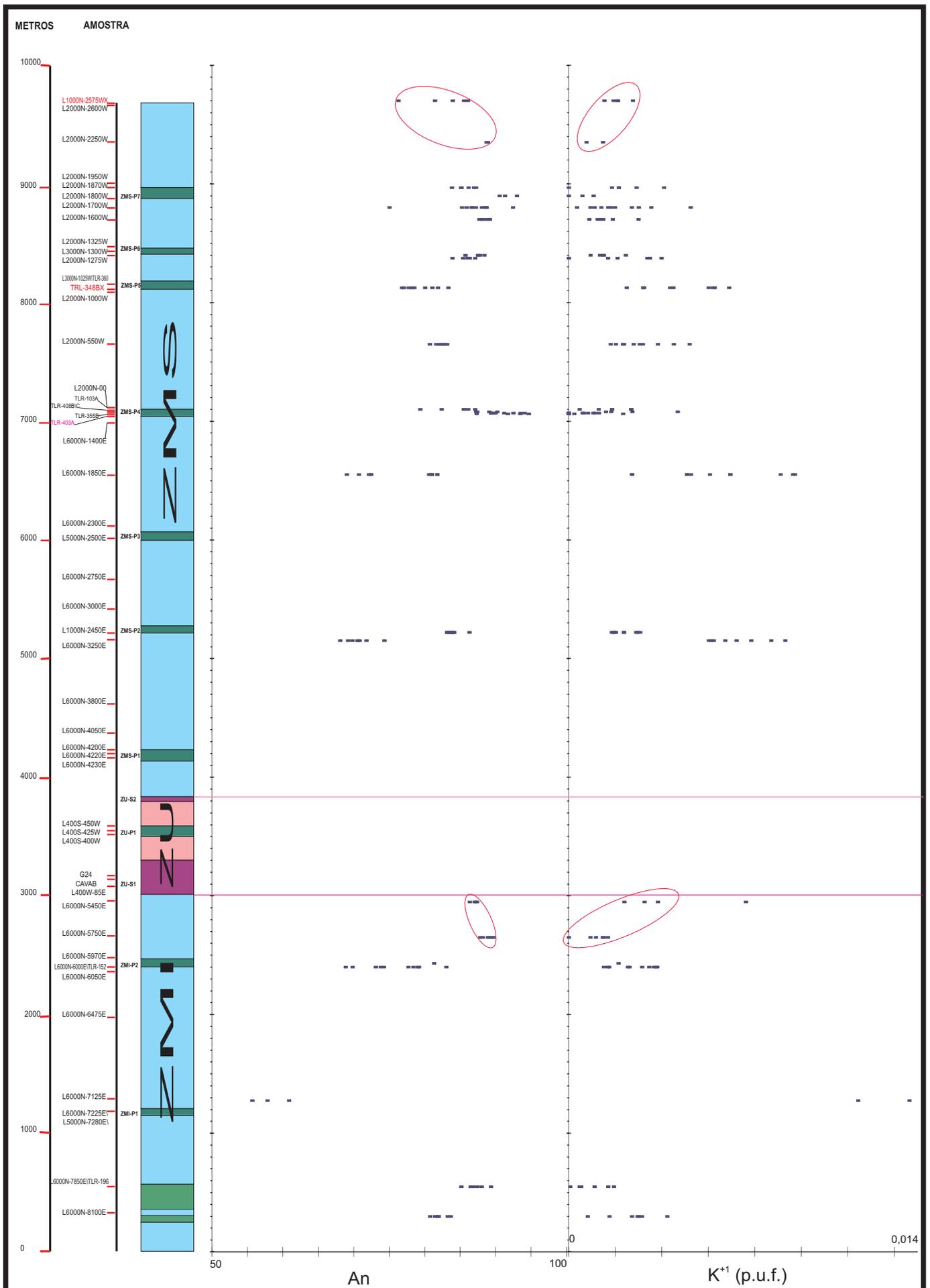


Figura 7.17 - Variação composicional do PLAGIOCLÁSIO, ao longo da seqüência estratigráfica do Complexo de Cana Brava. Elementos calculados na base de 8 oxigênios.

 Trend de variação críptica do plagioclásio.

A amostra pertencente a ZMI-M1, caracteriza-se pelo predomínio de uma textura ultramilonítica e paragênese granulítica, onde os cristais de plagioclásio analisados foram representados por raros e diminutos porfiroclastos que apresentam composição de  $An_{57,8 - 60,8}$ , correspondendo aos mais baixos valores da molécula de anortita encontrados no complexo. Este fato indica um provável reequilíbrio metamórfico atuante sobre os porfiroclastos.

### ***Piroxenito***

As análises dos grãos de plagioclásio dos membros piroxeníticos se restringiram ao Membro ZMI-P2, os quais mostram composições de  $An_{68,8 - 79,2}$ , inferiores às observadas no Membro ZMS-M4 onde predomina gabronorito.

#### **7.3.1.2 - Variação composicional do plagioclásio na Zona Máfica Superior (ZMS)**

Nas subzonas ZMS-4, ZMS-6 e ZMS-7 as texturas miloníticas e paragêneses de fácies granulito são menos frequentes, razão pela qual foi possível a realização de uma amostragem mais representativa dos cristais ígneos, ao longo destas unidades estratigráficas.

### ***Gabronorito***

Na unidade ZMS-4 o plagioclásio do Membro Máfico ZMS-M4 apresenta uma contínua diminuição na molécula de An, variando predominantemente de  $An_{82,4 - 87,1}$  a  $An_{80,7 - 83,2}$ , em direção ao topo desta unidade.

Na Subzona ZMS-6 o plagioclásio do Membro ZMS-M6 mostra uma progressiva diminuição de  $An_{87,6 - 89}$  para  $An_{85,3 - 88,7}$  em direção ao topo deste membro. Uma descontinuidade composicional do plagioclásio do membro piroxenítico ZMS-P6 e de parte do membro máfico ZMS-M6 sugere a presença de um novo *trend* de variação críptica a partir da posição intermediária da ZMS-M6, correspondendo provavelmente a uma nova unidade estratigráfica.

No Membro Máfico ZMS-M7 as amostras analisadas situam-se em sua porção estratigráfica intermediária e possuem grãos de plagioclásio com composição  $An_{88,7 - 88,9}$ . A composição do plagioclásio destas amostras quando comparada com a dos xenólitos de gabronorito ( $An_{76,3 - 86,1}$ ), presentes nas Intrusões Noríticas e dispostas no contato de topo da ZMS-M7, descrevem um *trend* de diminuição da molécula de anortita. Este fato sugere que estes xenólitos podem representar os termos mais diferenciados desta unidade, na forma de fragmentos das porções estratigráficas mais superiores do Complexo de Cana Brava.

## **Piroxenito**

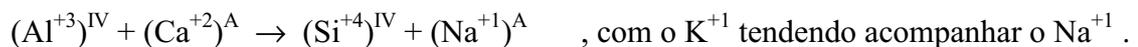
O plagioclásio presente em piroxenito ocorre como cristais pós-cúmulus, que no Membro Piroxenítico ZMS-P4 apresentam composições variando de An<sub>87,4</sub> - 94,1. No Membro Piroxenítico ZMS-P6 foram encontradas composições de An<sub>85,7</sub> - 88,4, que se mostram inferiores às observadas em gabronorito do Membro Máfico ZMS-M6

No Membro Piroxenítico ZMS-P7 foram analisadas amostras de diferentes localidades, as quais apresentam grãos de plagioclásio com composição variando de An<sub>90,5</sub> - 93,0 a An<sub>83,8</sub> - 87,2.

Os demais intervalos estratigráficos analisados somente ilustram um maior enriquecimento da molécula de anortita no plagioclásio pós-cúmulus dos piroxenitos, em contraste com os grãos cúmulus de gabronorito. Deve-se ressaltar que no Membro ZMS-P5 o plagioclásio apresenta valores de An<sub>77,1</sub> - 83,3, comparativamente inferiores aos dos outros níveis piroxeníticos, possuindo também um conteúdo mineralógico distinto, marcado pela presença de cristais de hornblenda e biotita desenvolvidos em uma provável fase deutérica.

### **7.3.1.3 - Substituições cristal químicas**

As variações composicionais nos cristais de plagioclásio de gabronorito (fig.7.18) e piroxenito (fig.7.19) do Complexo de Cana Brava apresentam-se similares, representadas por substituições de Al<sup>+3</sup> por Si<sup>+4</sup> no sítio tetraédrico, sincrônicas à saída de Ca<sup>+2</sup> e entrada de Na<sup>+1</sup> e K<sup>+1</sup> na posição “A”, sendo representadas pela expressão:



Os demais elementos (Ba<sup>+2</sup>, Sr<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>) apresentam baixas concentrações, com grande dispersão dos dados, o que não permitiu uma avaliação segura quanto uma provável correlação destes com as principais substituições cristal químicas.

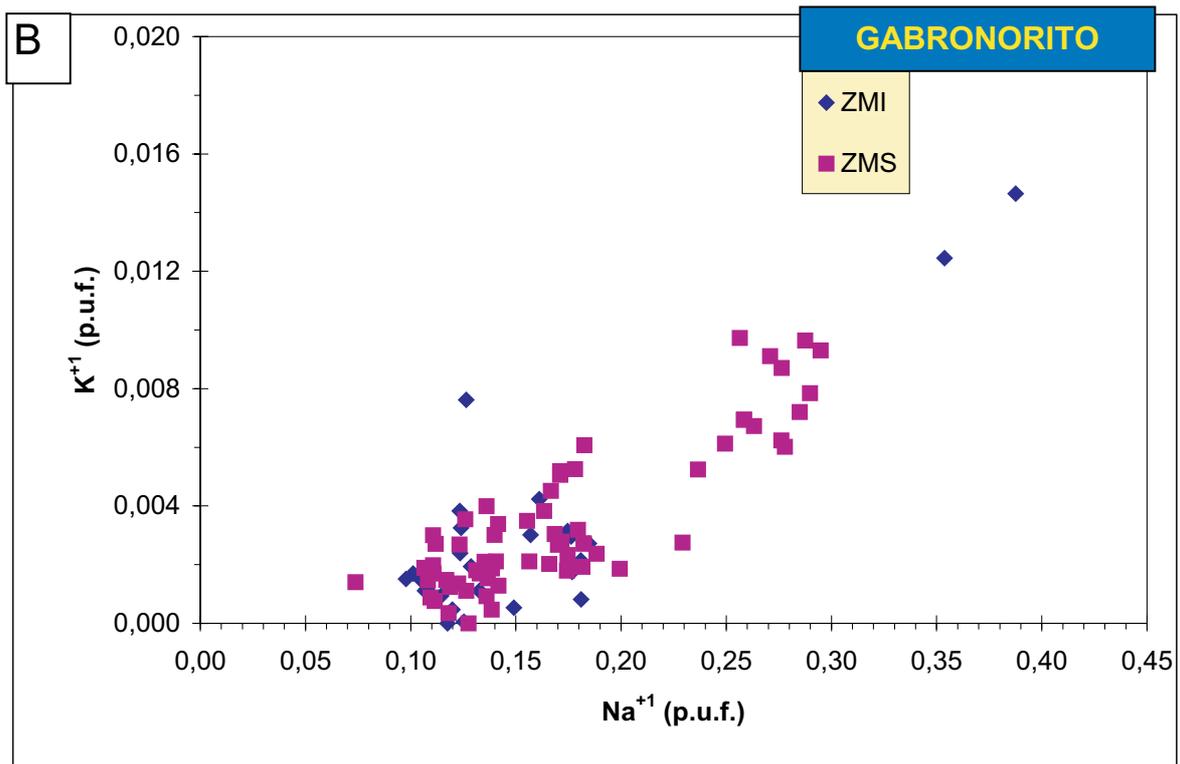


Figura 7.18 - Substituições dos elementos maiores no PLAGIOCLÁSIO de gabronorito do Complexo de Cana Brava. **A**) diagrama  $An \times Al^{+3}$  (p.u.f.) indicando substituições simultâneas nas posições tetraédrica e intercarnadas. **B**) diagrama  $K^{+1} \times Na^{+1}$  (p.u.f.) ressaltando comportamentos similares destes elementos nas posições intercarnadas.

*An=Ca+2/Ca+Na+K. Elementos calculados na base de 8 oxigênios.*

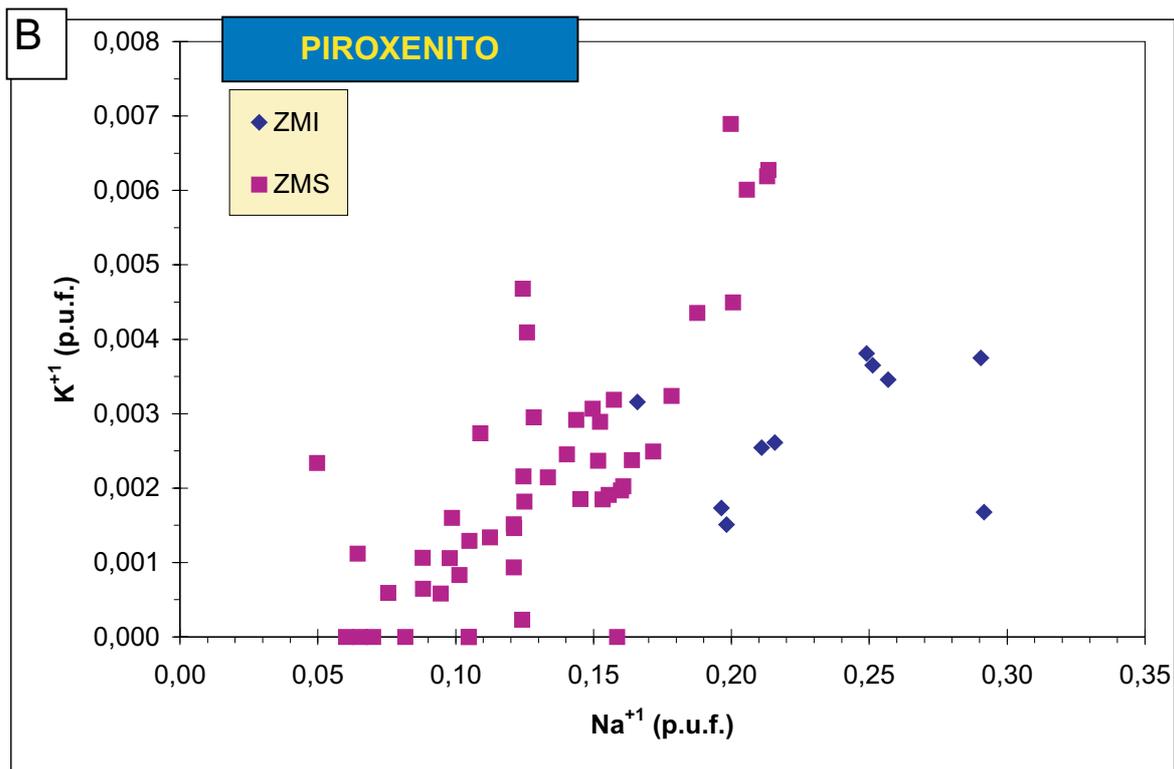


Figura 7.19 - Substituições dos elementos maiores no PLAGIOCLÁSIO de piroxenito do Complexo de Cana Brava. **A**) diagrama  $An \times Al^{+3}$  (p.u.f.) indicando substituições simultâneas nas posições tetraédrica e intercâmadas. **B**) diagrama  $K^{+1} \times Na^{+1}$  (p.u.f.) ressaltando comportamentos similares, destes elementos, nas posições intercâmadas.

$An = Ca + 2 / Ca + Na + K$ . Elementos calculados na base de 8 oxigênios.

#### 7.3.1.4 - Variação composicional do plagioclásio em complexos acamadados

A variação composicional do plagioclásio em seqüências estratigráficas dos Complexos de Stillwater e Bushveld e na Intrusão de Skaergaard, foi utilizada para a análise comparativa com os resultados no Complexo de Cana Brava.

O Complexo de Stillwater (Jackson, 1970; McCallum *et. al.* 1980, Raedeke & McCallum, 1984) é formado por uma Zona Ultramáfica na base, seguida pela Zona Bandada no topo. Esta foi subdividida em Zona Bandada Inferior, Zona Bandada Intermediária e Zona Bandada Superior. A ocorrência do plagioclásio está associada à Zona Bandada, onde predominam gabronorito, norito, anortosito e troctolito.

McCallum *et. al.* (1980) observaram que ao longo de toda seqüência estratigráfica o plagioclásio apresentou uma variação críptica de  $An_{86-63}$ . Nas zonas Bandada Inferior e Superior o plagioclásio mostra uma progressiva diminuição da molécula de anortita (An) em direção ao topo destas unidades, apesar do mesmo não ter sido observado para a Zona Bandada Intermediária. Interpretaram esta variação críptica como resultante de processos simultâneos de: a) cristalização fracionada, b) injeção múltipla de magma, c) mistura de magmas e d) correntes de convecção e densidade.

Para as zonas Bandada Inferior e Superior sugeriram o predomínio da cristalização fracionada, onde o principal processo de deposição do plagioclásio e minerais máficos poderia estar associado a correntes de densidades, as quais periodicamente se deslocariam para o assoalho da câmara magmática. Na Zona Bandada Intermediária, onde a composição média do plagioclásio manteve-se no intervalo de  $An_{80-75}$ , sugeriram um contínuo e prolongado contato dos cristais de plagioclásio com o magma, ao contrário das outras unidades que teriam sido parte de sistemas intensamente dinâmicos.

No Complexo de Bushveld o plagioclásio ocorre como mineral cúmulus a partir da Zona Crítica Superior. A partir desta unidade apresenta uma sistemática diminuição da molécula de anortita de  $An_{80}$  a  $An_{30}$  até o topo do complexo (Naldrett, 1989). Na Zona Crítica Superior (Naldrett *et. al.*, 1986; Cameron, 1982) foram observadas variações composicionais de  $An_{85}$  a  $An_{60}$ , com repetidas diminuições na molécula anortita associadas à passagem entre unidades cíclicas.

Naldrett *et. al.* (1984) e Kruger & Marsh (1985) (in.: Naldrett, 1989) mostraram que as variações sistemáticas de  $Sr^{+2}$  no plagioclásio, associavam-se à presença de unidades cíclicas. Estas variações coincidiram com as maiores mudanças isotópicas de Sr no complexo, tendo sido atribuídas por Kruger & Marsh (1985) como resultante do influxo de magmas isotopicamente distintos e importantes para a definição da unidade mineralizada em platinóides (*Merensky Reef*). Entretanto Naldrett *et. al.* (1987, in: Naldrett, 1989) questionaram esta associação.

Na Intrusão de Skaergaard Wager & Brown (1968) definiram para Série Acamadada uma contínua diminuição da molécula de An, que variou de An<sub>65</sub> a An<sub>30</sub>, em direção ao topo desta unidade. Hoover (1989) observou comportamento similar na composição do plagioclásio da Série Marginal de Borda, o qual mostrou variação críptica de An<sub>72</sub> a An<sub>35</sub>. Na base desta unidade, as amostras localizadas até 3-10 metros do contato com as unidades encaixantes, apresentaram um aumento da molécula de anortita de An<sub>62-64</sub> para An<sub>72</sub>. Para esta inversão sugeriu a ocorrência de um rápido resfriamento (*quench*) das amostras do contato, em contraste com amostras mais afastadas, que cristalizaram sob um gradiente termal.

A composição dos grãos de plagioclásio no Complexo de Cana Brava mostram uma variação menor da molécula de anortita, possuindo também termos mais cálcicos (até An<sub>94,7</sub>) em relação ao plagioclásio destes complexos. A composição do plagioclásio em algumas subzonas (ZMI-2, ZMS-4, ZMS-6, ZMS-7) varia sistematicamente, tornando-se mais ricas em Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em direção ao topo de cada subunidade, indicando pequenos e repetidos *trends* de cristalização fracionada do plagioclásio.

### 7.3.2 - ANÁLISE DO PLAGIOCLÁSIO NAS INTRUSÕES NORÍTICAS

Nas Intrusões Noríticas foram investigados os grãos de plagioclásio das zonas norítica Central e de Borda. Foram considerados conjuntamente as análises de borda e núcleo, uma vez que os resultados mostram-se freqüentemente homogêneos. A investigação destes, objetivou uma melhor caracterização petrográfica dos litotipos, bem como a observação de variações composicionais, relacionadas às duas principais zonas, à semelhança do que foi realizado com o ortopiroxênio.

Os resultados das análises (tabela A.3 - anexo), indicam composições superiores a An<sub>50</sub> (fig.7.20) o que conferiu para os litotipos investigados uma natureza predominantemente norítica.

#### 7.3.2.1 - Variação composicional do plagioclásio na Zona Norítica Central (ZNC)

Nesta unidade foram investigadas as amostras localizadas nos corpos intrusivos das porções norte (L4000N-2775A1\A2W) e sul (TLR-49) da área de estudo, caracterizadas como biotita-hornblenda-norito. As amostras localizadas na porção norte mostram-se mais ricas na molécula de An, com composições variando de An<sub>90,4</sub> a An<sub>85,7</sub>. Na porção sul as variações da molécula de anortita encontram-se preferencialmente no intervalo de An<sub>85,6</sub> a An<sub>81,3</sub>.

A composição do plagioclásio da porção norte, caracterizada por um maior enriquecimento em  $\text{Ca}^{+2}$ , indica que durante a sua cristalização o líquido magmático encontrava-se possivelmente menos diferenciado em relação ao da porção sul.

### 7.3.2.2 - Variação composicional do plagioclásio na Zona Norítica de Borda (ZNB)

Na Zona Norítica de Borda o plagioclásio analisado pertence a quartzo-norito isotrópico (L1000N-2575BW) e a biotita-metanorito (L2000N-2700W), este localizado em uma posição intermediária entre a ZNB e ZNC e com plagioclásio e ortopiroxênio ocorrendo como porfiroclastos.

No quartzo-norito o plagioclásio apresenta composição de  $\text{An}_{72,2}$  a  $\text{An}_{60,1}$ . No biotita-metanorito o plagioclásio mostra-se mais rico na molécula de anortita, variando de  $\text{An}_{87,2}$  a  $\text{An}_{79,1}$ .

### 7.3.2.3 - Variação composicional do plagioclásio nas zonas noríticas Central e de Borda.

A partir da ZNC até ZNB o plagioclásio mostra uma sistemática variação composicional, representada pela diminuição da molécula de An em direção a ZNB. Semelhante comportamento foi observado para o ortopiroxênio, sugerindo que em algumas intrusões noríticas ocorreu diferenciação do líquido magmático de suas porções centrais para as bordas.

### 7.3.2.4 - Substituições cristaloquímicas.

Os grãos de plagioclásio apresentam um *trend* linear de variação dos principais elementos (Ca, Na, Al, K) associados às zonas noríticas Central e de Borda, definindo campos composicionais distintos para estas unidades (fig. 7.20).

As principais substituições na estrutura do plagioclásio se referem à saída de  $\text{Al}^{+3}$  do sítio tetraédrico, acompanhada do decréscimo de  $\text{Ca}^{+2}$  nas posições intercamadas (fig. 7.20 A).

Simultaneamente à estas variações, o  $\text{K}^{+1}$  e  $\text{Na}^{+1}$  mostram enriquecimento, acompanhado da diminuição do  $\text{Ca}^{+2}$  na posição intercamada (fig. 7.20 B).

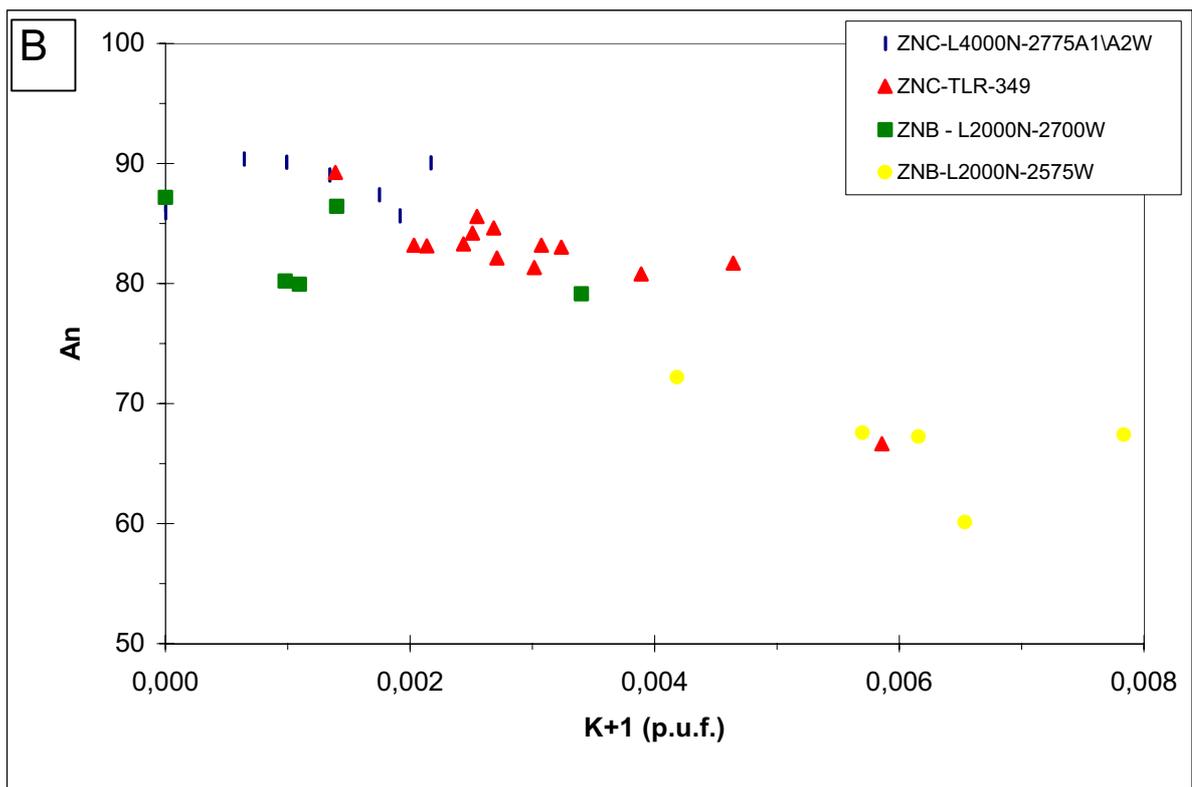
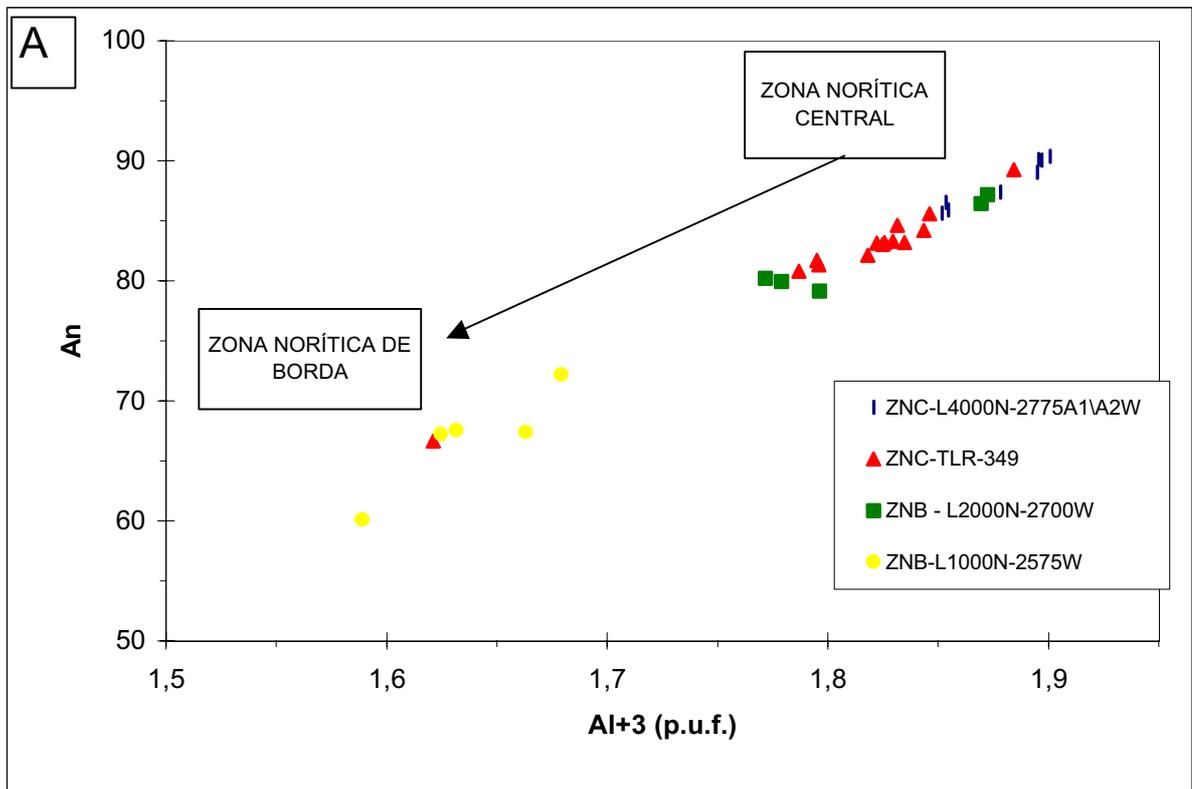


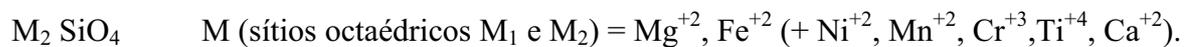
Figura 7.20 - Principais substituições cristal químicas no PLAGIOCLÁSIO da Zona Norítica Central (ZNC) e Zona Norítica de Borda (ZNB), das Intrusões Noríticas. **A)** diagrama An x Al<sup>3+</sup> (p.u.f.) indicando as principais substituições nas posições tetraédrica e intercarnada. **B)** diagrama An x K<sup>+</sup> (p.u.f.) ressaltando substituições na posição intercarnada. An = Ca/Ca+Na+K. Elementos calculados na base de 8 oxigênios.

## 7.4 - OLIVINA

### 7.4.1 - ANÁLISE DA OLIVINA DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

Foram analisados os grãos de olivina presentes em quatro níveis estratigráficas do Complexo de Cana Brava: ZMI-SB (TLR-196-olivina-melagabronorito); ZU (CAVAB-dunito); ZMS-P3 (L5000N-2500E-olivina melagabronorito) e ZMS-P4 (TLR-355B-olivina-websterito).

Os resultados de análises químicas representativas e suas respectivas fórmulas estruturais constam na tabela A.4 (anexo). O cálculo da fórmula estrutural foi realizada na base de 4 oxigênios tendo como expressão geral:



A fim de se observar possíveis variações cristaloquímicas primárias, foram escolhidas análises do núcleo dos cristais, que frequentemente podem se mostrar menos sensíveis aos reajustes composicionais tardios.

Os valores dos elementos maiores (MgO e FeO), apresentam-se dentro dos limites composicionais para as olivinas de rochas básicas plutônicas (Simkin & Smith, 1970), porém os elementos menores (MnO e NiO) e traços (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e CaO) mostram valores provavelmente próximos ao limite de detecção. Os resultados das análises de borda e núcleo não apresentam variações sistemáticas, como sugerido por Simkin & Smith (1970), que observaram um generalizado aumento de CaO e FeO em direção às bordas de cristais zonados.

As principais variações composicionais da molécula de forsterita (Fo) e do conteúdo de níquel (Ni<sup>+2</sup>) da olivina ao longo da seqüência estratigráfica, encontram-se na figura 7.21.

#### 7.4.1.1 - Variação composicional da olivina na ZMI, ZU e ZMS do Complexo de Cana Brava

A olivina frequentemente apresenta-se mais enriquecidas em MgO em relação ao FeO, o que pode ser observado pela razão  $(Mg^{+2} \times 100)/(Mg^{+2} + Fe^{+2})$ , expresso na forma de molécula de forsterita (Fo), que apresenta valores entre Fo<sub>73,7</sub> a Fo<sub>89,3</sub>. Os valores mais elevados da molécula de forsterita são encontrados na ZU (Fo<sub>88,8 - 89,3</sub>), seguidos das amostras da ZMI (Fo<sub>84,2 - 85,0</sub>), ZMS-P4 (Fo<sub>80,8 - 81,8</sub>) e ZMS-P3 (Fo<sub>73,7 - 74,3</sub>).

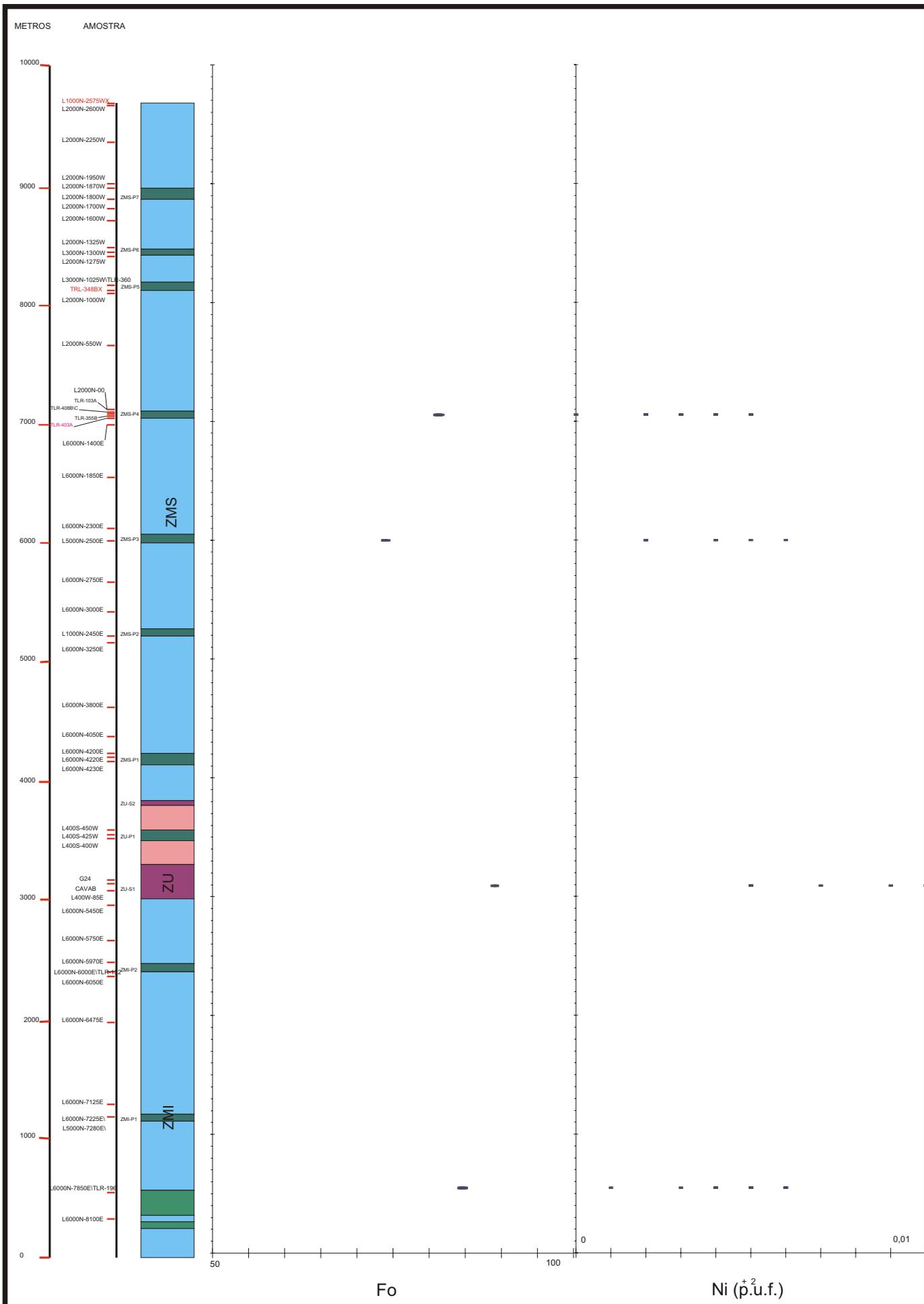


Figura 7.21 - Variação composicional da OLIVINA, ao longo da seqüência estratigráfica do Complexo de Cana Brava. Elementos calculados na base de 4 oxigênios.

Na ZMI a olivina apresenta valores da molécula de forsterita pouco inferiores aos obtidos na ZU. A variação composicional observada na olivina presente na ZU e na ZMS, sugere que os líquidos magmáticos que deram origem a alguns membros piroxeníticos da ZMS apresentavam composições distintas, no momento da cristalização desta fase mineral. No membro ZMS-P4 ocorre um retorno a uma composição mais rica em MgO em relação ao membro da ZMS-P3, provavelmente associada à entrada de um pulso de magma mais primitivo.

#### 7.4.1.2 - Substituições cristaloquímicas

A principal substituição cristaloquímica dos elementos menores em relação à molécula de forsterita é representada pela variação do  $\text{Ni}^{+2}$ , que aparentemente apresentou correlação positiva com esta (fig. 7.22 A). Neste caso o  $\text{Ni}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  devem ocupar preferencialmente a posição octaédrica  $M_2$ , podendo ser substituídos por  $\text{Fe}^{+2}$  (Simkin & Smith, 1970; Fleet *et. al.*, 1977).

O  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Co}^{+2}$  e  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  apresentam concentrações, provavelmente abaixo ou próximas ao limite de detecção, o que não permitiu observar substituições cristaloquímicas sistemáticas.

Os valores de NiO e MgO (% peso) quando plotados no diagrama de Fleet *et. al.* (1977) (Fig. 7.22 B), localizam-se predominantemente no campo das olivinas de intrusões acamadadas (+basaltos + diabásios), com um pequeno recobrimento com amostras de peridotitos mantélicos.

## 7.5 - ÓXIDOS

### 7.5.1 - ANÁLISES DOS ÓXIDOS NO COMPLEXO DE CANA BRAVA

Os óxidos analisados correspondem a dois grupos de espinélio presentes em piroxenito ou peridotito: a) espinélio castanho escuro e b) espinélio verde. Os grãos de espinélio de cor castanha escura podem ocorrer como inclusões em olivina e/ou em ortopiroxênio, ou ainda dispostos entre estes cristais cúmulus. Em peridotito serpentizado (L400S-85EB) apresenta as bordas transformadas para magnetita e hematita. O espinélio verde, localmente de cor castanha clara, é encontrado como: i) parte de coroa de simplectitos, no contato de piroxênios com plagioclásio, ii) como exsoluções orientadas em clinopiroxênio.

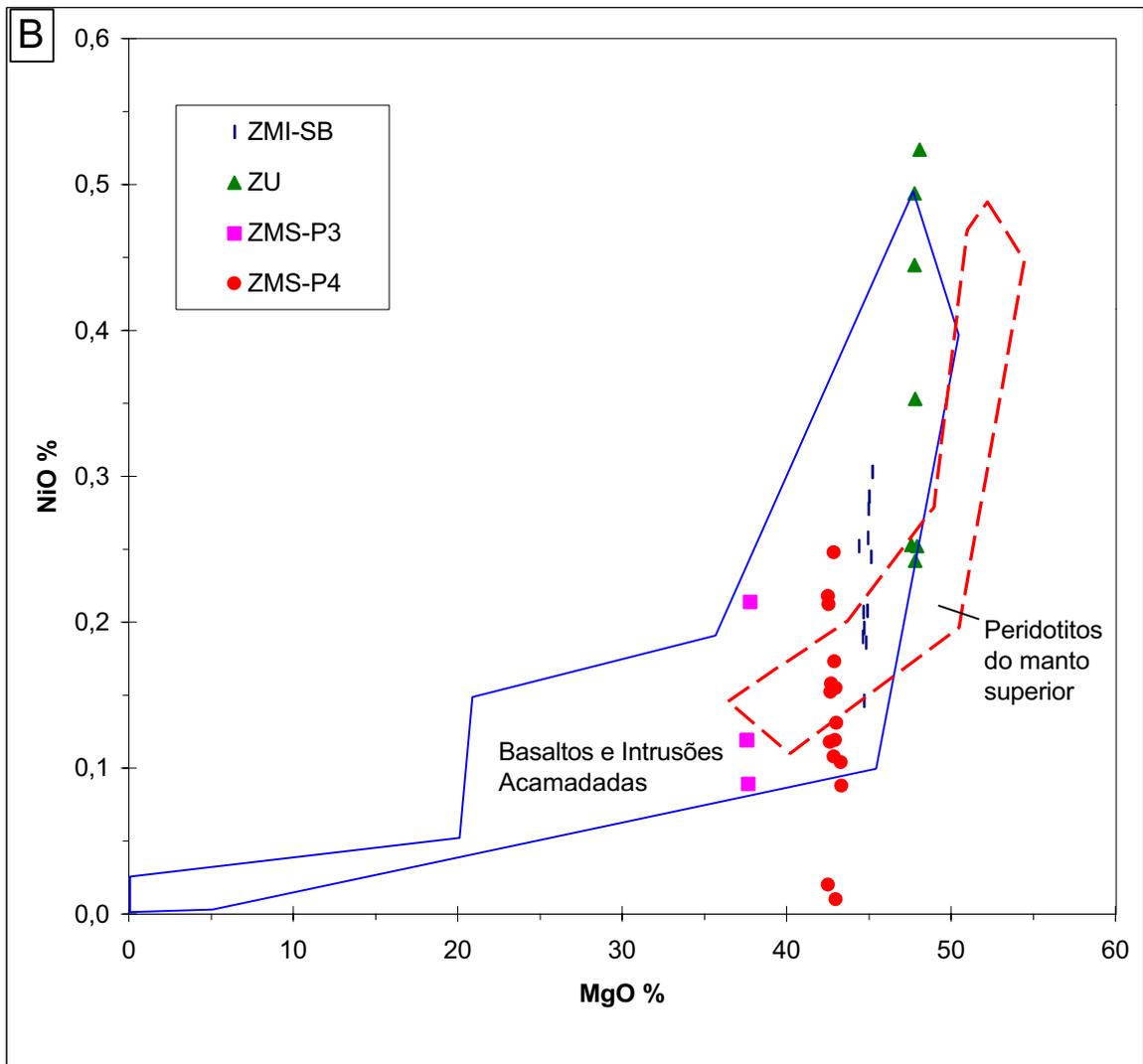
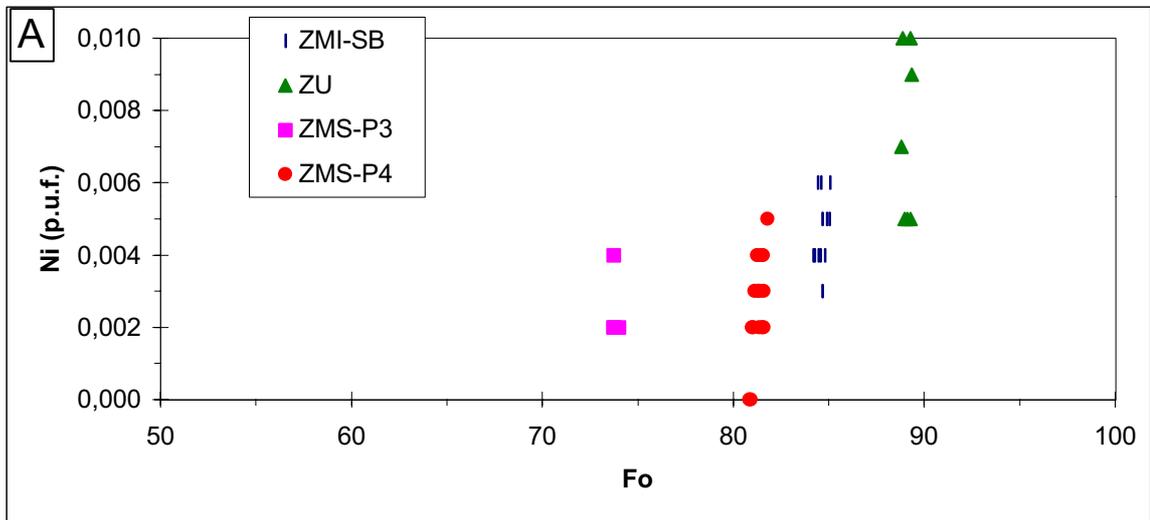
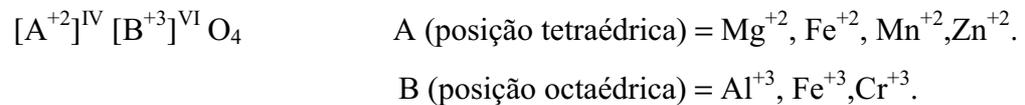


Figura 7.22 - **A**) Diagrama Fo x Ni<sup>2+</sup> (p.u.f.) em OLIVINA do Complexo de Cana Brava, indicando similar comportamento cristaloquímico do Ni<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. **B**) Variação de MgO (% peso) x NiO (% peso) de OLIVINA do Complexo de Cana Brava, comparadas com os campos composicionais de olivinas de basaltos\ intrusões acamadadas e de peridotitos do manto superior (Fleet *et. al.* 1977, In: Deer *et. al.* 1982).  
 $Fo = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Fe^{2+}}$ . Cálculo da fórmula estrutural na base de 4 oxigênios.

Para o cálculo da % atômica dos espinélios, foi considerada uma normalização a 2 íons e a fórmula ideal:



O  $Fe_2O_3$  foi calculado estequiometricamente. A nomenclatura utilizada seguiu as proposições de Haggerty (1976).

Os resultados de análises representativas e as respectivas fórmulas atômicas encontram-se na tabela A.5 (anexo). Deve-se ressaltar que as composições obtidas para estes minerais podem não representar integralmente os valores composicionais decorrente da cristalização dos óxidos, uma vez que sob condições plutônicas estes podem ter sofrido equilíbrios químicos subsólidos (Sack & Ghiorso, 1991).

### 7.5.1.1 - Espinélio Castanho Escuro

Este espinélio representa termo com composição intermediária entre cromita ( $FeCr_2O_4$ ) e hercinita ( $FeAl_2O_4$ ) (Fig. 7.23 A/B). Possui razão  $Cr/Cr + Al^{+3}$  entre 0,37 a 0,55, onde os valores mais altos (~ 0,54) se associam às amostras do membro piroxenítico ZMS-P4 (TLR-355B). As substituições por  $Fe^{+3}$  no sítio octaédrico, na maioria das amostras, são desprezíveis como mostra a razão  $Fe^{+3}/Fe^{+3} + Al^{+3} + Cr^{+3} = 0,02 - 0,11$ .

Este espinélio, quando comparado no diagrama  $Cr \times 100/(Cr+Al^{+3})$  vs  $Mg^{+2} \times 100/(Mg^{+2} + Fe^{+2})$  (Irvine, 1967), enquadra-se fora dos campos de classificação para as cromitas de complexos acamadados e de peridotitos mantélicos (Fig. 7.23 C), provavelmente devido a modificações composicionais subsólidos. Entretanto não apresenta características texturais de espinélios de peridotitos mantélicos.

O espinélio de peridotito serpentizado apresenta uma borda de magnetita seguida de uma auréola de hematita, formando uma feição típica de ferritcromita (Haggerty, 1976), resultante do processo de serpentinização. Este fato foi corroborado por suas mais elevadas razões de  $Fe^{+3}/Fe^{+3} + Al^{+3} + Cr^{+3} = 0,10 - 0,11$ . Nesta textura a magnetita pode ser rica em  $Fe^{+3}$  e  $Cr^{+3}$  e com uma variada composição química.

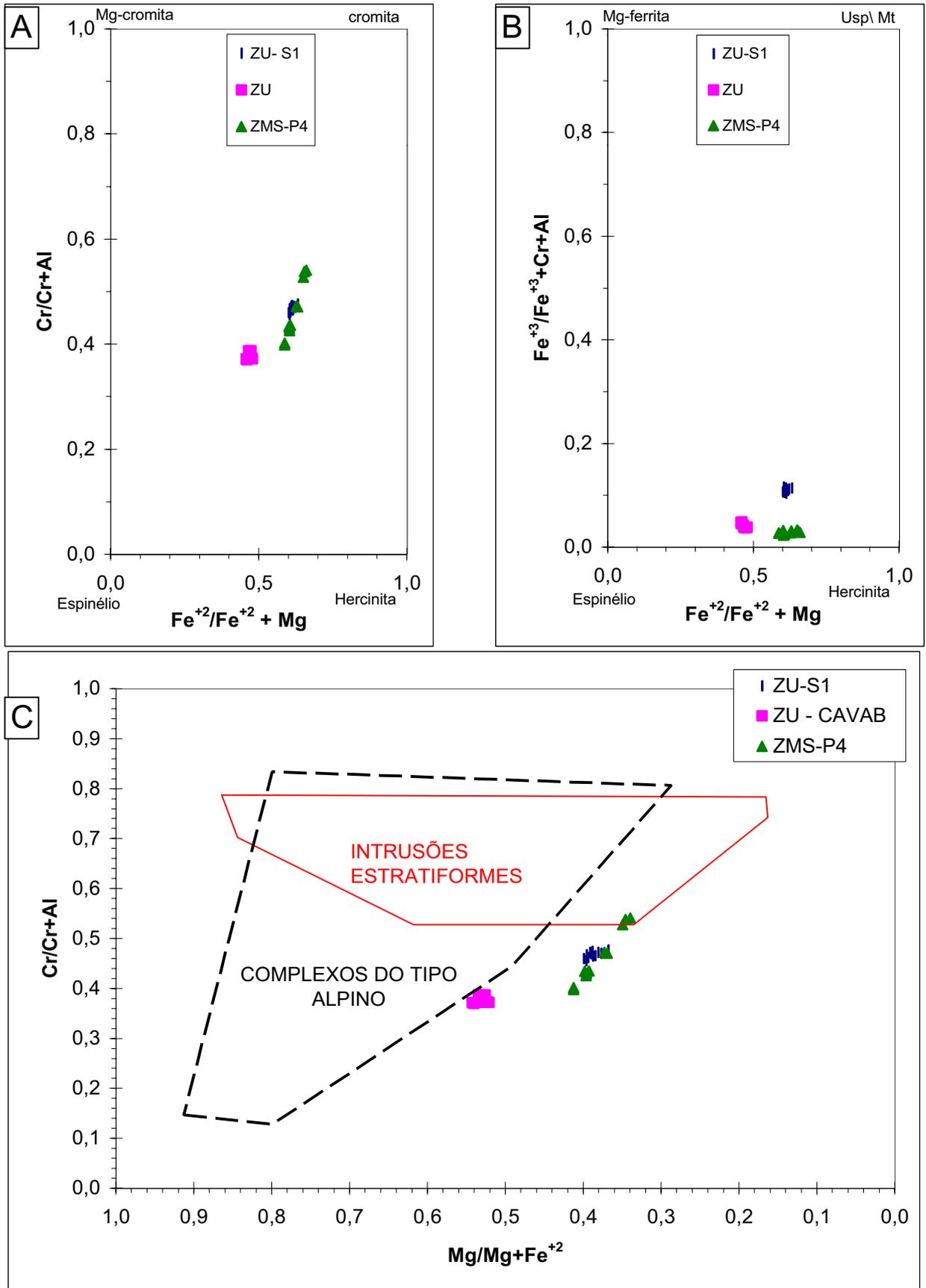


Figura 7.23 - **A e B**) Classificação de CR-ESPINÉLIO (nomenclatura seg. Haggerty, 1976) em rochas ultramáficas do Complexo de Cana Brava. **C**) Campos composicionais de espinélios de intrusões acamadas e complexos do Tipo Alpino (modificado de Irvine, 1967; Stell *et. al.*, 1977 In.: Evans, 1980).

### 7.5.1.2 - Espinélio Verde

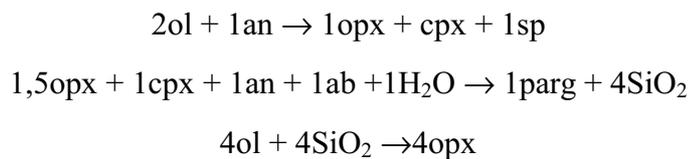
O espinélio verde apresenta composição intermediária entre os *end members*  $MgAl_2O_4$  (espinélio) e  $FeAl_2O_4$  (hercinita) (Fig. 7.24 A/B). Mostra uma significativa variação no conteúdo dos cátions trivalentes ( $Cr^{+3}$  e  $Al^{+3}$ ) e divalentes ( $Fe^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ). Os outros elementos divalentes (Co, Mn, Ni e Zn) apresentam valores baixos, ocupando menos de 0,1% das posições tetraédricas.

Foi observado também uma correspondência da variação de cor verde para castanho claro, com o aumento de  $Cr^{+3}$  (Fig. 7.24 C).

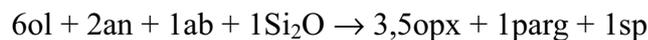
A presença deste espinélio, compondo parte da coroa de reação, parece estar de acordo com as observações de Candia Fornoni (1983) que a apresentou como produto de reação sub-sólidos entre fases ígneas. Neste caso seria formada pela instabilidade do plagioclásio junto à olivina, representada genericamente pela reação:



Candia Fornoni *et. al.* (1989) consideraram a ocorrência desta reação sob a presença de pequena quantidade de  $H_2O$  no sistema, podendo ser derivada da soma das seguintes reações parciais:



dando origem à seguinte reação:



Quando o espinélio ocorre como exsolução em clinopiroxênio, parece ser produto de rearranjos químicos sub-sólidos, orientando-se nos planos (001) e (100). Este fato parece indicar que à temperaturas mais elevadas o clinopiroxênio pôde acomodar maiores quantidades de  $Al^{+3}$  em sua estrutura.

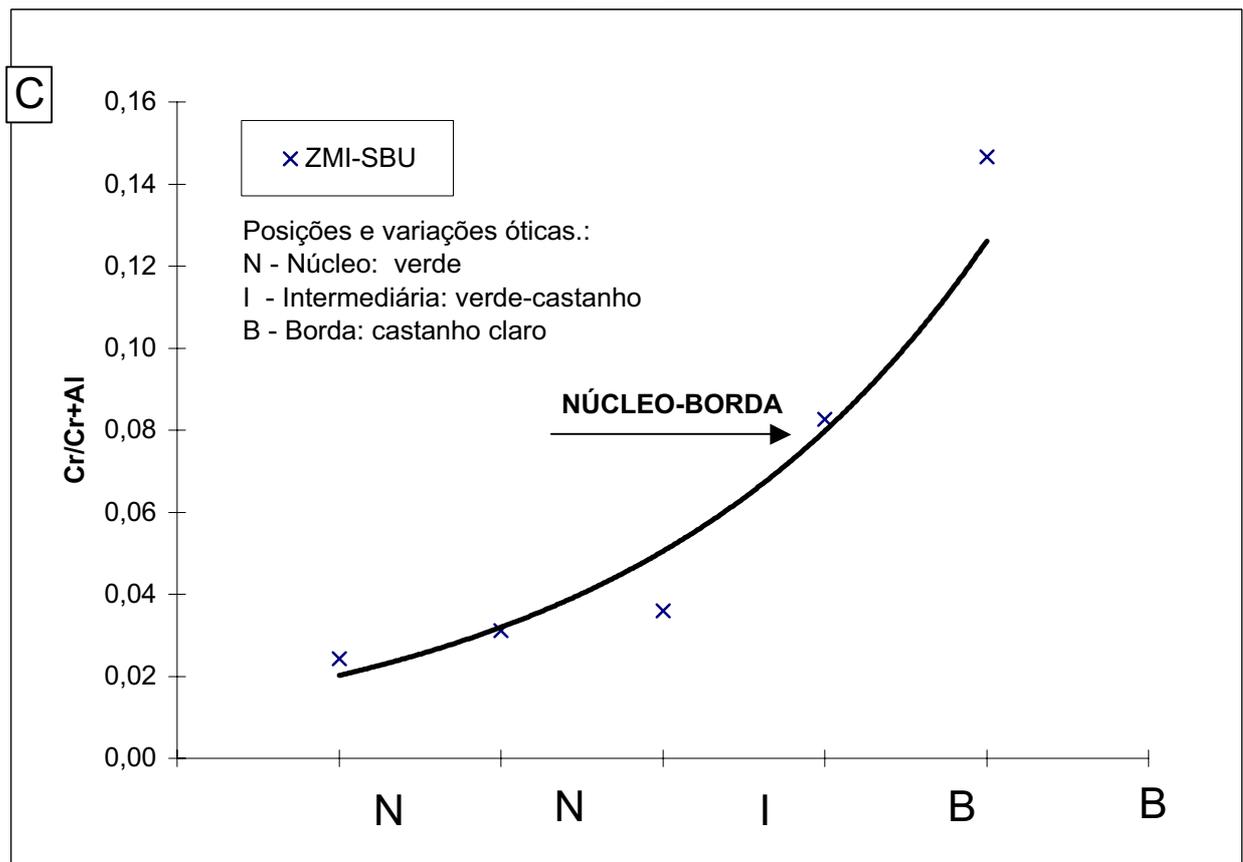
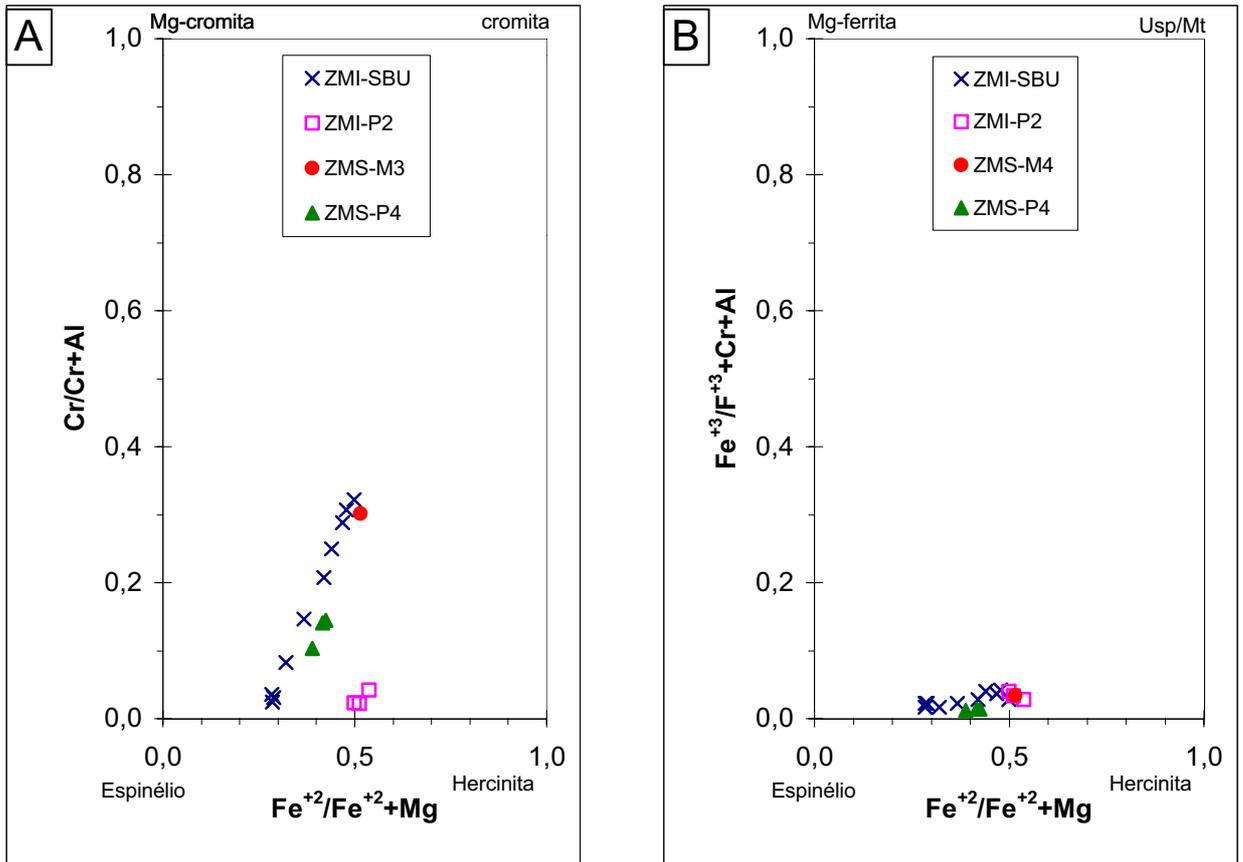


Figura 7.24 - **A e B**) Classificação de ESPINÉLIO VERDE presentes em coroas de simplectitos ou como exsoluções em clinopiroxênio do Complexo de Cana Brava (nomenclatura seg. Haggerty, 1976). **C**) Variação composicional de espinélio verde com zonação ótica.

## 7.6 - SULFETOS

### 7.6.1 - ANÁLISES DOS SULFETOS DOS COMPLEXO DE CANA BRAVA

As análises dos sulfetos foram realizados com padrões naturais de calcopirita (30,43% Fe), pirita (44,55% Fe) (análise de pirrotita, troilita e pirita) e (Fe,Co)S (63,03%Fe) (análise de gersdorffita), intensidade de corrente 25 nA e tensão de aceleração 15 Kv e tempo de contagem de 10 segundos.

No cálculo da fórmula atômica unitária foram utilizadas as seguintes normalizações (nº de íons): 4 (calcopirita), 17 (pentlandita), 15 (pirrotita), 2 (troilita) e 3 (gersdorffita). Os resultados analíticos representativos e as suas fórmulas atômicas unitárias são apresentadas na tabela A.6 (anexo).

Os sulfetos analisados pertencem ao Complexo de Cana Brava e ocorrem disseminados (< 3%) principalmente em alguns membros piroxeníticos da ZMS (ZMS-P1, ZMS-P4, ZMS-P7). São representados freqüentemente por pirrotita, pentlandita e calcopirita. Na pirrotita, às vezes foi possível observar intercrescimentos com a troilíta ou inclusões de gersdorffita. As análises dos sulfetos objetivaram a caracterização química destes.

#### 7.6.1.1 - PENTLANDITA

Para o cálculo da % atômica foi considerada a fórmula geral da pentlandita dada por:



A pentlandita analisada ocorre na forma de cristais bem desenvolvidas geralmente intercrescidos com a pirrotita.

Os resultados obtidos encontram-se dentro dos intervalos normais de variação do Ni (18,34% at), S (45,7 - 47,4% at) (Misra & Fleet, 1973) e Fe (< 40,5%), (Riley, 1977). Os valores obtidos de S e Ni encontram-se próximos da estequiometria ideal (47,06%) com desprezíveis desvios composicionais em relação à razão M : S (9:8).

Foram analisados os cristais de pentlandita dos níveis piroxeníticos ZMS-P4 (amostras TLR-355A e TLR-408B) e ZMS-P1 (amostra L6000N - 4280E). As amostras da ZMS-P4 mostram um maior enriquecimento em Co, acompanhado do decréscimo de Ni. O comportamento do Co e Ni parece estar de acordo com as observações de Riley (1977), que admitiu substituições do Ni e Fe

por Co. Provavelmente as pentlanditas mais ricas em Co, podem apresentar uma maior estabilidade termal ( $T = 630^\circ - 7,5\%$  at Co;  $T = 746^\circ \text{C} - 40,8\%$  at Co).

A pentlandita quando ocorre como cristais isolados e bem desenvolvidos, indica que foi derivada da cristalização a altas temperaturas ( $> 610^\circ\text{C}$ ), a partir de um sistema Fe - Ni (Co) - S, que forma uma "solução sólida de monossulfeto" (MSS) (Naldrett, 1989).

Quando ocorre na forma de exsoluções em pirrotita (textura *flame*) indica terem sido formadas devido às baixas taxas de difusão do Ni na pirrotita, em condições inferiores a  $100 - 200^\circ\text{C}$ , promovendo a sua cristalização em pequenas fraturas ou imperfeições estruturais (Graig & Vaughan, 1981).

### 7.6.1.2 - PIRROTITA

O cálculo da fórmula atômica unitária da pirrotita foi considerado a partir da fórmula ideal:  $\text{Fe}_7 \text{S}_8$ .

Foram analisados os grãos de pirrotita de três níveis piroxeníticos (ZMS-P1, ZMS-P4 e ZMS-P7), onde foram observadas variações pouco significativas na porcentagem atômica (% at) dos elementos.

Na amostra do membro ZMS-P7, foi observada uma pequena diminuição no valor da % at de  $\text{Fe}^{+2}$ . Os elementos menores (Ni, Co, Cu) não ultrapassam a 0,2% at, sendo que o Co e Cu estão praticamente ausentes.

### 7.6.1.3 - TROILITA

A troilita ocorre intercrescida com a pirrotita, destacando-se nos grãos submetidos à alteração intempérica, como no caso da amostra L6000N-4230E (ZMS-P1).

A troilita possui uma fórmula geral  $\text{FeS}$ , onde o intercrescimento com a pirrotita pode ser devido a rearranjos químicos em troilita de alta temperatura. Neste caso a saída de  $\text{Fe}^{+2}$  (com um máximo de 20%) pode dar origem a pirrotita hexagonal (hpo), como é mostrado pela relação:



Alternativamente Misra & Fleet (1973), inferiram que a formação de troilita + pirrotita hexagonal, poderia se dar em condições de baixa temperatura, com a desestabilização da pirrotita de composição intermediária.

#### 7.6.1.4 - CALCOPIRITA

As amostras analisadas (TLR-355A e TLR-408A) situam-se no membro piroxenítico ZMS-P4. O cálculo da fórmula atômica unitária da calcopirita foi baseada na relação ideal: Cu: Fe: S<sub>2</sub>. Nas amostras analisadas as concentrações dos elementos maiores apresentam-se homogêneas, sendo observado um aumento do Ni, acompanhado pelo decréscimo do Cu.

Admite-se que a formação da calcopirita possa ser derivada de um líquido sulfetado rico em Cu, denominado de solução sólida intermediária (ISS) - (Cu, Fe) S<sub>2-x</sub>, estável a temperaturas entre 400°-700°C. As fases minerais formadas a partir deste ISS, são ricas em Cu e são principalmente representadas por calcopirita, bornita e cubanita .... (Naldrett, 1989).

#### 7.6.1.5 - GERSDORFFITA

A gersdorffita ocorre (amostras TLR-408B) como cristal euédrico, incluso na pirrotita. Representa uma fase rica em As, com estrutura comparável à da pirita (Peacock & Henry, 1948; In. Deer *et. al.*, 1962), sendo admitida uma relação (Co, Ni, Fe): As: S. Destaca-se pelos altos teores de Co, que atingiu 19% at na amostra analisada. A fórmula obtida pode ser representada por:



onde o Co, Ni e Fe devem ocupar provavelmente os sítios octaédricos, de forma semelhante à pirita.

### 7.7 - ANFIBÓLIO

Os cristais analisados de anfibólio correspondem a quatro amostras das Intrusões Noríticas. A nomenclatura utilizada para os anfibólios seguiu a classificação de Leake *et. al.* (1978) (Fig. 7.25), enquanto para as discussões sobre as substituições cristaloquímicas, considerou-se a fórmula padrão dos anfibólios (Hawthorne, 1982):

|  |  |
|--|--|
| $A_{0-1} B_2 C_5 T_8 O_{22} (OH, F, Cl)_2$ | A (sítio entre camadas de tetraedros): $Na^{+1}, K^{+1}$                                   |
|  | B (sítio octaédrico $M_4$ ): $Na^{+}, Li^{+}, Ca^{+2}, Mn^{+2}, Fe^{+2}, Mg^{+2}$          |
|  | C (sítios octaédricos $M_1, M_2, M_3$ ): $Mg^{+2}, Fe^{+2}, Mn, Al^{+3}, Fe^{+1}, Ti^{+4}$ |
|  | T (sítio tetraédrico): $Si, Al^{+3}, (\pm Fe^{+3})$  |

O cálculo da fórmula estrutural seguiu as sugestões de Robinson *et. al.* (1982), sendo realizado na base de 23 oxigênios, onde o FeO foi considerado como ferro total. Foram utilizadas as normalizações a 13eCNK para os anfibólios cálcicos e ferro-magnesianos. A normalização na base de 15eNK para os anfibólios Fe-Mg apresentou a soma dos cátions na posição  $M_4$  próximo a zero, sendo portanto desconsiderada.

Os resultados analíticos constam na tabela A.7 (anexo) e são mostrados nos diagramas de classificação da figura 7.25.

## 7.7.1 - ANÁLISE DO ANFIBÓLIO DAS INTRUSÕES NORÍTICAS

### 7.7.1.1 - Classificação

O litotipo onde foram analisados os cristais de anfibólio pertencem às Intrusões Noríticas (TLR-349 e L4000N-2775A1W) e corresponde a norito (com anfibólio castanho e biotita), da Zona Norítica Central, de dois corpos espacialmente separados. O anfibólio e a biotita nestas amostras preenchem espaços entre os grãos cúmulus de plagioclásio e piroxênios ou ocorrem como cristais poiquilíticos (com inclusões de plagioclásio e piroxênios), definindo aparentemente uma relação textural magmática tardia. As análises dos anfibólios objetivam acrescentar dados para a correlação entre os corpos intrusivos.

Os anfibólios classificam-se como magnésio-hornblenda, apresentando distintos valores de  $Si^{+4}$  na posição tetraédrica (Fig. 7.25 B).

Estas amostras apresentam variações dos elementos menores e da razão MMF ( $Mg/Mg+Fe^{+2}$ ), definindo aparentemente dois grupos com distinto campo composicional. A amostra TLR-349 apresenta maiores valores de  $Al^{iv}, Al^{vi}, Ti^{+4}, Cr^{+3}, Na^{+1}, K^{+1}$ . A amostra L4000N-2775A1W mostra uma maior concentração de  $Ca^{+2}$  e razão MMF. Apesar do reduzido número de análises realizadas, as variações composicionais observadas parecem indicar condições distintas de cristalização desta, nos dois corpos intrusivos.

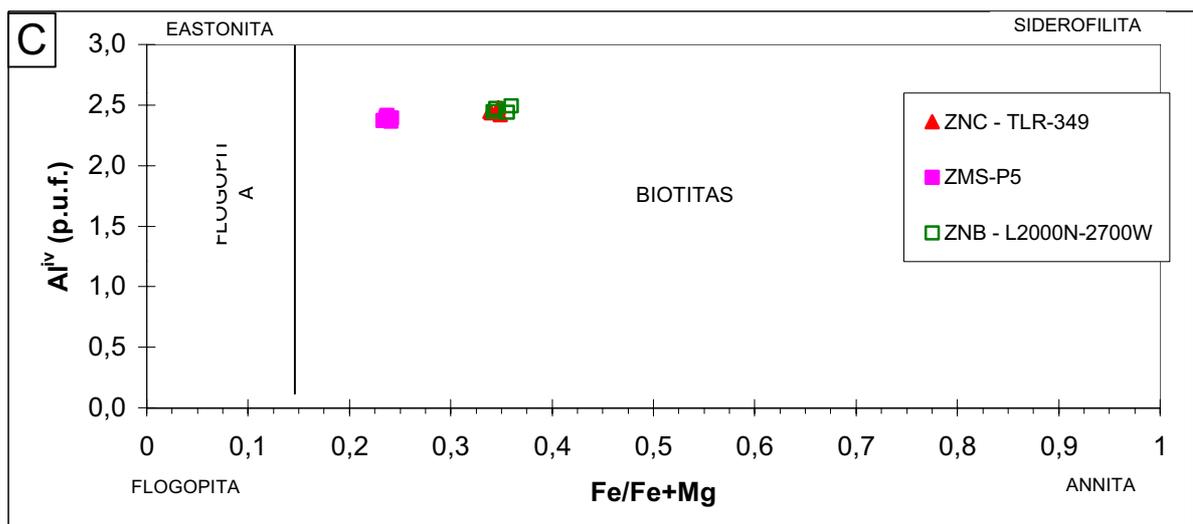
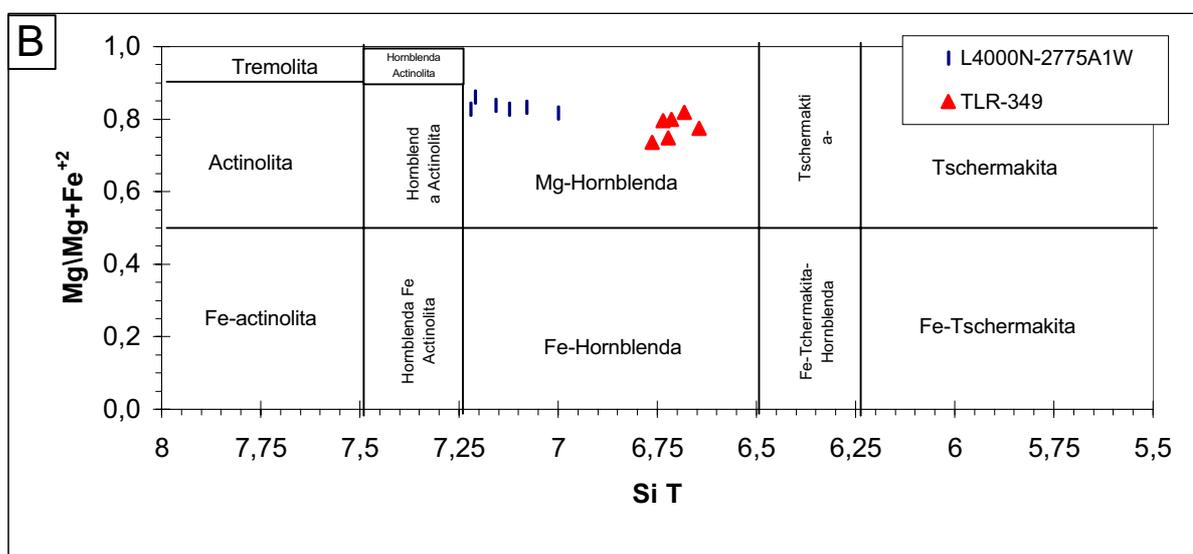
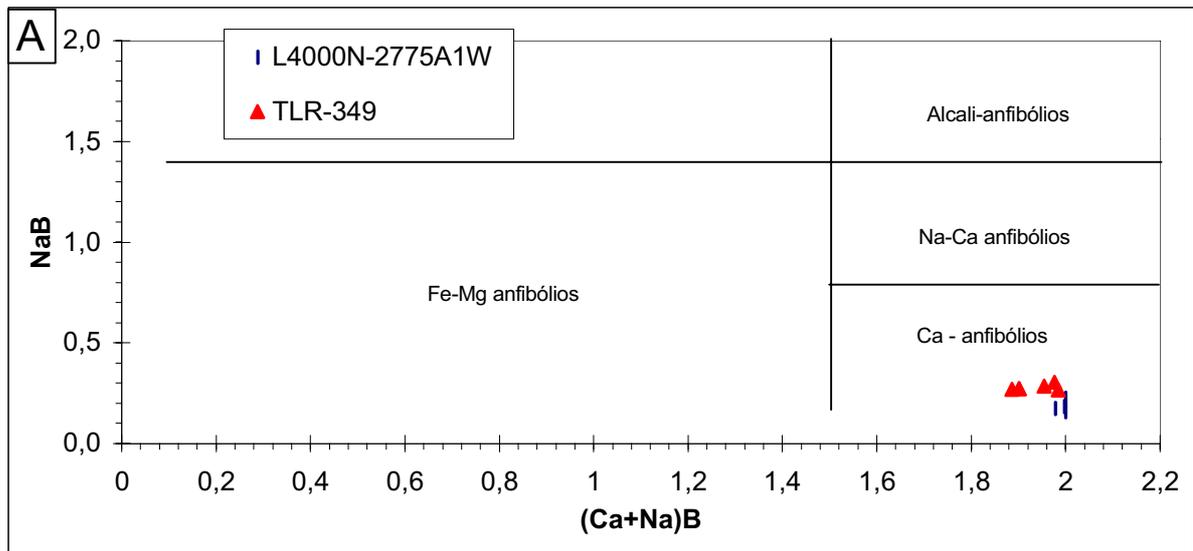


Figura 7.25 - **A)** Classificação de ANFIBÓLIO presente na Zona Norítica Central das Intrusões Noríticas. **B)** Classificação de Ca-ANFIBÓLIO presente nas Intrusões Noríticas (seg. Leake *et. al.*, 1978). Elementos calculados na base de 23 oxigênios (anfibólio). **C)** Classificação de biotita do Complexo de Cana Brava e da Zona Norítica Central (ZNC) e Zona Norítica de Borda (ZNB) das Intrusões Noríticas (nomenclatura modificada de Deer *et. al.* 1978). Elementos calculados na base de 22 oxigênios (biotita).

### 7.7.1.2 - Substituições cristaloquímicas

As substituições cristaloquímicas buscaram o equilíbrio de carga e foram representadas principalmente pela substituição Tchernack:



Esta se caracterizou pela substituição do  $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$  na posição tetraédrica, acompanhada da substituição do  $\text{Mg}^{+2}$  por  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+2}$  nos sítios octaédricos C ( $\text{M}_1$ ,  $\text{M}_2, \text{M}_3$ );  $\text{Na}^{+1}$  na posição B ( $\text{M}_4$ ) e  $\text{Na}^{+1} + \text{K}^{+1}$  na posição A.

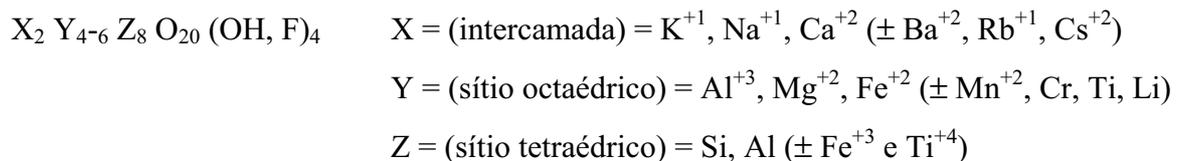
A razão  $\text{Mg}^{+2}/(\text{Mg}^{+2} + \text{Fe}^{+2})$  (MMF) ressaltou as substituições octaédricas, que na amostra TLR-349, produziram um aumento de  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  em relação a amostra L4000N-2775A1W.

O  $\text{Ca}_B^{+2}$  foi pouco afetado pela substituição Tchernack e não apresenta correlação com as variações de  $\text{Na}_B$  e  $(\text{Na}, \text{K})_A$ .

## 7.8 - MICAS

As micas analisadas estão presentes em uma amostra do Complexo de Cana Brava e em duas amostras das Intrusões Noríticas. Devido ao reduzido número de amostras, as análises objetivaram principalmente a classificação química das micas.

O estabelecimento de uma única fórmula estrutural para as micas é de difícil realização devido ao grande número de substituições cristaloquímicas que produzem inúmeras séries de solução solidas. Entretanto, de forma genérica pode-se considerar que estas se enquadram na fórmula ideal (Deer *et. al.* 1978):



O cálculo da fórmula estrutural foi realizada na base de 22 oxigênios, como FeOt redistribuído estequiometricamente em Fe<sup>+2</sup> e Fe<sup>+3</sup>. As principais substituições cristal químicas admitidas podem ser representadas por:



As micas podem ser classificadas em micas verdadeiras quando a posição X (intercamada) é ocupada por íons monovalentes (K<sup>+1</sup>, Na<sup>+1</sup>) e micas frágeis quando nesta posição estão presentes íons divalentes (Ca<sup>+2</sup>, Ba<sup>+2</sup>). Considerando que a menor unidade estrutural das micas, contém três sítios octaédricos, o preenchimento de somente dois destes, dá origem às micas dioctaédricas, enquanto o total preenchimento destas posições permite classificá-las em micas trioctaédricas.

Para a classificação das micas foi considerada a composição ideal dos *end members* (Bailey, 1984) assim como uma adaptação do diagrama de classificação da série flogopita-biotita (Deer *et al.* 1978).

Os resultados de análises com respectivas fórmulas estruturais encontram-se na tabela A.8 (anexo). Considerando o predomínio do íon monovalente (K<sup>+1</sup>) na porção X e o total preenchimento da posição Y, as micas analisadas são classificadas como biotitas (Fig. 7.24 C).

### 7.8.1 - ANÁLISE DE MICA DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

No Complexo de Cana Brava foi analisados os cristais de biotita do membro piroxenítico ZMS-P5 (amostra TLR-360). Esta fase mineral ocorre preenchendo espaços intersticiais, aparentemente desenvolvida em um estágio tardio do magmatismo. Mostra composição homogênea, com altos valores de Si<sup>+4</sup>, Ti<sup>+4</sup>, Cr<sup>+3</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Ba<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> e Ca<sup>+2</sup>. A biotita ocorre de forma semelhante nos membros ZMS-P4, ZMS-P6 e ZMS-P7, podendo analogamente também apresentar as mesmas características composicionais.

### 7.8.2 - ANÁLISE DE MICA DAS INTRUSÕES NORÍTICAS

Nas Intrusões Noríticas foi analisada uma amostra da Zona Norítica Central (ZNC - TLR-349) e uma da Zona Norítica de Borda (ZNB- L2000N-2700W). Na ZNC a mica dispõe-se preenchendo espaços intersticiais e substituindo o ortopiroxênio, enquanto na ZNB esta ocorre orientada segundo a foliação Sn.

As análises químicas indicam que a biotita possui composição homogênea (fig. 7.25 C). Suas características químicas mostram pequenas diferenças nos sítios octaédricos e nas posições intercadas, representadas por um maior enriquecimento de  $Al^{VI}$ ,  $Cr^{+3}$  e  $Na^{+1}$  na amostra da ZNB, enquanto a amostra da ZNC apresenta valores mais elevados de  $Ti^{+4}$ ,  $Mg^{+2}$  e  $K^{+1}$ . Estas diferenças podem estar associadas à recristalização metamórfica da biotita na amostra da ZNB.

## **7.9 - SUMÁRIO DAS CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONAIS DAS FASES MINERAIS DO COMPLEXO DE CANA BRAVA E INTRUSÕES NORÍTICAS**

### **7.9.1 - COMPLEXO DE CANA BRAVA**

No Complexo de Cana Brava, o padrão de variação química dos piroxênios, plagioclásio, olivina e cromo-espinélio frequentemente marcam os diferentes estágios de fracionamento ao longo da seqüência estratigráfica.

Na Zona Máfica Inferior, a partir da base (onde é encontrado olivina-melagabronorito) até o topo, as fases cúmulus apresentam significativa variação críptica. No topo desta unidade as composições dos piroxênios caracterizam-se por um enriquecimento na molécula de ferrosilita (Fs), enquanto o plagioclásio mostra um significativo aumento na molécula de albita (Ab). Acompanhando as características composicionais destes, destaca-se a feição petrográfica de aumento de apatita na moda, em direção ao topo desta unidade, ressaltando portanto a significativa diferenciação magmática nesta unidade.

Na Zona Ultramáfica, a olivina e piroxênios, presentes no peridotito da base, mostram respectivamente os mais altos valores na molécula de Fo e En. No membro piroxenítico, sobreposto ao peridotito, a composição dos piroxênios torna-se mais ricas na molécula de Fs, evidenciado o fracionamento magmático entre estes níveis estratigráficos.

Na Zona Máfica Superior, os piroxênios marcam repetidos *trends* de variação críptica, localizados coincidentemente com as subzonas estratigráficas. O plagioclásio mostra uma grande dispersão composicional. Em cada subzona, a partir dos membros piroxeníticos até o topo do membro máfico (geralmente com gabronorito), os piroxênios frequentemente mostram um enriquecimento na molécula de Fs.

Em alguns membros piroxeníticos, a olivina possui composição rica na molécula de forsterita (Fo), que juntamente com a presença de cromo-espinélio, acrescentam características petrográficas e de composição mineral indicativas que o líquido magmático retornou à composição mais primitiva, na base das subzonas estratigráficas.

De forma genérica, em posições estratigráficas mais elevadas das três principais unidades do complexo, os piroxênios mostram um aumento de MnO e na molécula de Fs além do decréscimo de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ressaltando também as variações dos elementos menores durante a cristalização fracionada.

Os sulfetos presentes nos espaços intersticiais, possuem composição similares às fases de alta temperatura, constituindo-se portanto em uma associação de origem magmática, cristalizada a partir de um líquido sulfetado imiscível.

O último estágio na evolução magmática no complexo parece estar representado pela presença de biotita (rica em MgO) e anfibólio, em alguns membros piroxeníticos da ZMS, os quais se distribuem envolvendo os piroxênios e o plagioclásio, representando provavelmente fases de cristalização tardia.

As composições das fases cúmulus e associações minerais do Complexo de Cana Brava são semelhantes a de outros complexos acamadados de filiação toleítica.

## 7.9.2 - INTRUSÕES NORÍTICAS

Nestes corpos a composição do plagioclásio mostra-se superior à An<sub>50</sub>, acrescentando às feições petrográficas, características composicionais de termos noríticos.

Na Zona Norítica Central o ortopiroxênio e plagioclásio possuem respectivamente composição mais rica na molécula de enstatita (En) e anortita (An), quando comparadas com àquelas da Zona Norítica de Borda. Este fato, associado às diferenças petrográficas (presença de quartzo, ortopiroxênio pós-cúmulus na ZNB), sugerem localmente um processo de diferenciação magmática, a partir da porção central em direção à borda destes corpos.

Nas amostras coletadas em duas distintas posições da Zona Norítica Central, a composição do ortopiroxênio, plagioclásio e anfibólio mostra-se variável.

## *LITOGEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS*

---

### **8.1 - METODOLOGIA**

Os elementos maiores, menores e traços foram analisados no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília, onde foram determinadas as concentrações Si, Al, Mg, Mn, Ca, Ti, P, Cu, Zn, Co, Nb, Y, Zr, V, Cr, Be, Ba, (espectrometria de emissão com plasma-ICP), Na e K (absorção atômica), Fe<sup>+2</sup> (volumetria), perda ao fogo (P.F) (gravimetria). A análise de Cr nos piroxenitos, corresponde ao cromo total.

Os elementos terras raras (ETR) foram analisados no Laboratório da Geosol (Geologia e Sondagem Ltda, Belo Horizonte) e dosados por espectrometria de emissão com plasma (ICP).

Foram selecionadas 50 amostras para análise de elementos maiores, menores e traços no Complexo de Cana Brava, agrupadas geralmente em um conjunto de quatro espécimes para cada subzona estratigráfica, a fim de nelas representar as posições de base, intermediária e de topo. Os resultados das análises dos elementos maiores, menores e traços, além dos minerais normativos (norma C.I.P.W.), estão na tabela 8.1.

Foram analisados vinte e três amostras para os ETR, sendo seis da ZMI, uma da ZU, treze da ZMS e três das Intrusões Noríticas. Estas foram normalizadas segundo os valores do condrito de Masuda *et.al.*(1973) divididos por 1,2, a fim de se minimizar efeitos da diferenciação observados nestes meteoritos (Henderson, 1984). As análises obtidas e os resultados normalizados encontram-se na tabela 8.2. Os padrões de distribuição destes, nos litótipos com semelhantes conteúdos mineralógicos foram comparados entre si, a fim de se avaliar possíveis variações durante processo de cristalização fracionada.

| ZONA        | ZMI          |                 |                |                |              |              |              |              |               |              |              |              | ZU         |            |            |       |
|-------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|-------|
| MEMBRO      | ZMI-SB       | ZMI-SB          | ZMI-P1         | ZMI-P1         | ZMI-M1       | ZMI-M1       | ZMI-M1       | ZMI-M1       | ZMI-P2        | ZMI-P2       | ZMI-M2       | ZMI-M2       | ZMI-M2     | ZU-P1      | ZU-P1      | ZU-P1 |
| AMOSTRA     | L6000N-8100E | L6000N-7850E    | L5000N-7280E   | L6000N-7225E   | L6000N-7125E | L6000N-6475E | L6000N-6050E | L6000N-6000E | TLR-152       | L6000N-5970E | L6000N-5750E | L6000N-5450E | L400S-400W | L400S-425W | L400S-450W |       |
| LITOTIPO    | gabronorito  | ol-melagbnorito | ortopiroxenito | ortopiroxenito | gabronorito  | gabronorito  | gabronorito  | melagbnorito | websterito-fd | gabronorito  | gabronorito  | gabronorito  | websterito | websterito | websterito |       |
| SiO2 %      | 46,03        | 44,43           | 51,20          | 48,80          | 54,10        | 52,20        | 51,38        | 49,18        | 46,69         | 48,33        | 48,29        | 46,32        | 52,20      | 52,38      | 52,30      |       |
| TiO2 %      | 0,21         | 0,22            | 0,55           | 0,44           | 1,62         | 1,31         | 1,03         | 0,61         | 1,22          | 0,56         | 0,95         | 2,37         | 0,21       | 0,19       | 0,23       |       |
| Al2O3 %     | 14,68        | 15,16           | 6,63           | 6,15           | 16,27        | 14,35        | 14,50        | 17,11        | 6,87          | 15,95        | 13,61        | 15,30        | 3,61       | 3,41       | 3,83       |       |
| FeO %       | 4,75         | 5,27            | 10,87          | 8,66           | 9,48         | 9,71         | 9,23         | 6,91         | 12,13         | 7,60         | 10,72        | 12,77        | 5,59       | 4,90       | 5,10       |       |
| Fe2O3 %     | 2,14         | 2,12            | 1,86           | 3,64           | 1,83         | 1,11         | 0,22         | 0,72         | 1,62          | 1,10         | 0,57         | 0,95         | 0,79       | 0,47       | 0,26       |       |
| MnO %       | 0,09         | 0,10            | 0,19           | 0,19           | 0,16         | 0,14         | 0,14         | 0,09         | 0,21          | 0,12         | 0,16         | 0,21         | 0,11       | 0,09       | 0,09       |       |
| MgO %       | 12,40        | 16,46           | 19,49          | 22,30          | 5,67         | 7,26         | 9,24         | 12,17        | 13,40         | 13,46        | 10,17        | 8,29         | 22,17      | 21,10      | 19,61      |       |
| CaO %       | 12,27        | 11,75           | 4,95           | 4,56           | 7,72         | 10,45        | 11,67        | 10,38        | 14,07         | 10,11        | 13,19        | 11,60        | 13,86      | 15,89      | 17,30      |       |
| Na2O %      | 4,39         | 3,58            | 4,15           | 4,18           | 2,55         | 3,16         | 2,39         | 2,57         | 2,48          | 2,13         | 1,75         | 1,67         | 0,42       | 0,47       | 0,49       |       |
| K2O %       | 0,30         | 0,23            | 0,21           | 0,23           | 0,26         | 0,26         | 0,16         | 0,21         | 1,22          | 0,14         | 0,12         | 0,38         | 0,01       | 0,01       | 0,01       |       |
| P2O5 %      | 0,90         | 0,10            | 0,07           | 0,10           | 0,13         | 0,15         | 0,14         | 0,09         | 0,27          | 0,09         | 0,21         | 0,59         | 0,07       | 0,07       | 0,07       |       |
| PF %        | 1,81         | 0,76            | 0,00           | 1,02           | 0,39         | 0,10         | 0,25         | 0,25         | 0,21          | 0,46         | 0,42         | 0,00         | 0,30       | 0,66       | 0,54       |       |
| Total       | 99,97        | 100,18          | 100,17         | 100,27         | 100,18       | 100,20       | 100,35       | 100,29       | 100,39        | 100,05       | 100,16       | 100,45       | 99,34      | 99,64      | 99,83      |       |
| FeO/MgO     | 0,54         | 0,44            | 0,64           | 0,54           | 1,96         | 1,48         | 1,02         | 0,62         | 1,01          | 0,64         | 1,10         | 1,64         | 0,28       | 0,25       | 0,27       |       |
| FeO/FeO+MgO | 0,35         | 0,30            | 0,39           | 0,35           | 0,66         | 0,60         | 0,51         | 0,38         | 0,50          | 0,39         | 0,52         | 0,62         | 0,22       | 0,20       | 0,21       |       |
| IS          | 52,18        | 59,97           | 53,55          | 57,70          | 28,92        | 33,94        | 43,55        | 54,07        | 43,67         | 55,35        | 43,70        | 34,59        | 76,71      | 78,43      | 77,07      |       |
| Co (ppm)    | 90           | 109             | 143            | 134            | 119          | 96           | 115          | 6            | 159           | 109          | 94           | 121          | 104        | 79         | 86         |       |
| Nb (ppm)    | 3            | 4               | 2              | 2              | 18           | 9            | 5            | 2            | 15            | 3            | 4            | 16           | 0          | 0          | 2          |       |
| Sr (ppm)    | 68           | 49              | 48             | 30             | 167          | 101          | 107          | 99           | 88            | 103          | 291          | 457          | 0          | 5          | 0          |       |
| Y (ppm)     | 8            | 5               | 14             | 7              | 22           | 29           | 37           | 12           | 25            | 10           | 14           | 18           | 3          | 5          | 5          |       |
| V (ppm)     | 154          | 122             | 246            | 240            | 250          | 230          | 223          | 124          | 324           | 121          | 356          | 319          | 209        | 207        | 229        |       |
| Ni (ppm)    | 253          | 397             | 748            | 760            | 57           | 63           | 107          | 306          | 67            | 430          | 59           | 54           | 311        | 482        | 540        |       |
| Zr (ppm)    | 70           | 25              | 17             | 15             | 20           | 23           | 16           | 90           | 19            | 38           | 43           | 38           | 39         | 9          | 44         |       |
| Cu (ppm)    | 85           | 89              | 111            | 117            | 49           | 37           | 56           | 81           | 52            | 84           | 31           | 31           | 78         | 113        | 144        |       |
| Be (ppm)    | 1            | 1               | 1              | 1              | 2            | 1            | 1            | 1            | 1             | 1            | 1            | 1            | -1         | -1         | -1         |       |
| Cr (ppm)    | 1400         | 900             | 1744           | 1947           | 160          | 130          | 300          | 474          | 676           | 419          | 306          | 197          | 2687       | 2739       | 2735       |       |
| Ba (ppm)    | 45           | 31              | 382            | 30             | 294          | 117          | 119          | 65           | 1180          | 367          | 205          | 1500         | 6          | 380        | 6          |       |
| Zn (ppm)    | 30           | 38              | 84             | 75             | 85           | 68           | 58           | 37           | 82            | 47           | 68           | 95           | 22         | 14         | 16         |       |
| Q           | 0,00         | 0,00            | 1,03           | 0,00           | 8,63         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| C           | 0,00         | 0,00            | 0,00           | 0,00           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Or          | 1,81         | 1,37            | 1,24           | 1,37           | 1,54         | 1,54         | 0,95         | 1,24         | 7,20          | 0,83         | 0,71         | 2,24         | 0,06       | 0,06       | 0,06       |       |
| Ab          | 12,10        | 2,57            | 0,00           | 0,00           | 21,60        | 26,68        | 20,18        | 21,71        | 0,56          | 18,08        | 14,83        | 14,05        | 3,58       | 4,01       | 4,17       |       |
| An          | 19,80        | 24,73           | 0,00           | 0,00           | 32,21        | 24,15        | 28,30        | 34,47        | 3,99          | 33,64        | 28,97        | 32,94        | 8,00       | 7,23       | 8,27       |       |
| Ne          | 13,93        | 15,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 11,04         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Lc          | 0,00         | 0,00            | 0,00           | 0,00           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Ac          | 0,00         | 0,00            | 5,36           | 10,59          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Ns          | 0,00         | 0,00            | 6,74           | 5,49           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Di          | 29,25        | 26,39           | 19,38          | 17,71          | 4,48         | 22,01        | 23,45        | 13,24        | 52,09         | 13,01        | 28,96        | 17,26        | 48,24      | 56,88      | 61,54      |       |
| Hy          | 0,00         | 0,00            | 58,66          | 43,94          | 25,51        | 18,28        | 18,19        | 5,49         | 0,00          | 10,16        | 7,63         | 13,20        | 27,73      | 19,83      | 14,38      |       |
| Ol          | 17,55        | 26,11           | 0,00           | 13,90          | 0,00         | 2,93         | 6,36         | 21,45        | 19,88         | 21,42        | 15,81        | 13,18        | 10,66      | 10,78      | 10,60      |       |
| Mt          | 3,16         | 3,09            | 0,00           | 0,00           | 2,66         | 1,61         | 0,32         | 1,04         | 2,34          | 1,60         | 0,83         | 1,37         | 1,16       | 0,69       | 0,38       |       |
| Hm          | 0,00         | 0,00            | 0,00           | 0,00           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0,00       | 0,00       |       |
| Il          | 0,41         | 0,42            | 1,04           | 0,84           | 3,08         | 2,49         | 1,96         | 1,16         | 2,31          | 1,07         | 1,81         | 4,48         | 0,40       | 0,36       | 0,44       |       |
| Ap          | 2,00         | 0,22            | 0,15           | 0,22           | 0,28         | 0,33         | 0,31         | 0,20         | 0,59          | 0,20         | 0,46         | 1,28         | 0,15       | 0,15       | 0,15       |       |
| DIWo        | 15,38        | 13,92           | 10,06          | 9,27           | 2,27         | 11,18        | 12,00        | 6,89         | 26,77         | 6,77         | 14,79        | 8,74         | 25,48      | 30,06      | 32,47      |       |
| DIEn        | 11,38        | 10,50           | 6,67           | 6,60           | 1,14         | 5,93         | 6,89         | 4,64         | 16,07         | 4,57         | 8,31         | 4,43         | 19,45      | 23,11      | 24,60      |       |
| DIFs        | 2,48         | 1,97            | 2,65           | 1,84           | 1,08         | 4,90         | 4,56         | 1,71         | 9,25          | 1,67         | 5,86         | 4,09         | 3,32       | 3,70       | 4,48       |       |
| HyEn        | 0,00         | 0,00            | 41,97          | 34,38          | 13,07        | 10,01        | 10,94        | 4,01         | 0,00          | 7,43         | 4,47         | 6,87         | 23,69      | 17,09      | 12,17      |       |
| HyFs        | 0,00         | 0,00            | 16,69          | 9,56           | 12,44        | 8,27         | 7,25         | 1,48         | 0,00          | 2,72         | 3,15         | 6,33         | 4,04       | 2,74       | 2,21       |       |
| OIFo        | 14,14        | 21,62           | 0,00           | 10,64          | 0,00         | 1,53         | 3,67         | 15,24        | 12,16         | 15,25        | 8,89         | 6,53         | 8,97       | 9,16       | 8,83       |       |
| OIFa        | 3,41         | 4,49            | 0,00           | 3,27           | 0,00         | 1,40         | 2,68         | 6,21         | 7,72          | 6,17         | 6,92         | 6,65         | 1,69       | 1,62       | 1,77       |       |
| I.D.        | 27,84        | 19,04           | 2,27           | 1,37           | 31,77        | 28,22        | 21,12        | 22,95        | 18,80         | 18,91        | 15,54        | 16,29        | 3,64       | 4,07       | 4,23       |       |

Tabela 8.1 - Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do Complexo de Cana Brava, com respectivos minerais normativos (C.I.P.W.)

| ZONA<br>MEMBRO<br>AMOSTRA<br>LITOTIPO | ZMS                               |                                   |                                       |                                     |                                     |                                     |                                      |                                    |                                    |                                      |  |                                    |                                    |                                    |                                      |                                  |                               |  |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|
|                                       | ZMS-P1                            | ZMS-P1                            | ZMS-P1                                | ZMS-M1                              | ZMS-M1                              | ZMS-M1                              | ZMS-P2                               | ZMS-M2                             | ZMS-M2                             | ZMS-P3                               | ZMS-P3                                 | ZMS-M3                             | ZMS-M3                             | ZMS-M3                             | ZMS-P4                               | ZMS-P4                           | ZMS-P4                        |  |
|                                       | L6000N-4230E<br><i>websterito</i> | L6000N-4220E<br><i>websterito</i> | L6000N-4200 E<br><i>websterito-fd</i> | L6000N-4050 E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-3800 E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-3250 E<br><i>gabronorito</i> | L1000N-2450E<br><i>websterito-fd</i> | L6000N-3000E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-2750E<br><i>gabronorito</i> | L1000N-1650E<br><i>websterito-fd</i> | L5000N-2500E<br><i>ol-melagbnorito</i> | L6000N-2300E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-1850E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-1400E<br><i>gabronorito</i> | L6000N-1350E<br><i>websterito-fd</i> | TLR-355B<br><i>ol-websterito</i> | TLR-408B<br><i>websterito</i> |  |
| SiO2 %                                | 51,02                             | 47,09                             | 49,65                                 | 45,39                               | 47,10                               | 52,40                               | 51,22                                | 50,31                              | 52,80                              | 52,20                                | 48,06                                  | 48,71                              | 48,68                              | 48,53                              | 49,92                                | 45,73                            | 47,23                         |  |
| TiO2 %                                | 0,63                              | 0,26                              | 0,42                                  | 2,89                                | 2,13                                | 0,50                                | 0,40                                 | 1,07                               | 1,81                               | 0,30                                 | 0,48                                   | 0,33                               | 0,91                               | 0,36                               | 0,35                                 | 0,12                             | 0,19                          |  |
| Al2O3 %                               | 4,90                              | 16,05                             | 8,57                                  | 16,79                               | 16,15                               | 14,65                               | 5,77                                 | 15,01                              | 14,65                              | 7,22                                 | 14,49                                  | 17,30                              | 14,66                              | 11,65                              | 8,54                                 | 2,93                             | 4,27                          |  |
| FeO %                                 | 8,79                              | 5,89                              | 7,18                                  | 12,62                               | 12,38                               | 8,11                                | 6,91                                 | 8,05                               | 10,64                              | 10,55                                | 7,58                                   | 0,87                               | 9,98                               | 12,93                              | 9,97                                 | 9,77                             | 8,46                          |  |
| Fe2O3 %                               | 0,46                              | 1,57                              | 0,79                                  | 1,99                                | 2,14                                | 0,96                                | 1,50                                 | 2,19                               | 1,57                               | 1,65                                 | 1,24                                   | 8,26                               | 1,14                               | 1,77                               | 1,29                                 | 1,14                             | 2,52                          |  |
| MnO %                                 | 0,16                              | 0,08                              | 0,12                                  | 0,23                                | 0,22                                | 0,13                                | 0,12                                 | 0,13                               | 0,17                               | 0,19                                 | 0,11                                   | 0,11                               | 0,16                               | 0,29                               | 0,16                                 | 0,20                             | 0,15                          |  |
| MgO %                                 | 17,14                             | 12,15                             | 14,45                                 | 7,41                                | 6,28                                | 9,56                                | 18,30                                | 9,61                               | 5,63                               | 20,07                                | 16,23                                  | 10,40                              | 9,44                               | 14,88                              | 21,79                                | 33,47                            | 22,65                         |  |
| CaO %                                 | 16,09                             | 16,27                             | 17,25                                 | 11,79                               | 12,07                               | 12,13                               | 15,02                                | 12,01                              | 10,15                              | 7,30                                 | 9,53                                   | 12,59                              | 12,09                              | 7,43                               | 6,30                                 | 4,07                             | 7,47                          |  |
| Na2O %                                | 0,59                              | 0,66                              | 0,56                                  | 0,99                                | 1,44                                | 1,75                                | 0,99                                 | 1,72                               | 2,13                               | 0,73                                 | 1,20                                   | 1,39                               | 1,67                               | 1,00                               | 0,80                                 | 0,42                             | 0,46                          |  |
| K2O %                                 | 0,01                              | 0,01                              | 0,01                                  | 0,01                                | 0,01                                | 0,01                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,38                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,10                               | 0,23                               | 0,17                               | 0,19                                 | 0,15                             | 0,15                          |  |
| P2O5 %                                | 0,07                              | 0,07                              | 0,07                                  | 0,11                                | 0,22                                | 0,08                                | 0,10                                 | 0,17                               | 0,22                               | 0,09                                 | 0,11                                   | 0,09                               | 0,10                               | 0,10                               | 0,06                                 | 0,06                             | 0,06                          |  |
| PF %                                  | 0,36                              | 0,25                              | 0,43                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,46                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,28                                   | 0,07                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 1,14                             | 5,55                          |  |
| Total                                 | 100,22                            | 100,35                            | 99,50                                 | 100,22                              | 100,14                              | 100,29                              | 100,35                               | 100,27                             | 100,15                             | 100,30                               | 99,31                                  | 100,22                             | 99,06                              | 99,11                              | 99,37                                | 99,20                            | 99,16                         |  |
| FeO/MgO                               | 0,54                              | 0,60                              | 0,55                                  | 1,94                                | 2,28                                | 0,94                                | 0,45                                 | 1,04                               | 2,14                               | 0,60                                 | 0,54                                   | 0,80                               | 1,17                               | 0,98                               | 0,51                                 | 0,32                             | 0,47                          |  |
| FeO/(FeO+MgO)                         | 0,35                              | 0,38                              | 0,35                                  | 0,66                                | 0,69                                | 0,48                                | 0,31                                 | 0,51                               | 0,68                               | 0,37                                 | 0,35                                   | 0,44                               | 0,54                               | 0,49                               | 0,34                                 | 0,24                             | 0,32                          |  |
| is                                    | 63,61                             | 60,38                             | 63,07                                 | 32,47                               | 28,50                               | 47,11                               | 67,53                                | 45,01                              | 27,88                              | 61,12                                | 62,12                                  | 51,50                              | 42,25                              | 48,67                              | 64,26                                | 74,65                            | 66,64                         |  |
| Co (ppm)                              | 222                               | 68                                | 74                                    | 142                                 | 141                                 | 115                                 | 112                                  | 105                                | 141                                | 131                                  | 121                                    | 83                                 | 105                                | 126                                | 141                                  | 199                              | 265                           |  |
| Nb (ppm)                              | 1                                 | 0                                 | 0                                     | 8                                   | 9                                   | 3                                   | 3                                    | 8                                  | 12                                 | 2                                    | 0                                      | 0                                  | 6                                  | 2                                  | 1                                    | 6                                | 2                             |  |
| Sr (ppm)                              | 4                                 | 126                               | 61                                    | 218                                 | 205                                 | 104                                 | 30                                   | 104                                | 106                                | 69                                   | 48                                     | 125                                | 117                                | 121                                | 73                                   | 18                               | 30                            |  |
| Y (ppm)                               | 7                                 | 3                                 | 4                                     | 3                                   | 14                                  | 17                                  | 11                                   | 23                                 | 37                                 | 22                                   | 9                                      | 7                                  | 26                                 | 6                                  | 11                                   | 3                                | 4                             |  |
| V (ppm)                               | 333                               | 136                               | 268                                   | 496                                 | 316                                 | 218                                 | 245                                  | 226                                | 272                                | 274                                  | 118                                    | 191                                | 258                                | 406                                | 256                                  | 182                              | 282                           |  |
| Ni (ppm)                              | 623                               | 95                                | 125                                   | 61                                  | 33                                  | 107                                 | 248                                  | 139                                | 41                                 | 299                                  | 322                                    | 76                                 | 100                                | 97                                 | 330                                  | 690                              | 3450                          |  |
| Zr (ppm)                              | 53                                | 39                                | 16                                    | 10                                  | 10                                  | 88                                  | 44                                   | 36                                 | 34                                 | 19                                   | 36                                     | 18                                 | 36                                 | 10                                 | 13                                   | 89                               | 19                            |  |
| Cu (ppm)                              | 71                                | 30                                | 57                                    | 38                                  | 31                                  | 50                                  | 107                                  | 46                                 | 27                                 | 41                                   | 37                                     | 39                                 | 38                                 | 30                                 | 62                                   | 55                               | 1010                          |  |
| Be (ppm)                              | 1                                 | -1                                | -1                                    | 1                                   | 1                                   | 1                                   | 1                                    | 1                                  | 2                                  | 1                                    | 1                                      | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1                                    | 1                                | 1                             |  |
| Cr (ppm)                              | 1683                              | 388                               | 1133                                  | 63                                  | 49                                  | 457                                 | 1150                                 | 338                                | 57                                 | 1620                                 | 342                                    | 395                                | 192                                | 490                                | 1810                                 | 2660                             | 2300                          |  |
| Ba (ppm)                              | 9                                 | 20                                | 8                                     | 21                                  | 215                                 | 73                                  | 27                                   | 77                                 | 171                                | 80                                   | 31                                     | 40                                 | 95                                 | 401                                | 646                                  | 27                               | 257                           |  |
| Zn (ppm)                              | 38                                | 16                                | 26                                    | 90                                  | 81                                  | 55                                  | 35                                   | 50                                 | 82                                 | 78                                   | 35                                     | 31                                 | 73                                 | 93                                 | 70                                   | 44                               | 76                            |  |
| Q                                     | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,42                                | 1,90                                | 0,00                                 | 0,89                               | 6,55                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 2,51                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| C                                     | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Or                                    | 0,06                              | 0,06                              | 0,06                                  | 0,06                                | 0,06                                | 0,06                                | 0,00                                 | 0,00                               | 2,24                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,59                               | 1,37                               | 1,01                               | 1,13                                 | 0,90                             | 0,95                          |  |
| Ab                                    | 4,99                              | 5,57                              | 4,78                                  | 8,35                                | 12,15                               | 14,75                               | 4,57                                 | 14,50                              | 17,97                              | 6,15                                 | 10,24                                  | 11,73                              | 14,25                              | 8,53                               | 6,80                                 | 3,62                             | 4,15                          |  |
| An                                    | 10,69                             | 40,71                             | 21,01                                 | 41,20                               | 37,48                               | 31,96                               | 13,32                                | 33,11                              | 29,21                              | 16,36                                | 34,45                                  | 40,56                              | 32,09                              | 27,01                              | 19,25                                | 5,77                             | 9,75                          |  |
| Ne                                    | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Lc                                    | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Ac                                    | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Ns                                    | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Di                                    | 55,18                             | 31,59                             | 52,02                                 | 13,65                               | 17,49                               | 22,41                               | 48,27                                | 20,47                              | 16,43                              | 15,43                                | 10,12                                  | 16,56                              | 22,78                              | 7,82                               | 9,48                                 | 11,47                            | 23,42                         |  |
| Hy                                    | 15,73                             | 5,64                              | 10,56                                 | 26,17                               | 24,78                               | 26,42                               | 22,66                                | 25,46                              | 21,41                              | 55,09                                | 26,18                                  | 18,29                              | 17,47                              | 41,53                              | 43,71                                | 23,68                            | 41,36                         |  |
| Ol                                    | 11,33                             | 13,50                             | 9,45                                  | 1,97                                | 0,00                                | 0,00                                | 8,02                                 | 0,00                               | 0,00                               | 3,83                                 | 16,04                                  | 0,00                               | 8,41                               | 10,61                              | 16,94                                | 52,50                            | 15,94                         |  |
| Mt                                    | 0,67                              | 2,27                              | 1,16                                  | 2,88                                | 3,10                                | 1,39                                | 2,18                                 | 3,17                               | 2,27                               | 2,39                                 | 1,82                                   | 2,20                               | 1,67                               | 2,59                               | 1,88                                 | 1,69                             | 3,90                          |  |
| Hm                                    | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                 | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                                   | 6,73                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,00                                 | 0,00                             | 0,00                          |  |
| Il                                    | 1,20                              | 0,49                              | 0,81                                  | 5,48                                | 4,04                                | 0,95                                | 0,76                                 | 2,03                               | 3,43                               | 0,57                                 | 0,92                                   | 0,63                               | 1,75                               | 0,69                               | 0,67                                 | 0,23                             | 0,39                          |  |
| Ap                                    | 0,15                              | 0,15                              | 0,15                                  | 0,24                                | 0,48                                | 0,17                                | 0,22                                 | 0,37                               | 0,48                               | 0,20                                 | 0,24                                   | 0,20                               | 0,22                               | 0,22                               | 0,13                                 | 0,13                             | 0,14                          |  |
| DiWo                                  | 28,74                             | 16,51                             | 27,13                                 | 6,91                                | 8,79                                | 11,52                               | 25,34                                | 10,58                              | 8,27                               | 8,03                                 | 5,29                                   | 8,89                               | 11,64                              | 4,01                               | 4,95                                 | 6,04                             | 12,30                         |  |
| DiEn                                  | 19,59                             | 11,57                             | 18,67                                 | 3,50                                | 4,07                                | 6,95                                | 18,48                                | 6,71                               | 3,88                               | 5,45                                 | 3,71                                   | 7,67                               | 6,61                               | 2,38                               | 3,46                                 | 4,51                             | 8,99                          |  |
| DiFs                                  | 6,85                              | 3,51                              | 6,22                                  | 3,24                                | 4,63                                | 3,93                                | 4,45                                 | 3,19                               | 4,28                               | 1,94                                 | 1,12                                   | 0,00                               | 4,52                               | 1,42                               | 1,07                                 | 0,92                             | 2,13                          |  |
| HyEn                                  | 11,65                             | 4,33                              | 7,92                                  | 13,59                               | 11,60                               | 16,88                               | 18,27                                | 17,26                              | 10,17                              | 40,64                                | 20,09                                  | 18,29                              | 10,37                              | 26,01                              | 33,34                                | 19,66                            | 33,45                         |  |
| HyFs                                  | 4,08                              | 1,31                              | 2,64                                  | 12,58                               | 13,18                               | 9,54                                | 4,40                                 | 8,21                               | 11,23                              | 14,45                                | 6,08                                   | 0,00                               | 7,10                               | 15,52                              | 10,37                                | 4,03                             | 7,91                          |  |
| OlFo                                  | 8,17                              | 10,11                             | 6,91                                  | 0,98                                | 0,00                                | 0,00                                | 6,34                                 | 0,00                               | 0,00                               | 2,75                                 | 12,02                                  | 0,00                               | 4,79                               | 6,40                               | 12,61                                | 42,82                            | 12,64                         |  |
| OlFa                                  | 3,16                              | 3,39                              | 2,54                                  | 1,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 1,68                                 | 0,00                               | 0,00                               | 1,08                                 | 4,02                                   | 0,00                               | 3,62                               | 4,21                               | 4,33                                 | 9,68                             | 3,30                          |  |
| I.D.                                  | 5,05                              | 5,63                              | 4,84                                  | 8,41                                | 12,64                               | 16,71                               | 4,57                                 | 15,39                              | 26,77                              | 6,15                                 | 10,24                                  | 14,83                              | 15,62                              | 9,54                               | 7,94                                 | 4,52                             | 5,10                          |  |

Tabela 8.1 - Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do Complexo de Cana Brava, com respectivos minerais normativos (C.I.P.W.) (cont.)

| ZONA<br>MEMBRO<br>AMOSTRA<br>LITOTIPO | ZMS                    |                           |                          |                            |                             |                             |                             |                               |                             |                            |                            |                               |                               |                            |                             |                             |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                       | ZMS-P4                 | ZMS-P4                    | ZMS-M4                   | ZMS-M4                     | ZMS-M4                      | ZMS-P5                      | ZMS-M5                      | ZMS-P6                        | ZMS-M3                      | ZMS-M3                     | ZMS-M3                     | ZMS-P7                        | ZMS-P7                        | ZMS-M7                     | ZMS-M7                      | ZMS-M7                      |
|                                       | TLR-408C<br>websterito | TLR-103A<br>websterito-fd | L2000N-00<br>gabronorito | L2000N-550W<br>gabronorito | L2000N-1000W<br>gabronorito | L3000N-1025W<br>hb-webst-fd | L2000N-1275W<br>gabronorito | L3000N-1300W<br>websterito-fd | L2000N-1325W<br>gabronorito | L2000N-1600W<br>cpx-norito | L2000N-1700W<br>cpx-norito | L2000N-1800W<br>websterito-fd | L2000N-1870W<br>websterito-fd | L2000N-1900W<br>cpx-norito | L2000N-2250 W<br>cpx-norito | L2000N-2600 W<br>cpx-norito |
| SiO2 %                                | 51,69                  | 49,55                     | 45,91                    | 47,92                      | 46,21                       | 49,92                       | 48,75                       | 49,57                         | 46,62                       | 47,87                      | 47,36                      | 49,94                         | 50,60                         | 49,29                      | 47,76                       | 47,16                       |
| TiO2 %                                | 0,12                   | 0,47                      | 0,47                     | 1,44                       | 0,41                        | 0,19                        | 0,58                        | 0,32                          | 0,82                        | 0,17                       | 0,19                       | 0,30                          | 0,33                          | 0,68                       | 0,75                        | 1,37                        |
| Al2O3 %                               | 4,28                   | 5,86                      | 16,88                    | 19,37                      | 18,95                       | 7,65                        | 17,53                       | 7,89                          | 15,82                       | 17,36                      | 19,64                      | 9,31                          | 7,74                          | 10,37                      | 18,94                       | 17,52                       |
| FeO %                                 | 1,89                   | 8,04                      | 1,33                     | 0,78                       | 10,94                       | 10,65                       | 0,61                        | 8,30                          | 12,25                       | 6,93                       | 6,10                       | 8,17                          | 8,29                          | 8,69                       | 9,95                        | 11,61                       |
| Fe2O3 %                               | 8,65                   | 0,34                      | 11,22                    | 10,40                      | 0,32                        | 0,84                        | 10,44                       | 0,40                          | 0,88                        | 0,03                       | 0,24                       | 0,23                          | 0,99                          | 0,95                       | 1,31                        | 1,84                        |
| MnO %                                 | 0,18                   | 0,23                      | 0,22                     | 0,19                       | 0,28                        | 0,24                        | 0,21                        | 0,18                          | 0,26                        | 0,20                       | 0,12                       | 0,17                          | 0,19                          | 0,18                       | 0,25                        | 0,32                        |
| MgO %                                 | 27,17                  | 17,80                     | 11,33                    | 7,47                       | 8,91                        | 20,41                       | 8,10                        | 18,40                         | 11,31                       | 15,46                      | 12,22                      | 18,31                         | 19,07                         | 17,07                      | 9,63                        | 8,33                        |
| CaO %                                 | 5,28                   | 15,85                     | 10,81                    | 9,85                       | 10,98                       | 8,67                        | 10,64                       | 12,66                         | 10,34                       | 9,86                       | 11,84                      | 11,90                         | 11,27                         | 11,35                      | 10,58                       | 10,59                       |
| Na2O %                                | 0,44                   | 0,57                      | 0,90                     | 1,18                       | 0,84                        | 0,53                        | 0,92                        | 0,62                          | 0,80                        | 0,84                       | 0,86                       | 0,73                          | 0,69                          | 0,76                       | 0,83                        | 0,98                        |
| K2O %                                 | 0,15                   | 0,23                      | 0,19                     | 0,21                       | 0,49                        | 0,17                        | 0,21                        | 0,24                          | 0,21                        | 0,21                       | 0,24                       | 0,21                          | 0,24                          | 0,21                       | 0,19                        | 0,21                        |
| P2O5 %                                | 0,06                   | 0,09                      | 0,10                     | 0,25                       | 0,11                        | 0,07                        | 0,13                        | 0,09                          | 0,10                        | 0,23                       | 0,07                       | 0,07                          | 0,07                          | 0,08                       | 0,09                        | 0,15                        |
| PF %                                  | 0,15                   | 0,73                      | 0,00                     | 0,58                       | 0,77                        | 0,00                        | 0,89                        | 0,40                          | 0,00                        | 0,27                       | 0,73                       | 0,60                          | 0,59                          | 0,52                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Total                                 | 100,06                 | 99,76                     | 99,36                    | 99,64                      | 99,21                       | 99,34                       | 99,01                       | 99,07                         | 99,41                       | 99,43                      | 99,61                      | 99,94                         | 100,07                        | 100,15                     | 100,28                      | 100,08                      |
| FeO/MgO                               | 0,36                   | 0,47                      | 1,01                     | 1,36                       | 1,26                        | 0,56                        | 1,24                        | 0,47                          | 1,15                        | 0,45                       | 0,52                       | 0,46                          | 0,48                          | 0,56                       | 1,16                        | 1,59                        |
| FeO/FeO+MgO                           | 0,26                   | 0,32                      | 0,50                     | 0,58                       | 0,56                        | 0,36                        | 0,55                        | 0,32                          | 0,54                        | 0,31                       | 0,34                       | 0,31                          | 0,32                          | 0,36                       | 0,54                        | 0,61                        |
| is                                    | 72,58                  | 66,06                     | 47,51                    | 39,32                      | 41,50                       | 62,77                       | 42,11                       | 65,90                         | 44,59                       | 65,88                      | 62,23                      | 66,28                         | 65,35                         | 61,88                      | 44,22                       | 36,56                       |
| Co (ppm)                              | 141                    | 179                       | 140                      | 110                        | 125                         | 125                         | 135                         | 220                           | 121                         | 110                        | 90                         | 121                           | 129                           | 130                        | 165                         | 142                         |
| Nb (ppm)                              | 4                      | 10                        | 4                        | 11                         | 5                           | 3                           | 8                           | 6                             | 6                           | 10                         | 3                          | 4                             | 5                             | 4                          | 0                           | 2                           |
| Sr (ppm)                              | 20                     | 74                        | 119                      | 171                        | 141                         | 53                          | 140                         | 49                            | 157                         | 148                        | 116                        | 62                            | 53                            | 77                         | 91                          | 90                          |
| Y (ppm)                               | 3                      | 13                        | 8                        | 14                         | 8                           | 20                          | 18                          | 11                            | 11                          | 10                         | 5                          | 10                            | 12                            | 14                         | 4                           | 7                           |
| V (ppm)                               | 231                    | 544                       | 252                      | 289                        | 247                         | 266                         | 217                         | 350                           | 252                         | 191                        | 312                        | 338                           | 362                           | 310                        | 187                         | 223                         |
| Ni (ppm)                              | 650                    | 280                       | 59                       | 80                         | 62                          | 238                         | 67                          | 243                           | 97                          | 78                         | 85                         | 193                           | 215                           | 139                        | 75                          | 72                          |
| Zr (ppm)                              | 21                     | 27                        | 111                      | 15                         | 121                         | 37                          | 33                          | 51                            | 32                          | 8                          | 60                         | 61                            | 123                           | 154                        | 7                           | 85                          |
| Cu (ppm)                              | 285                    | 112                       | 36                       | 51                         | 58                          | 71                          | 35                          | 60                            | 47                          | 53                         | 34                         | 48                            | 46                            | 39                         | 42                          | 49                          |
| Be (ppm)                              | 1                      | 1                         | 1                        | 1                          | 1                           | 1                           | 1                           | 1                             | 1                           | 1                          | 1                          | 1                             | 1                             | 1                          | 1                           | 1                           |
| Cr (ppm)                              | 3012                   | 2920                      | 150                      | 178                        | 227                         | 1815                        | 219                         | 1858                          | 559                         | 187                        | 537                        | 1783                          | 2123                          | 1376                       | 318                         | 188                         |
| Ba (ppm)                              | 22                     | 497                       | 46                       | 77                         | 42                          | 61                          | 50                          | 27                            | 2285                        | 67                         | 33                         | 33                            | 46                            | 43                         | 38                          | 49                          |
| Zn (ppm)                              | 59                     | 60                        | 97                       | 66                         | 86                          | 86                          | 92                          | 155                           | 85                          | 77                         | 65                         | 85                            | 110                           | 109                        | 106                         | 152                         |
| Q                                     | 0,23                   | 0,00                      | 2,59                     | 8,79                       | 0,00                        | 0,00                        | 10,12                       | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| C                                     | 0,00                   | 0,00                      | 0,00                     | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Or                                    | 0,89                   | 1,37                      | 1,13                     | 1,25                       | 2,94                        | 1,01                        | 1,27                        | 1,44                          | 1,25                        | 1,25                       | 1,44                       | 1,25                          | 1,43                          | 1,25                       | 1,12                        | 1,24                        |
| Ab                                    | 3,72                   | 4,86                      | 7,66                     | 10,07                      | 7,21                        | 4,51                        | 7,92                        | 5,31                          | 6,80                        | 7,16                       | 7,35                       | 6,21                          | 5,86                          | 6,45                       | 7,00                        | 8,28                        |
| An                                    | 9,26                   | 12,86                     | 41,68                    | 47,33                      | 47,17                       | 18,09                       | 43,86                       | 18,26                         | 39,14                       | 43,29                      | 49,52                      | 21,62                         | 17,38                         | 24,32                      | 47,21                       | 42,70                       |
| Ne                                    | 0,00                   | 0,00                      | 0,00                     | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Lc                                    | 0,00                   | 0,00                      | 0,00                     | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Ac                                    | 0,00                   | 0,00                      | 0,00                     | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Ns                                    | 0,00                   | 0,00                      | 0,00                     | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Di                                    | 12,92                  | 52,80                     | 9,12                     | 0,43                       | 6,21                        | 19,91                       | 7,15                        | 35,90                         | 9,74                        | 3,77                       | 7,62                       | 29,92                         | 30,68                         | 25,42                      | 3,79                        | 7,36                        |
| Hy                                    | 62,01                  | 7,60                      | 24,28                    | 18,65                      | 22,40                       | 38,91                       | 17,33                       | 20,79                         | 27,36                       | 27,36                      | 20,26                      | 23,29                         | 29,45                         | 26,02                      | 34,37                       | 33,63                       |
| Ol                                    | 0,00                   | 18,91                     | 0,00                     | 0,00                       | 12,57                       | 15,83                       | 0,00                        | 16,91                         | 12,64                       | 16,30                      | 12,94                      | 16,64                         | 12,97                         | 13,69                      | 3,01                        | 1,20                        |
| Mt                                    | 6,34                   | 0,50                      | 3,66                     | 3,16                       | 0,47                        | 1,23                        | 0,99                        | 0,59                          | 1,28                        | 0,04                       | 0,35                       | 0,34                          | 1,44                          | 1,38                       | 1,89                        | 2,67                        |
| Hm                                    | 4,29                   | 0,00                      | 8,76                     | 8,32                       | 0,00                        | 0,00                        | 9,96                        | 0,00                          | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                          | 0,00                          | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Il                                    | 0,23                   | 0,90                      | 0,90                     | 0,00                       | 0,79                        | 0,36                        | 1,12                        | 0,62                          | 1,57                        | 0,33                       | 0,37                       | 0,57                          | 0,63                          | 1,30                       | 1,42                        | 2,60                        |
| Ap                                    | 0,13                   | 0,20                      | 0,22                     | 0,55                       | 0,24                        | 0,15                        | 0,29                        | 0,20                          | 0,22                        | 0,51                       | 0,15                       | 0,15                          | 0,15                          | 0,18                       | 0,20                        | 0,33                        |
| DiWo                                  | 6,94                   | 27,56                     | 4,90                     | 0,23                       | 3,15                        | 10,36                       | 3,84                        | 18,74                         | 4,97                        | 1,97                       | 3,97                       | 15,62                         | 16,04                         | 13,25                      | 1,94                        | 3,73                        |
| DiEn                                  | 5,98                   | 19,16                     | 4,22                     | 0,20                       | 1,63                        | 6,97                        | 3,31                        | 13,00                         | 2,75                        | 1,35                       | 2,69                       | 10,84                         | 11,28                         | 9,10                       | 1,10                        | 1,94                        |
| DiFs                                  | 0,00                   | 6,08                      | 0,00                     | 0,00                       | 1,43                        | 2,59                        | 0,00                        | 4,15                          | 2,03                        | 0,45                       | 0,96                       | 3,46                          | 3,36                          | 3,06                       | 0,75                        | 1,69                        |
| HyEn                                  | 62,01                  | 5,77                      | 24,28                    | 18,65                      | 11,90                       | 28,37                       | 17,33                       | 15,76                         | 15,74                       | 20,57                      | 14,93                      | 17,66                         | 22,70                         | 19,47                      | 20,45                       | 17,99                       |
| HyFs                                  | 0,00                   | 1,83                      | 0,00                     | 0,00                       | 10,49                       | 10,54                       | 0,00                        | 5,03                          | 11,62                       | 6,80                       | 5,33                       | 5,64                          | 6,76                          | 6,55                       | 13,92                       | 15,64                       |
| OlFo                                  | 0,00                   | 14,00                     | 0,00                     | 0,00                       | 6,37                        | 11,22                       | 0,00                        | 12,50                         | 6,97                        | 11,94                      | 9,29                       | 12,31                         | 9,76                          | 9,98                       | 1,72                        | 0,61                        |
| OlFa                                  | 0,00                   | 4,90                      | 0,00                     | 0,00                       | 6,20                        | 4,60                        | 0,00                        | 4,41                          | 5,67                        | 4,36                       | 3,66                       | 4,34                          | 3,21                          | 3,71                       | 1,29                        | 0,59                        |
| I.D.                                  | 4,84                   | 6,24                      | 11,37                    | 20,11                      | 10,16                       | 5,52                        | 19,31                       | 6,75                          | 8,05                        | 8,41                       | 8,79                       | 7,46                          | 7,29                          | 7,69                       | 8,12                        | 9,52                        |

Tabela 8.1 - Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do Complexo de Cana Brava, com respectivos minerais normativos (C.I.P.W.) (cont.)

## 8.2 - LITOGEOQUÍMICA DOS ELEMENTO MAIORES E MENORES

A distribuição dos elementos maiores e menores ao longo da seqüência estratigráfica pode ser observada na figura 8.1.

Uma melhor avaliação do comportamento dos elementos maiores e menores durante o fracionamento magmático pode ser efetuada pela comparação com os índices de diferenciação, expressos na forma de razões entre elementos. Desta maneira, foram selecionados para a análise dos dados: o Índice de Solidificação (I.S.) de Kuno ( $\text{MgO}/\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )\* 100 e a razão FFM ( $\text{FeO}_t / \text{FeO}_t + \text{MgO}$ ).

Uma outra forma de representar estas variações químicas é através de diagramas triangulares, que mostram *trends* específicos para cada suite magmática. Neste estudo foram utilizados o diagrama AFM ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO}_t + \text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ), que evidenciam a influência da cristalização e variações químicas dos minerais ferromagnesianos e o diagrama  $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ , tendo o plagioclásio como os principal definidor do conteúdo de álcalis.

### 8.2.1 - VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES NA ZONA MÁFICA INFERIOR

#### *Gabronorito*

Na ZMI os termos gabronoríticos apresentam concentrações de  $\text{SiO} = 44,43 - 54,10\%$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,21 - 2,37\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,61 - 16,27\%$ ;  $\text{FeO} = 4,75 - 12,77\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,22 - 2,14\%$ ;  $\text{MnO} = 0,09 - 0,21\%$ ;  $\text{MgO} = 5,67 - 16,46\%$ ;  $\text{CaO} = 7,72 - 13,19\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 1,67 - 4,39\%$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,12 - 0,38\%$  e  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,09 - 0,90\%$ .

A razão  $\text{FeO}_t / \text{FeO}_t + \text{MgO}$  (FFM) apresenta-se com uma grande variação (0,30 - 0,66) ao longo da ZMI, destacando-se que nas porções basais desta zona são encontradas os seus mais baixos valores. Na porção intermediária desta zona são observadas altas razões que decrescem em direção ao membro piroxenítico ZMI-P2. A partir deste nível piroxenítico a razão FFM mostra um sistemático aumento, acompanhada de uma forte correlação linear positiva com o  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  e de forma menos evidente, com  $\text{K}_2\text{O}$  (fig.8.1). Os demais elementos não mostram quaisquer correlações com a variação do FFM.

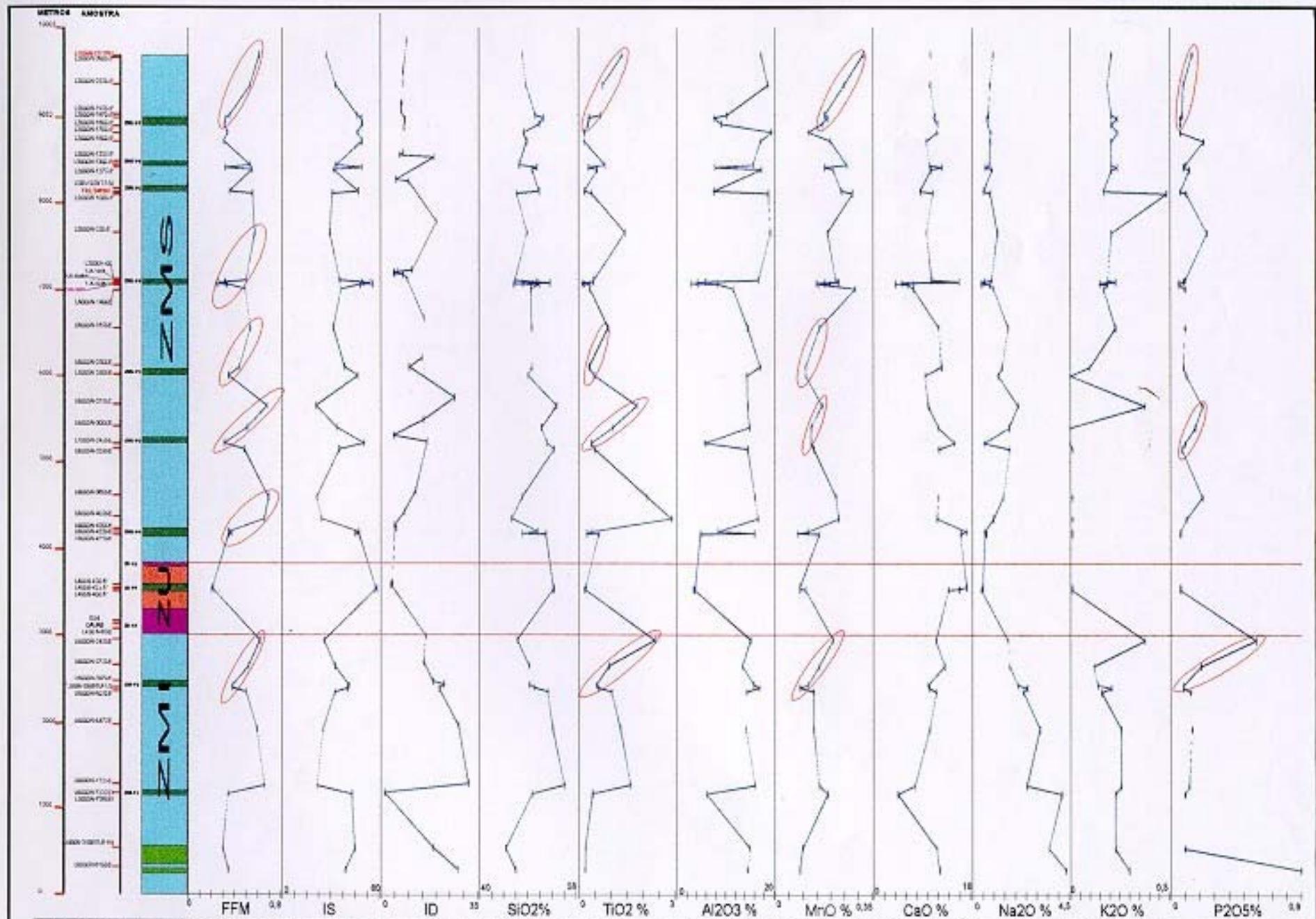


Figura 8.1 - Variação dos elementos maiores e menores ao longo da sequência estratigráfica do Complexo de Cana Brava

Os índices FFM e IS são inversamente proporcionais e apresentam boa correlação com a variação da razão MMF dos piroxênios. A figura 8.2 mostra as correlações entre o I.S. e os elementos maiores na ZMI. Pode ser verificado que o  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  possuem uma correlação negativa com I.S. O  $\text{Na}_2\text{O}$  não apresenta correlação com I.S., destacando-se a sua elevada concentração em relação às demais amostras de gabronorito da ZU e ZMS.

O sistemático aumento de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  com a razão FFM, confirma a natureza incompatível destes elementos. O aumento do  $\text{MnO}$  parece estar associado à variação críptica dos piroxênios. O  $\text{TiO}_2$  apresenta uma baixa correlação com a variação críptica do clinopiroxênio, podendo estar associado principalmente a maior presença da ilmenita nos termos com elevada razão FFM. O  $\text{P}_2\text{O}_5$  tem relação direta com o aumento da proporção modal de apatita em direção ao topo desta zona.

Portanto, estas feições indicam que na ZMI ocorreu um intenso processo de fracionamento magmático, iniciado a partir dos cumulatos à olivina na base do complexo até termos gabronoríticos ricos em apatita próximos ao contato com a ZU.

### ***Piroxenito***

Os termos piroxeníticos são representados pelos membros ZMI-P1 (ortopiroxenitos) e ZMI-P2 (hornblenda melagabronorito a websterito). Possuem valores de  $\text{SiO}_2 = 46,69 - 51,20\%$ ,  $\text{TiO}_2 = 0,44 - 1,22 \%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,15 - 17,11 \%$ ;  $\text{FeO} = 6,91 - 12,13 \%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,72 - 3,64 \%$ ;  $\text{MnO} = 0,09 - 0,21 \%$ ,  $\text{MgO} = 12,17 - 22,30 \%$ ;  $\text{CaO} = 4,56 - 14,07$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 2,48 - 4,18 \%$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,21 - 1,22 \%$  e  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,07 - 0,27 \%$ .

Nos dois níveis piroxeníticos a razão FFM apresenta-se semelhante, ao contrário dos valores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . O Membro Piroxenítico ZMS-P1 mostra os mais baixos valores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ , provavelmente associados à uma menor quantidade modal do clinopiroxênio e plagioclásio, enquanto o  $\text{MgO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  apresentam-se mais elevados. Os valores elevados de  $\text{MgO}$  devem estar associados a uma maior quantidade modal de ortopiroxênio.

O  $\text{Na}_2\text{O}$  não apresenta correlação com a composição de clinopiroxênio e plagioclásio, obtida por microsonda eletrônica. Os valores altos de  $\text{Na}_2\text{O}$ , encontrados nos piroxenitos e gabronoritos (principalmente na base desta unidade), podem estar associados ao predomínio de neoblastos de plagioclásio ricos na molécula de albita (ab), originado por processo metamórfico à exemplo do observado no Complexo de Mangabal I (Candia Fornoni, 1983).

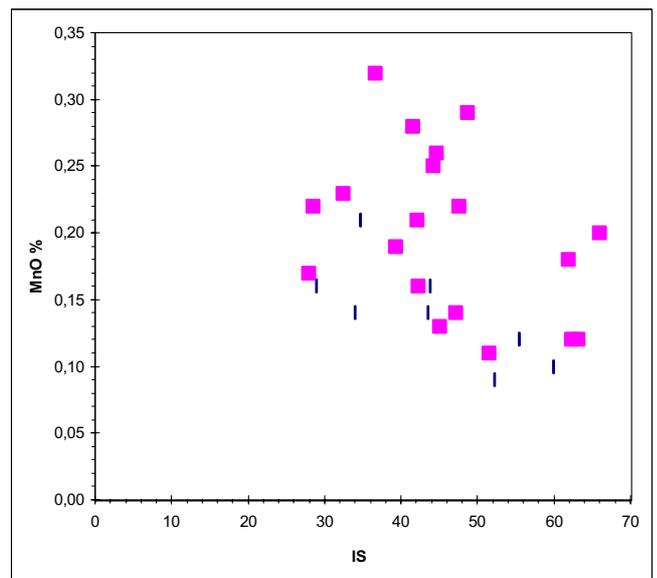
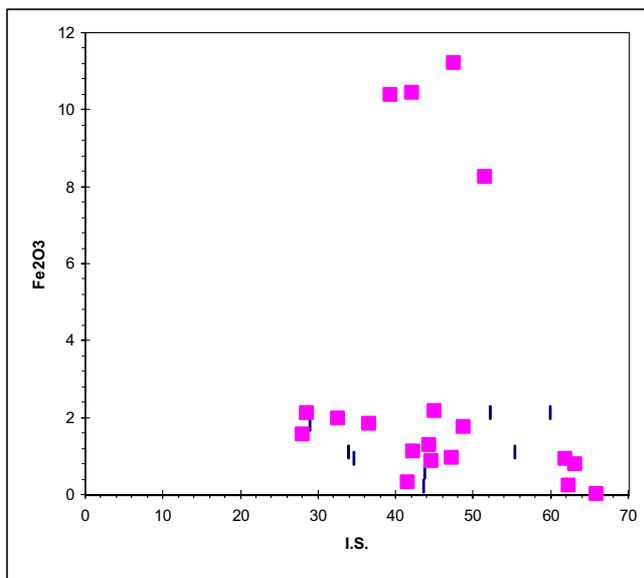
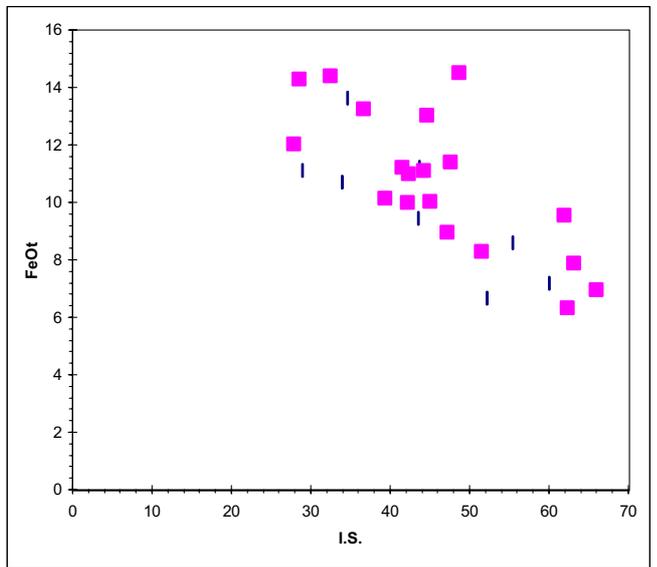
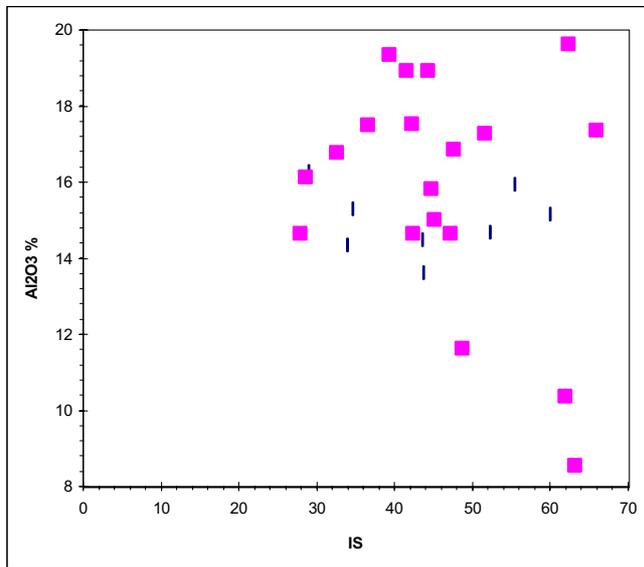
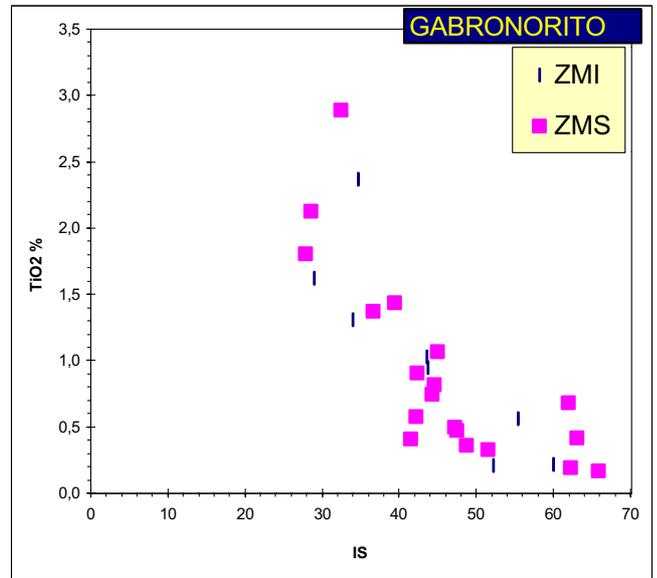
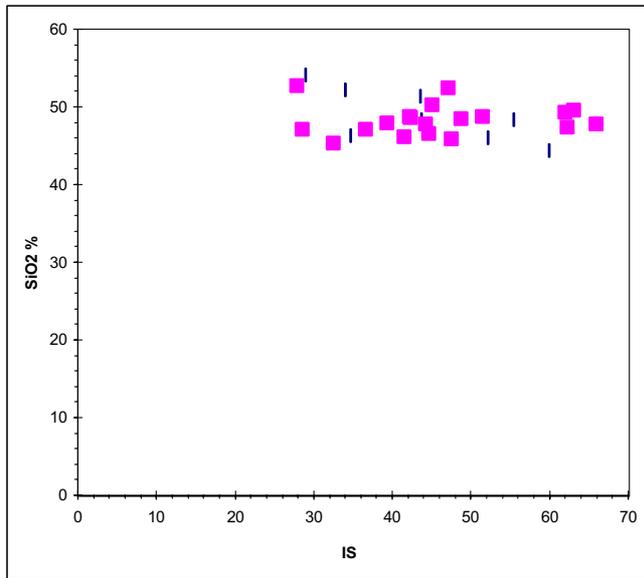


Figura 8.2 - Diagrama de variação dos elementos maiores e menores com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em **gabronorito** do Complexo de Cana Brava.

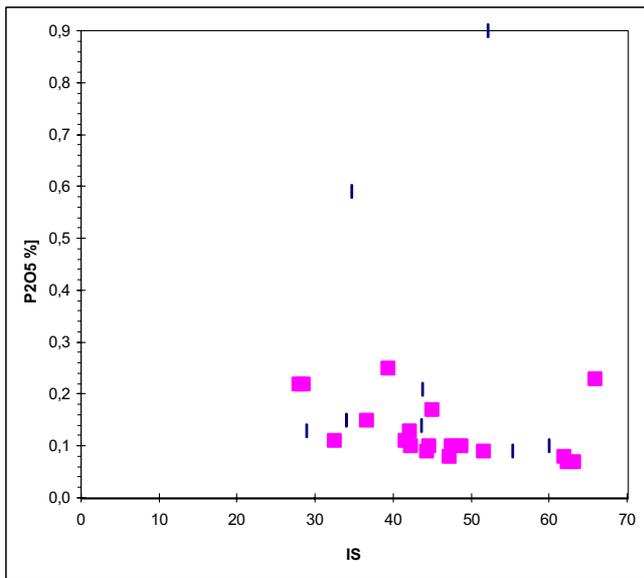
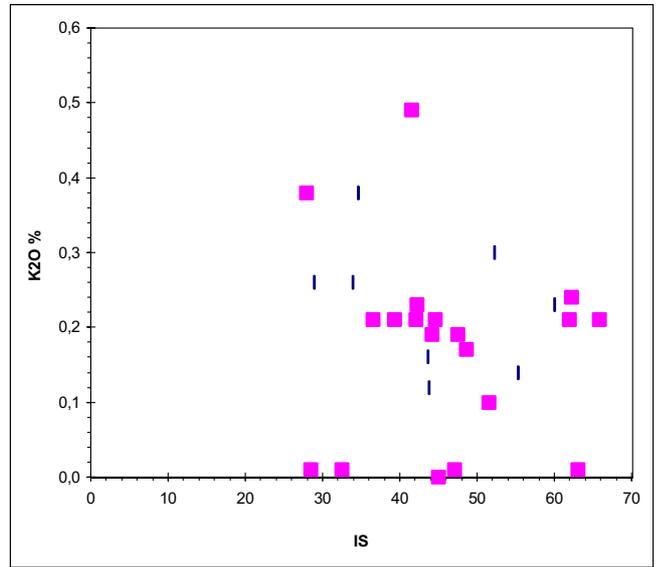
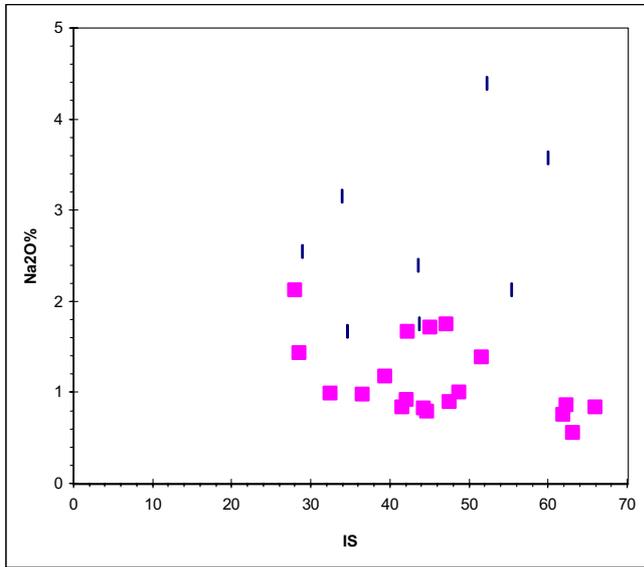
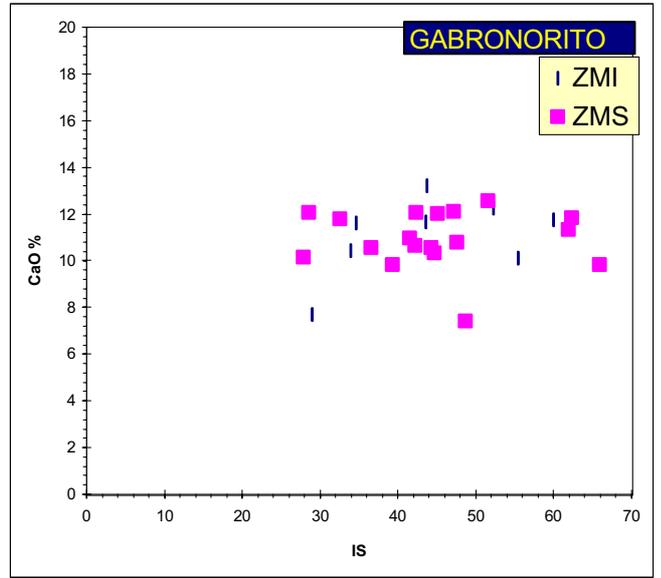
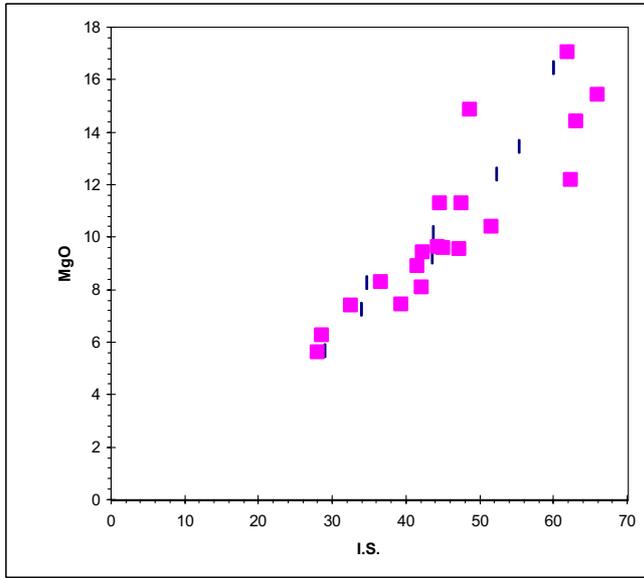


Figura 8.2 - Diagrama de variação dos elementos maiores e menores com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em **gabronorito** do Complexo de Cana Brava. (cont.)

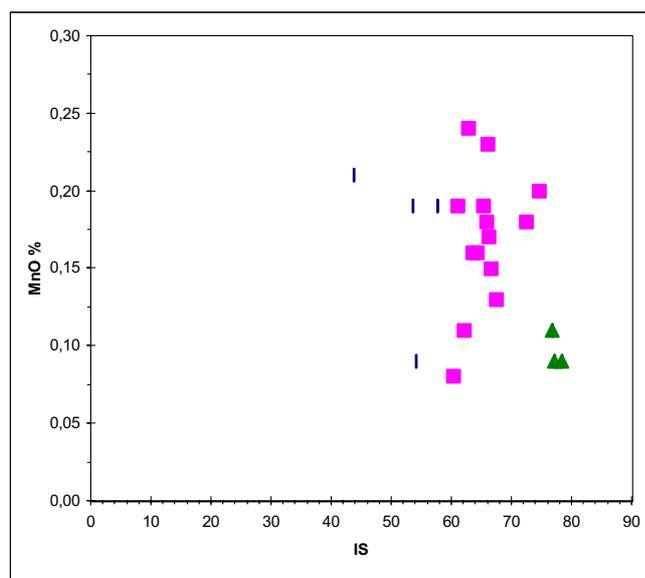
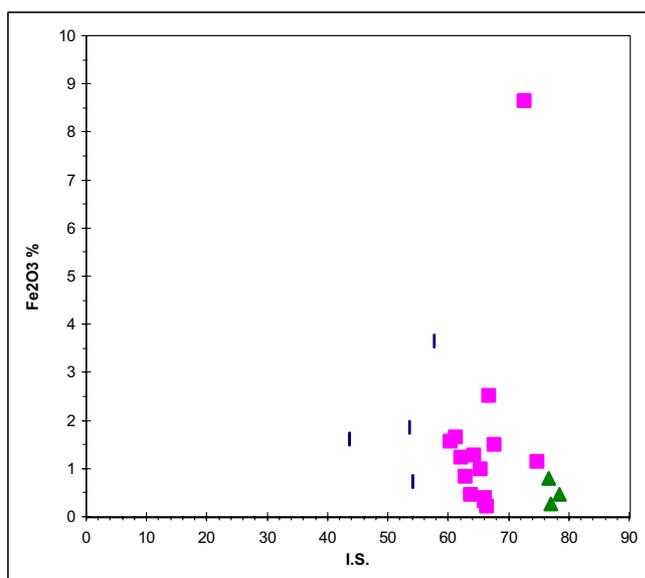
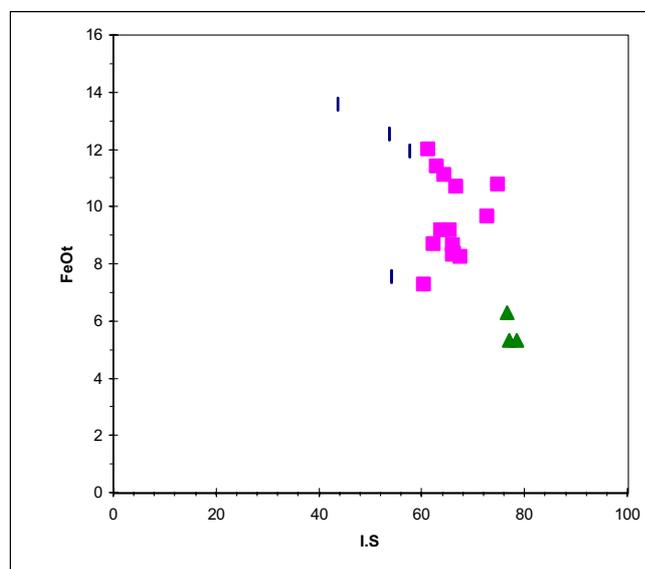
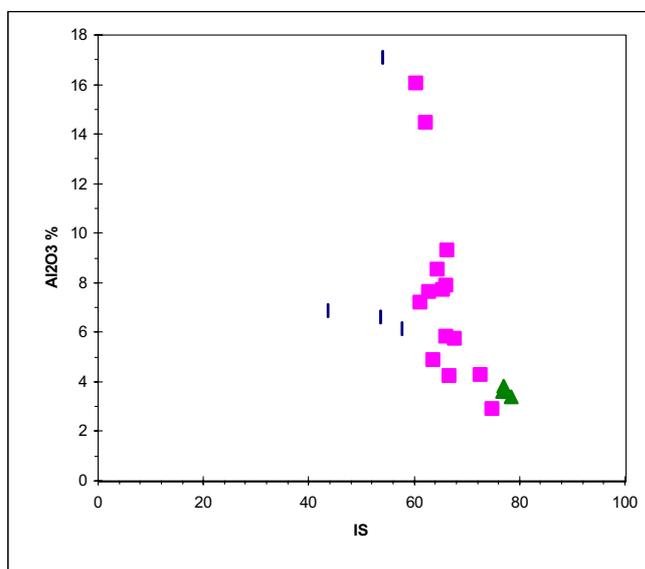
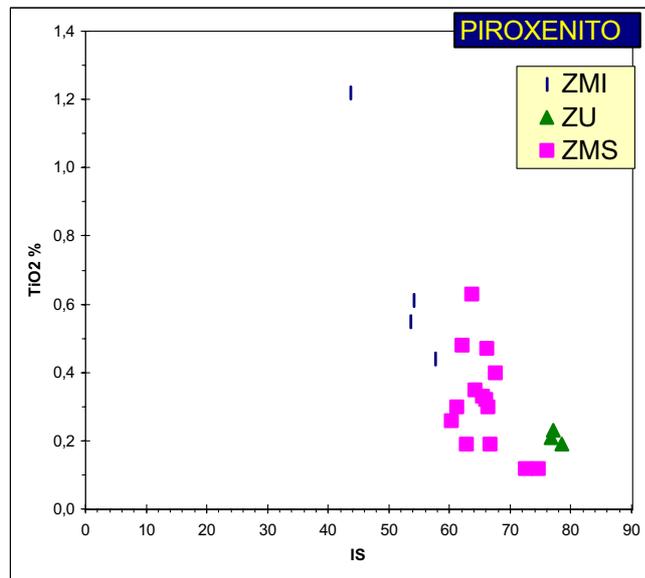
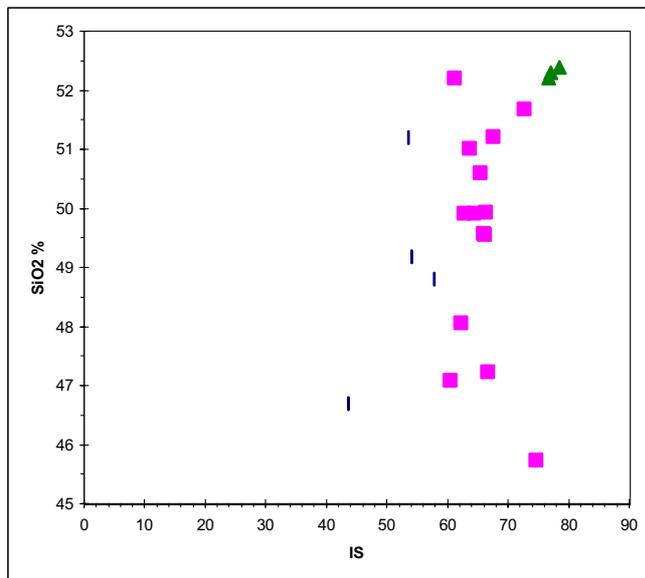


Figura 8.3 - Diagrama de variação dos elementos maiores e menores com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em **piroxenito** do Complexo de Cana Brava

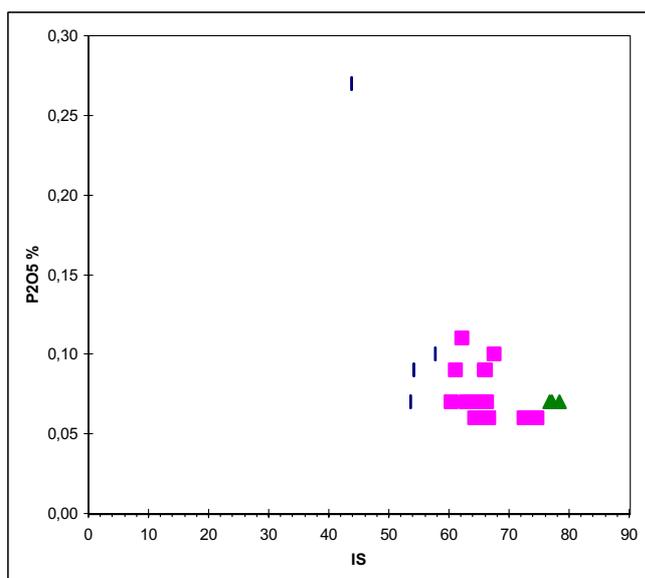
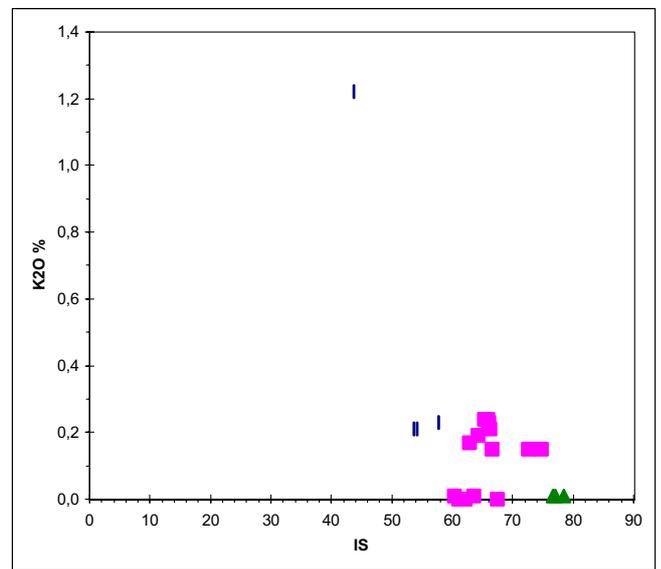
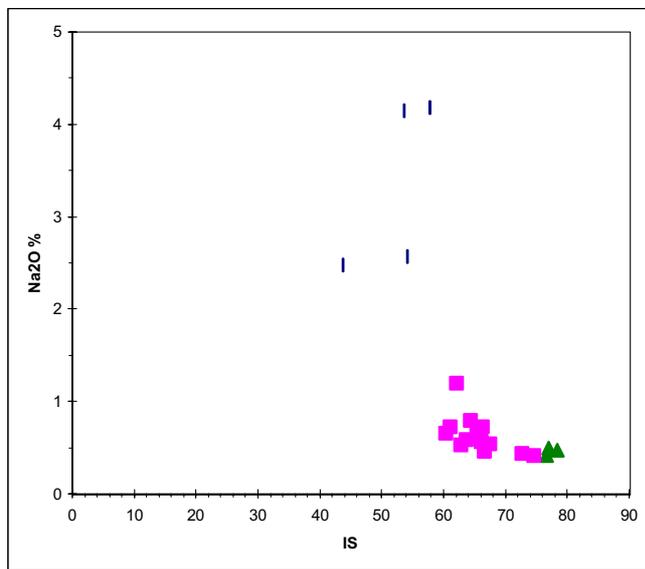
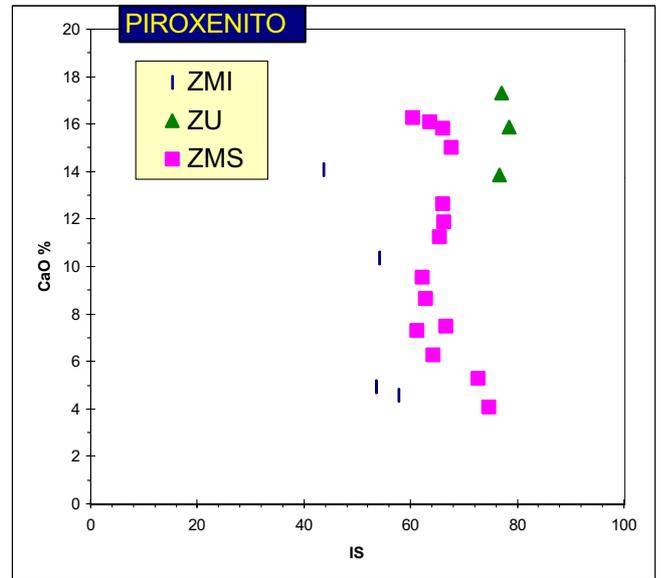
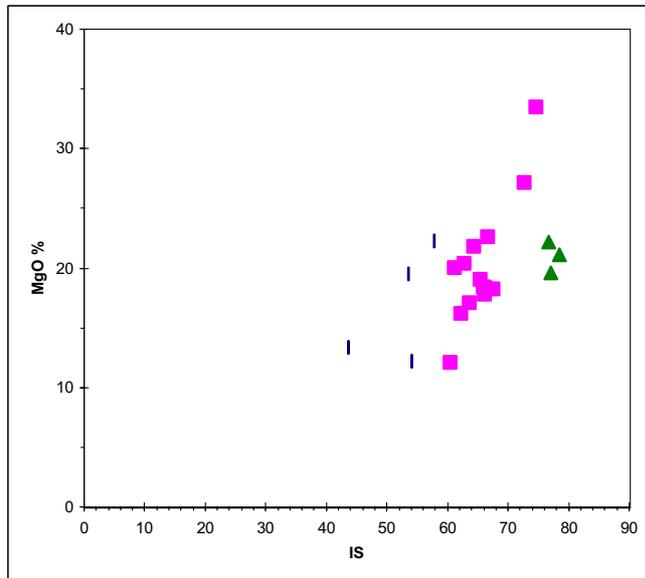


Figura 8.3 - Diagrama de variação dos elementos maiores e menores com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em **piroxenito** do Complexo de Cana Brava (cont.)

Estes piroxenitos distinguem-se daqueles das ZU e ZMS por apresentarem os menores índices de solidificação (I.S.), representando termos mais diferenciados (fig. 8.3). O  $TiO_2$  aparentemente apresenta uma correlação positiva com o I.S., enquanto os demais elementos mostram baixa correlação com este índice.

A presença de um *trend* positivo bem definido do  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$  e da razão FFM da Subzona ZMI-2 indica a forte atuação dos processos de diferenciação no topo da ZMI.

## 8.2.2 - VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES NA ZONA ULTRAMÁFICA

### *Piroxenito*

O piroxenito analisado na ZU corresponde a websterito que mostra valores de  $SiO_2 = 52,20 - 52,30 \%$ ;  $TiO_2 = 0,19 - 0,23\%$ ;  $Al_2O_3 = 3,41 = 3,83 \%$ ;  $FeO = 4,90 - 5,59 \%$ ;  $Fe_2O_3 = 0,26 - 0,79 \%$ ;  $MnO = 0,09 = 0,11 \%$ ;  $MgO = 19,61 - 22,17\%$ ;  $CaO = 13,86 - 17,30 \%$ ;  $Na_2O = 0,42 - 0,49 \%$ ;  $K_2O = 0,01 \%$  e  $P_2O_5 = 0,07 \%$ .

Este litótipo apresenta os menores valores de  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$  e da razão FFM ao longo da seqüência estratigráfica (fig.8.1), mostrando uma forte correlação positiva entre o I.S. e  $TiO_2$  e  $Al_2O_3$  (fig. 8.3).

## 8.2.3 - VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES NA ZONA MÁFICA SUPERIOR

### *Gabronorito*

As amostras de gabronorito na ZMS apresentam valores de  $SiO_2 = 45,39 - 52,80 \%$ ,  $TiO_2 = 0,17 - 2,89 \%$ ;  $Al_2O_3 = 10,37 - 19,64 \%$ ;  $FeO = 0,61 - 12,93 \%$ ;  $Fe_2O_3 = 11,22 \%$ ;  $MnO = 0,11 - 0,32 \%$ ;  $MgO = 5,63 - 17,07 \%$ ;  $CaO = 7,43 - 12,59 \%$ ;  $Na_2O = 0,57 - 2,13$ ;  $K_2O = 0,00 = 0,49 \%$  e  $P_2O_5 = 0,07-0,25\%$ .

As variações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO refletem principalmente a diferença na porcentagem de ortopiroxênio e clinopiroxênio nas amostras analisadas. O Índice de Solidificação (I.S.) apresenta correlação negativa com TiO<sub>2</sub>, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fig. 8.2).

Foram observados pequenos *trends* no aumento da razão FFM, das subzonas ZMS-1, ZMS-2, ZMS-3, ZMS-4 e ZMS-7, às vezes acompanhados do incremento de TiO<sub>2</sub>, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fig.8.1). Este fato sugere diferenciação em pequena escala, interrompida nos piroxenitos, que se repete sucessivamente iniciando novos ciclos. Algumas amostras de gabronorito presentes no topo das subzonas ZMS-1 e ZMS-3, próximas aos termos piroxeníticos, apresentam uma diminuição na razão FFM.

Estes fatos sugerem que os processos de diferenciação foram interrompidos em cada subzona estratigráfica, provavelmente pela entrada de novo pulso de magma. Desta forma podem ter sido desenvolvidos similares *trends* de variação dos elementos, conduzindo à formação de unidades cíclicas na ZMS.

### ***Piroxenito***

As análises das amostras de piroxenito (geralmente feldspático) desta zona apresentam intervalos composicionais de: SiO<sub>2</sub> = 45,73 - 52,20 %, TiO<sub>2</sub> = 0,12 - 0,63 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2,93 - 16,05 %; FeO = 1,89 - 10,65 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,23 - 8,65 %; MnO = 0,08 - 0,24 %; MgO = 12,15 - 33,47 %; CaO = 4,07 - 17,25 %, Na<sub>2</sub>O = 0,42 - 1,20%; K<sub>2</sub>O = 0,00 - 0,24 % e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0,06 - 0,11 %.

Foi observado pequeno aumento da razão FFM, na passagem entre os níveis ZU-P1 (0,20 - 0,22) para ZMS-P1 (0,35 - 0,38); ZMS-P2 para ZMS-P3 e ZMS-P4 para ZMS-P5 (fig. 8.1) Os níveis ZMS-P6 e ZMS-P7 apresentam valores similares da razão FFM.

Os valores do índice de solidificação (I.S.) nos termos piroxeníticos da ZMS, mostram-se intermediários, em relação aos observados na ZMI e na ZU (fig.8.3).

### **8.2.4 - NORMA C.I.P.W. DO COMPLEXO DE CANA BRAVA**

A utilização da norma C.I.P.W. auxilia na distinção de rochas insaturadas e saturadas em sílica. A partir da presença de minerais normativos saturados (qz, hy, or, ab, m) ou insaturados (ol, ne, lc, mc, c) Yoder & Tilley (1962) classificaram as rochas basálticas em: basaltos toleííticos, basaltos olivina-toleííticos, olivina-basaltos e alcali-olivina-basaltos.

A maioria das amostras analisadas no Complexo de Cana Brava apresenta hiperstênio e olivina ( $\pm$ quartzo) normativos, similar ao encontrado em basalto olivina-toleítico. Três amostras da ZMI (metagabronorito, olivina-melagabronorito e ZMI-P2), apresentam nefelina e olivina normativa. Dentre estas, a amostra de metagabronorito deve estar ressaltando os altos valores de  $\text{Na}_2\text{O}$  resultantes de processo metamórfico.

O quartzo normativo, quando presente, reflete a composição modal de metagabronorito muito deformado e que sofreu o aporte de sílica devido a processos metamórficos.

As amostras com hematita normativa são aquelas que apresentam elevado ( $>8\%$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , resultante de processos de oxidação tardia. A apatita e a ilmenita normativa apresentam uma forte correlação com a distribuição modal observada em lâmina. As amostras com An normativo inferior a 25% correspondem aos piroxenitos. Acima deste valor, refletem a presença de plagioclásio cúmulus, presente nos gabronoritos.

A norma também foi utilizada para calcular o Índice de Diferenciação (ID) de Thornton & Tuttle (1960) ( $Q + Or + Ab + Ne + Ks + Lc$ ) que, no complexo, mostrou dois conjuntos de valores, representados por elevados ID's na ZMI em contraste com a maioria dos valores da ZU + ZMS (fig. 8.1). Esta variação se deveu sobretudo aos mais altos valores de Ab normativa encontrados nas amostras do ZMI.

### 8.2.5 - DIAGRAMAS TRIAGULARES DO COMPLEXO DE CANA BRAVA

No diagrama AFM (fig.8.4 A) o *trend* das amostras do complexo assemelha-se àquele observado em suítes toleíticas, mostrando um significativo espectro de variação da razão  $\text{FeO}/\text{MgO}$ .

Quando são analisados os *trends* no diagrama AFM das três unidades do complexo, observam-se que os litotipos da ZMS e ZMI apresentam semelhantes intervalos de diferenciação, com as amostras da ZU dispondo-se na porção inferior do *trend* da ZMS. As amostras da ZMI distinguem-se por um maior enriquecimento em álcalis. Estes fatos parecem indicar a presença de dois principais eventos magmáticos no complexo, que formaram as zonas ZMI e ZU + ZMS.

No diagrama  $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  (Fig.8.4 B) observou-se um *trend* aparentemente direcionado para enriquecimento em  $\text{Na}_2\text{O}$ , nas rochas da Zona Máfica Inferior, provavelmente relacionado à mobilidade do sódio durante o metamorfismo.

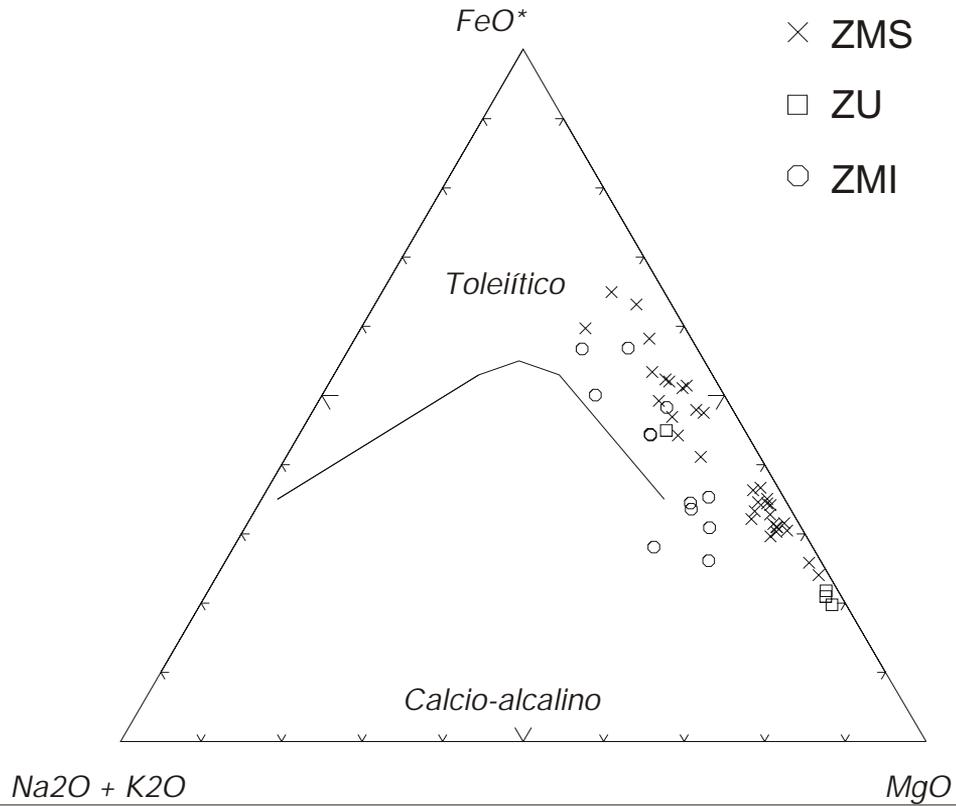
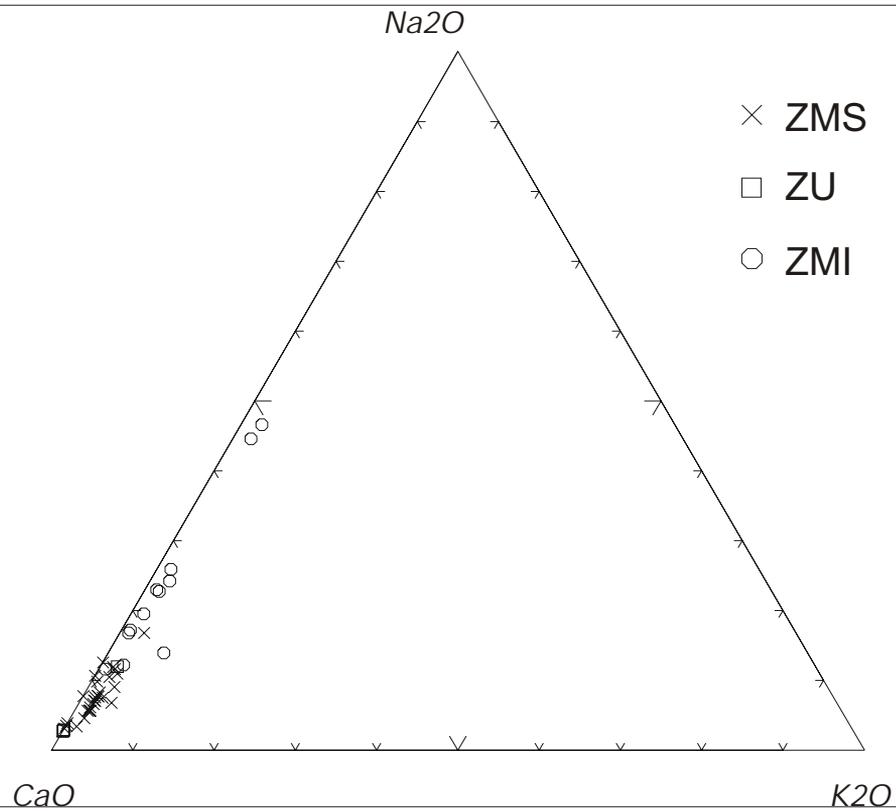
**A****B**

Figura 8.4 - A) Diagrama AFM das rochas do Complexo de Cana Brava, mostrando a separação dos campos toleiítico e cálcio-alcino de Irvine & Baragar (1971).  
B) Diagrama CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O.

Óxidos em % peso.

### **8.3 -LITOGEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TRAÇOS**

#### **8.3.1 - LITOGEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TRAÇOS NO COMPLEXO DE CANA BRAVA**

Os elementos traços apresentam grandes variações em suas concentrações ao longo da seqüência estratigráfica, controlados principalmente pela composição dos litotipos. Formam às vezes *trends* de variação composicional coincidentes com as subzonas estratigráficas (fig.8.5).

As variações dos elementos traços durante a diferenciação magmática foram analisadas nos diagramas dos Índices de Solidificação de Kuno (I.S), para os gabronoritos (fig.8.6) e piroxenitos (fig.8.7).

O  $\text{Cr}^{+3}$  (elemento compatível) e Y e Sr (elementos incompatíveis) mostram as melhores correlações com os índices de fracionamento. O  $\text{Cu}^{+2}$  (e  $\text{Co}^{+2}$ ) por apresentar geralmente um forte particionamento para os sulfetos, não foi considerado sob a ótica do fracionamento de líquidos magmáticos. Os resultados de  $\text{Co}^{+2}$  devem ser considerados com ressalvas, devido à utilização de moinho de widia, durante a etapa de preparação das amostras para análise litogeoquímica, podendo ter sofrido contaminação nesta etapa. O  $\text{Be}^{+2}$  mostra concentrações próximas ao limite de detecção, enquanto as análises para o Nb encontram-se em etapa de desenvolvimento de metodologia analítica e portanto devem ser também consideradas com ressalvas.

Ao longo da seqüência estratigráfica, pode-se observar que ocorre um aumento na razão FFM, Sr e Y, acompanhada da diminuição de Ni e Cr, em direção ao topo de algumas subzonas da ZMI e ZMS. Este padrão define os *trends* de diferenciação em cada subunidade estratigráfica, à semelhança do comportamento dos elementos maiores e menores, o que também sugere a presença de unidades cíclicas.

#### ***Gabronorito e piroxenito***

O  $\text{Cr}^{+3}$  apresenta a melhor correlação com o índice I.S., mostrando um aumento significativo a partir de valores mais elevados de I.S. (50-80). Uma rápida depleção do cromo está associada a valores de I.S. inferiores a 50; indicando um comportamento semelhante aos dos elementos compatíveis.

Os elementos que apresentam uma correlação regular são representados pelo Y e Sr. Destes destaca-se o Sr, que mostra uma correlação negativa com I.S.



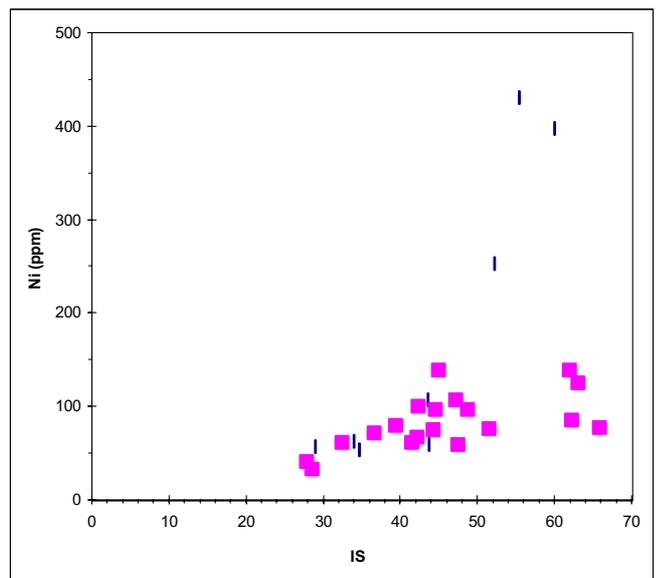
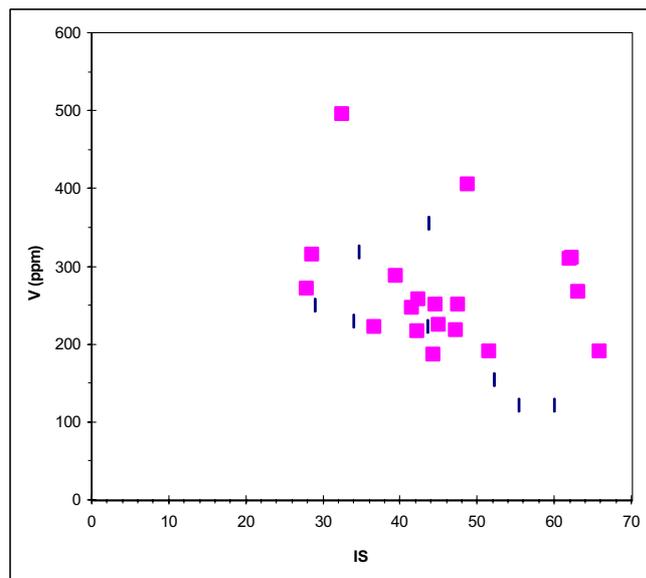
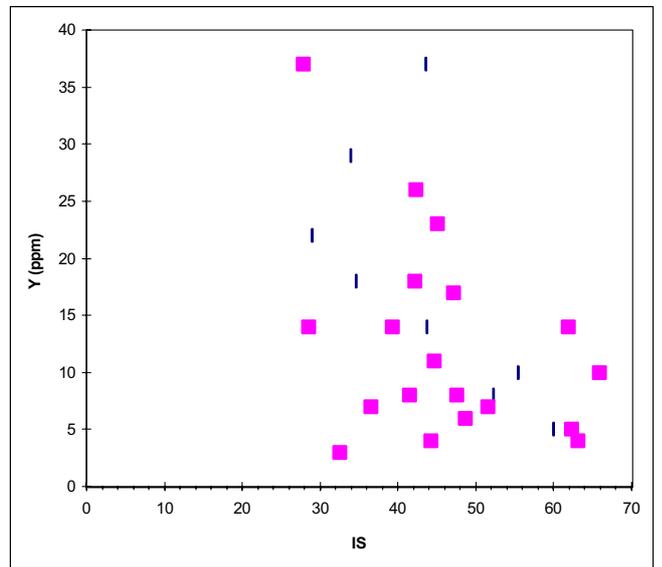
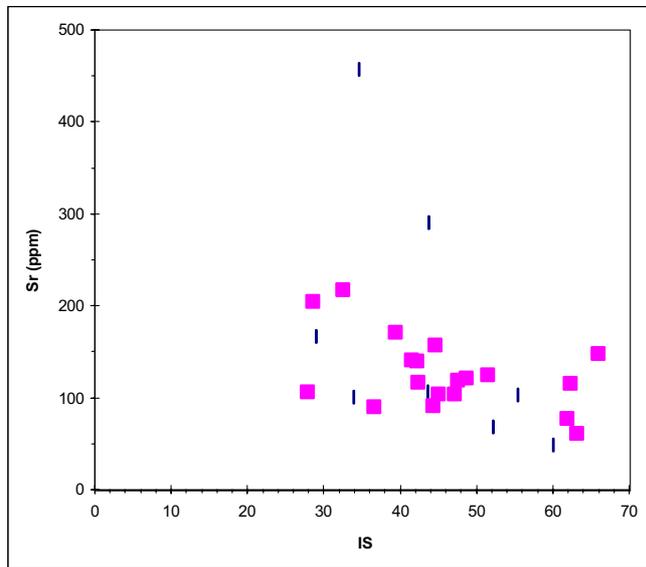
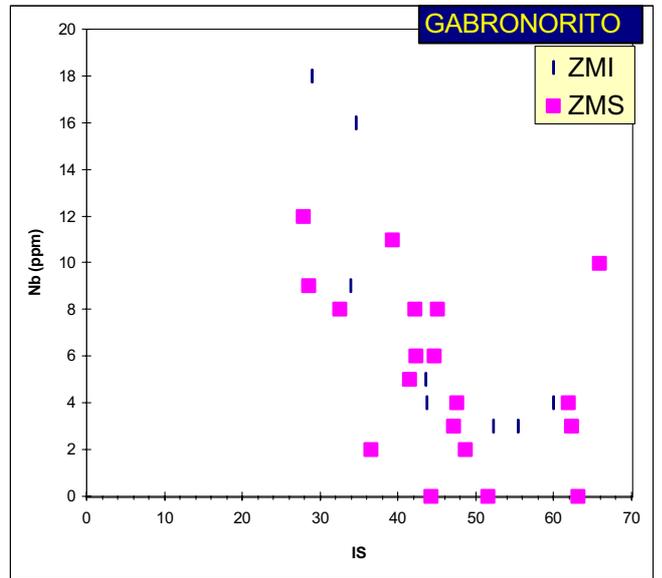
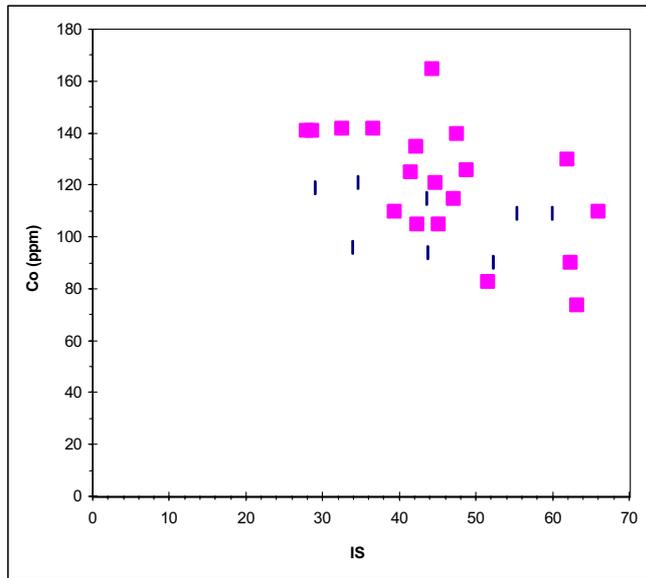


Figura 8.6 - Diagrama de variação dos elementos traços com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em gabronorito do Complexo de Cana Brava.

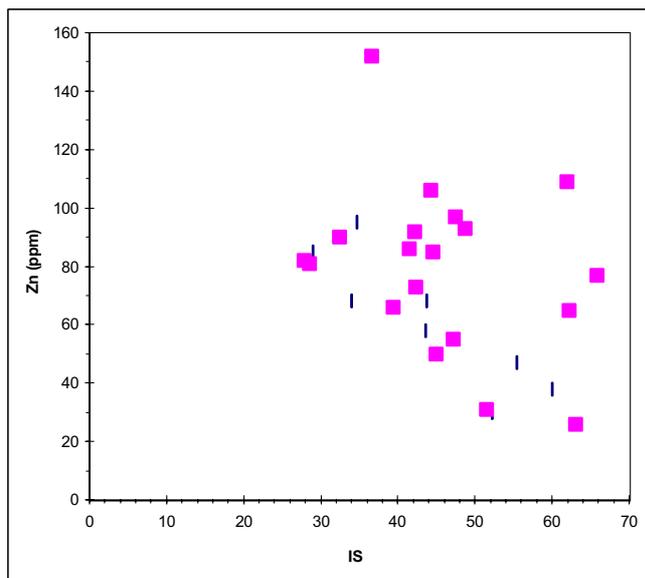
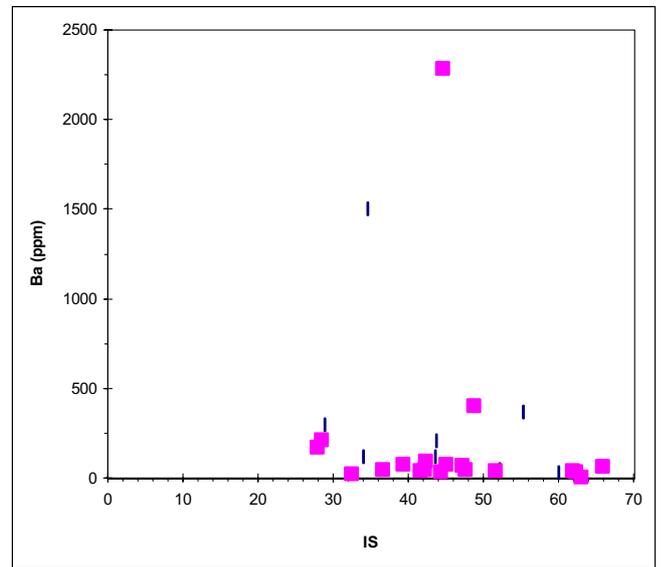
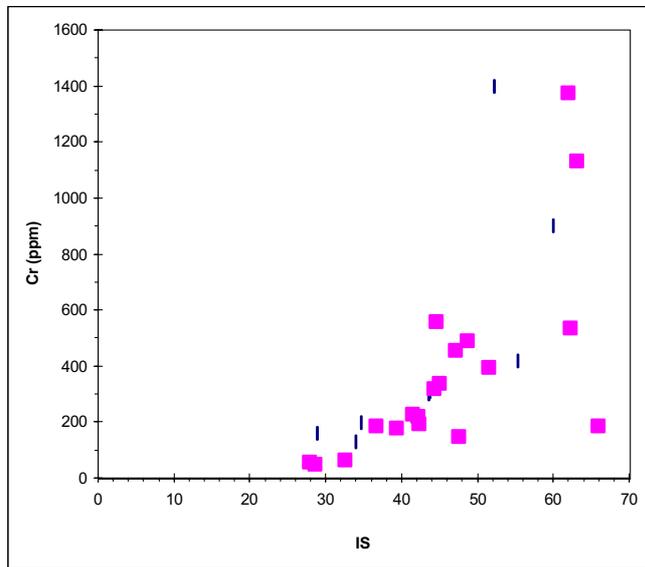
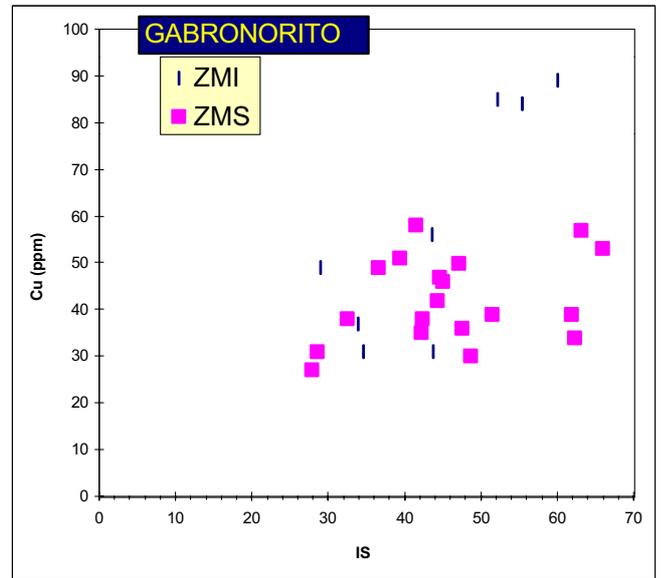
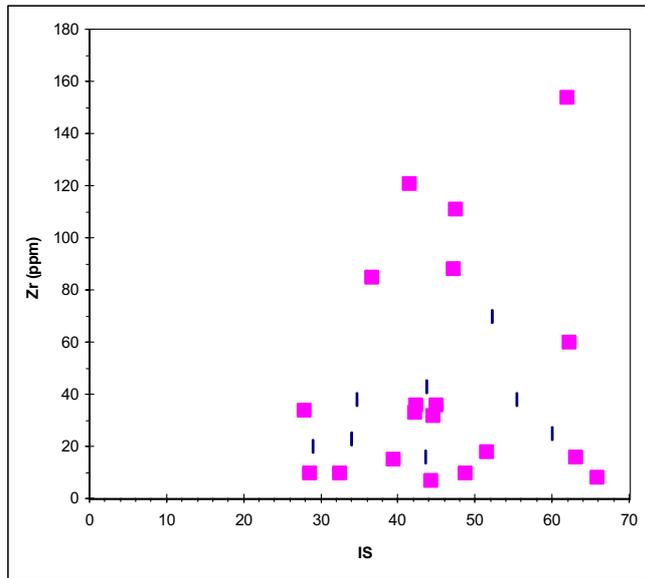


Figura 8.6 - Diagrama de variação dos elementos traços com o Índice de Solidificação de Kuno (I.S.), em **gabronorito** do Complexo de Cana Brava (cont.)

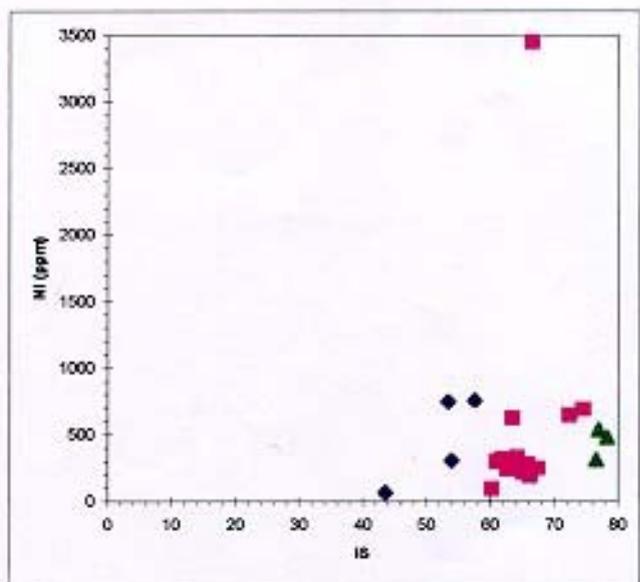
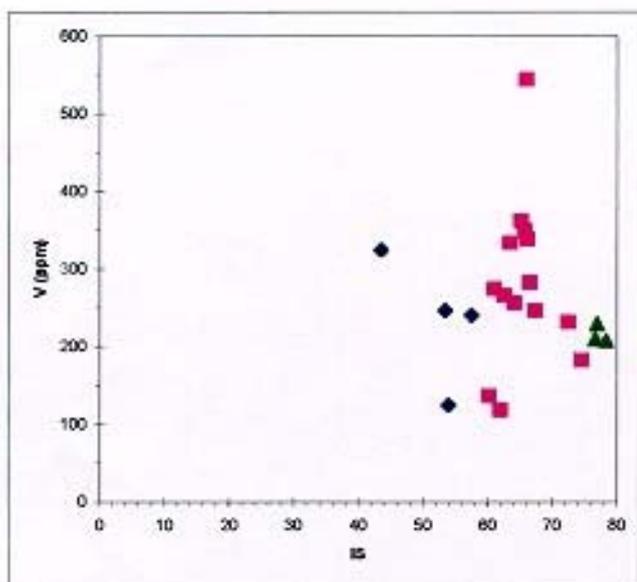
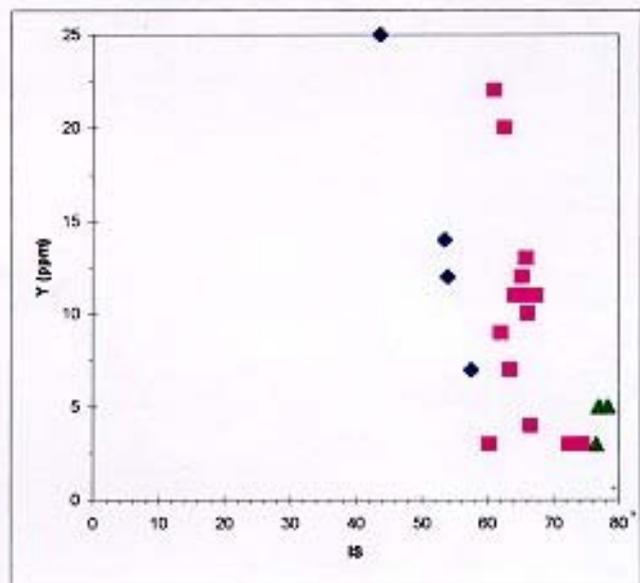
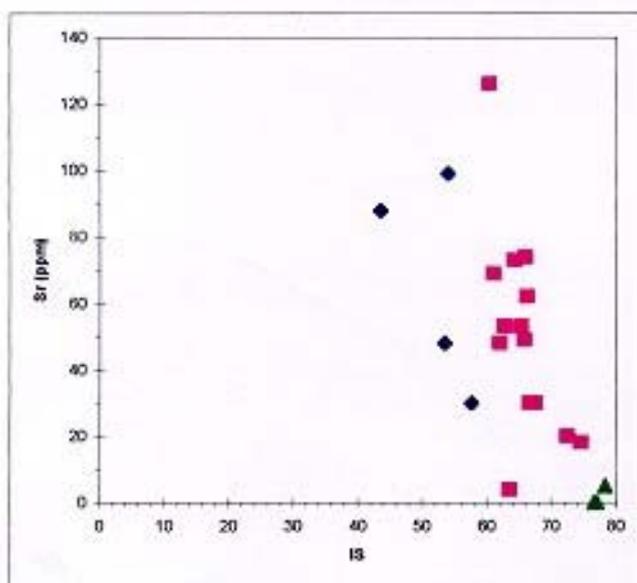
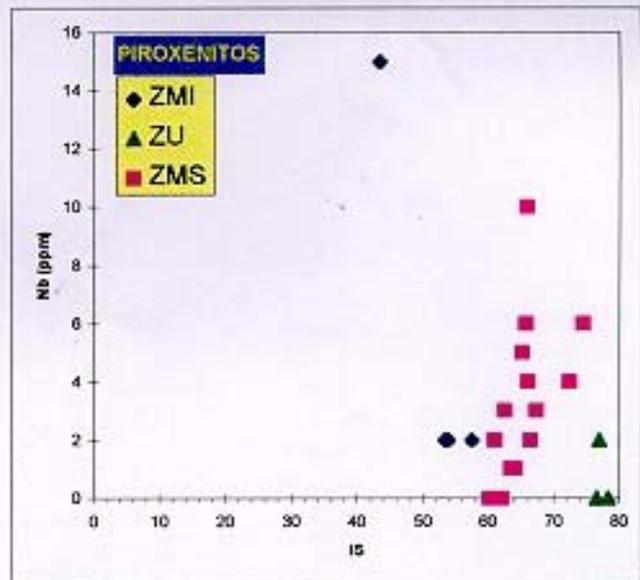
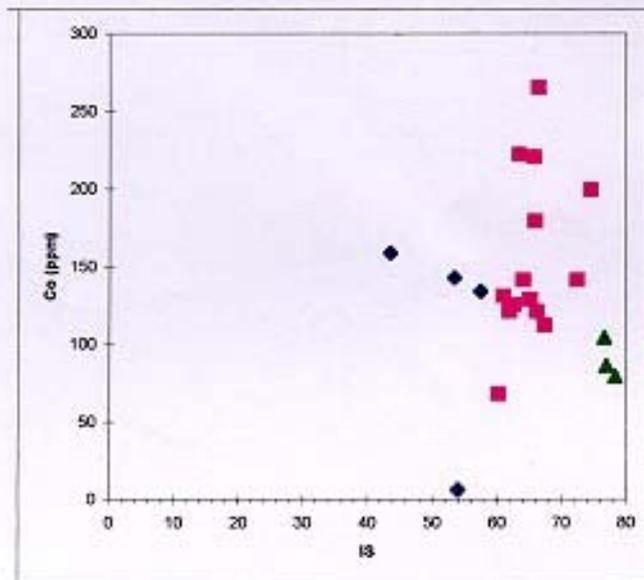


Figura 8.7 - Diagrama de variação do Índice de Solidificação de Kuno (I.S.) e elementos traços em piroxenos do Complexo de Cana Brava.

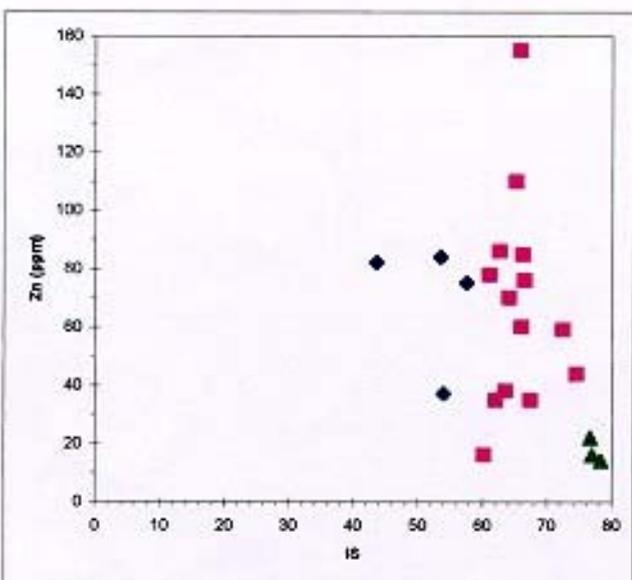
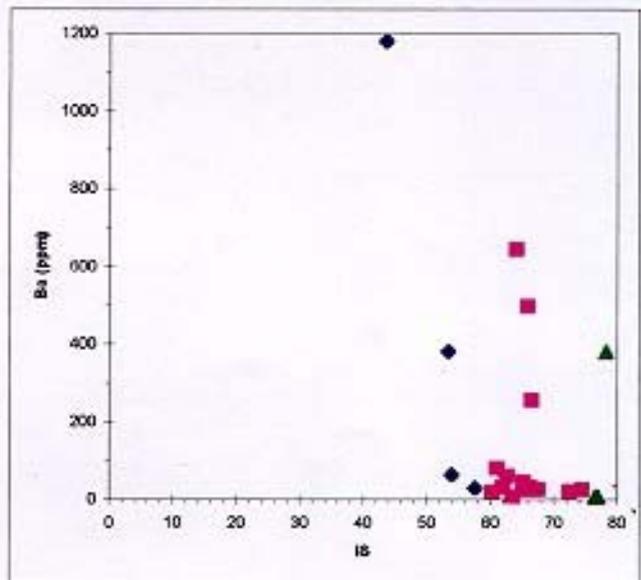
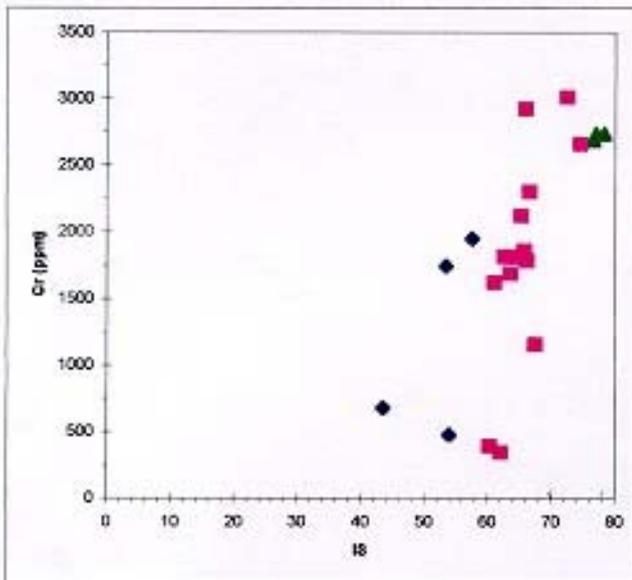
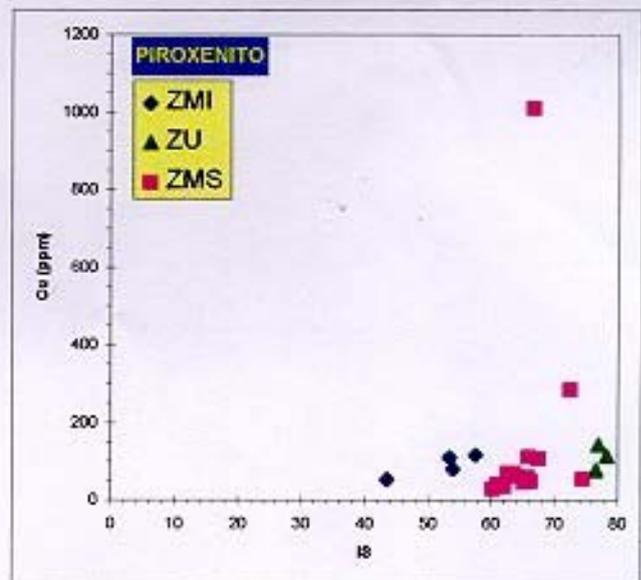
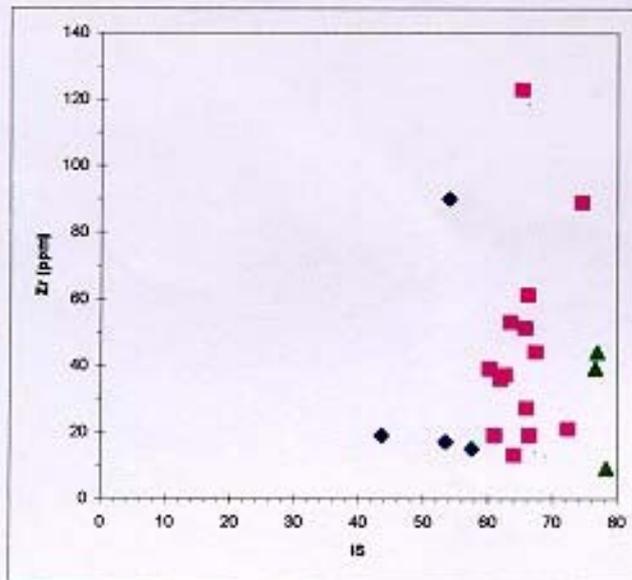


Figura 8.7 - Diagrama de variação do Índice de Solidificação de Kuno (I.S.) e elementos traços em piroxenitos do Complexo de Cana Brava.

O controle do conteúdo mineralógico sobre a concentração dos elementos é evidenciado quando se compara os resultados obtidos nos piroxenitos e gabronoritos do complexo. Os piroxenitos da ZMI mostram valores de Ni (306 a 760 ppm) e Cr (474 a 1947 ppm) superiores àqueles observados nos gabronoritos (Ni = 54 a 430 ppm e Cr = 130 a 1400 ppm). Em contraste os elementos incompatíveis dos piroxenitos (Sr = 30 a 90 ppm), aparecem inferiores àqueles dos gabronoritos (Sr = 49 a 454 ppm).

Na ZU (fig.8.5) os piroxenitos (websteritos) possuem altos valores de Cr (2687 a 2739 ppm) e Ni (311 a 540 ppm), refletindo o forte particionamento destes para o clinopiroxênio como foi evidenciado nas análises de microsonda eletrônica ( $\text{CrO}_3 = 0,50$  a  $0,62\%$ ). Os valores de Sr ( $< 5$  ppm), situam-se dentro do espectro de variação dos piroxenitos da ZMI.

Na ZMS (fig.8.5) os piroxenitos mostram valores de Ni (95 a 3450 ppm) que ocasionalmente refletem uma maior presença da pentlandita disseminada (até 2%) e/ou olivina. Os altos valores de  $\text{Cr}^{+3}$  (338 a 3012 ppm) confirmam o seu alto particionamento para o clinopiroxênio e para o Cr-espinélio. Nos gabronoritos, o  $\text{Ni}^{+2}$  (33-139 ppm) e  $\text{Cr}^{+3}$  (49-559 ppm) mostram baixas concentrações, ao contrário do Sr e Nb.

Os demais elementos (Y, V, Zr, Ba e Zn) não mostram variações sistemáticas, associadas aos diferentes litótipos.

## **8.4 - LITOGEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR)**

### **8.4.1 - DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS TERRAS RARAS NO COMPLEXO DE CANA BRAVA**

#### **8.4.1.1 - Zona Máfica Inferior (ZMI)**

Nesta zona foram analisadas quatro amostras de gabronorito e dois termos piroxeníticos. Quando normalizados ao condrito todas as amostras apresentam um enriquecimento total em ETR, com um maior enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP.

As amostras de gabronorito mostram padrões similares de distribuição de ETR, porém com diferenças nas anomalias positivas de  $\text{Eu}^{+2}$  e nos valores normalizados, os quais podem atingir variações nas suas concentrações de até 10 vezes (fig.8.8 A). Estes fatos são evidenciados pelos baixos valores obtidas nas amostras de gabronorito da base (amostras L6000N-8100E e L6000N-7850E), em contraste com aqueles dispostos em posição estratigráfica intermediária e de topo da unidade (amostras L6000N-7125E e L6000N-5450E, respectivamente).

| ZONA<br>MEMBRO<br>LITOTIPO<br>AMOSTRA | CONDrito                     |        | INTRUSÕES NORÍTICAS                             |                |               | COMPLEXO DE CANA BRAVA |                 |                |              |              |              | ZU         |                   |  |
|---------------------------------------|------------------------------|--------|---|----------------|---------------|------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------------|--|
|                                       | Masuda <i>et. al.</i> , 1973 |        | ZNC   | ZNC            | ZNB           | ZMI-SB                 | ZMI-SB          | ZMI-P1         | ZMI-M1       | ZMI-P2       | ZMI-M2       | ZU-P1      | ZMS-P1            |  |
|                                       |                              |        | hb-bi-norito                                    | hb-bi-norito   | qz-norito     | gabronorito            | ol-melagbnorito | ortopiroxenito | gabronorito  | melagbnorito | gabronorito  | websterito | websterito        |  |
|                                       |                              |        | TLR-349   | L4000N-2775A2W | L1000N-2575BW | L6000N-8100E           | L6000N-7850E    | L6000N-7225E   | L6000N-7125E | L6000N-6000E | L6000N-5450E | L400S-450W | L6000N-4230E      |  |
| La                                    | (ppm)                        | 0,378  | 15,460  | 7,759          | 23,490        | 2,191                  | 1,986           | 5,325          | 18,900       | 5,237        | 14,350       | 2,692      | 2,521             |  |
| Ce                                    | (ppm)                        | 0,976  | 48,240  | 16,660         | 55,030        | 5,250                  | 6,657           | 12,120         | 39,650       | 12,760       | 43,880       | 7,112      | 6,475             |  |
| Nd                                    | (ppm)                        | 0,716  | 30,000  | 7,040          | 27,220        | 2,475                  | 1,986           | 5,722          | 18,480       | 7,056        | 27,550       | 4,400      | 4,700             |  |
| Sm                                    | (ppm)                        | 0,23   | 6,369   | 1,497          | 5,949         | 0,540                  | 0,630           | 1,535          | 2,627        | 1,381        | 4,078        | 1,056      | 1,305             |  |
| Eu                                    | (ppm)                        | 0,0866 | 0,963   | 0,515          | 1,003         | 0,213                  | 0,212           | 0,329          | 1,345        | 0,507        | 1,811        | 0,280      | 0,413             |  |
| Gd                                    | (ppm)                        | 0,311  | 4,444   | 1,111          | 4,311         | 0,629                  | 0,694           | 1,481          | 2,485        | 1,504        | 3,249        | 0,993      | 1,320             |  |
| Dy                                    | (ppm)                        | 0,39   | 4,227   | 1,107          | 3,638         | 0,716                  | 0,886           | 1,911          | 2,675        | 1,733        | 2,415        | 1,168      | 1,380             |  |
| Ho                                    | (ppm)                        | -      | 0,828   | 0,220          | 0,683         | 0,146                  | 0,186           | 0,430          | 0,570        | 0,361        | 0,464        | 0,232      | 0,308             |  |
| Er                                    | (ppm)                        | 0,255  | 2,139   | 0,585          | 1,616         | 0,406                  | 0,542           | 1,346          | 1,711        | 1,006        | 1,160        | 0,619      | 0,844             |  |
| Yb                                    | (ppm)                        | 0,249  | 1,582   | 0,445          | 1,067         | 0,271                  | 0,434           | 1,312          | 1,501        | 0,759        | 0,744        | 0,450      | 0,554             |  |
| Lu                                    | (ppm)                        | 0,0387 | 0,190   | 0,060          | 0,131         | 0,042                  | 0,058           | 0,178          | 0,201        | 0,114        | 0,103        | 0,058      | 0,079             |  |
|                                       |                              |        | Valores normalizados ao condrito (condrito)1,2) |                |               |                        |                 |                |              |              |              |            | Valores normaliz: |  |
| La                                    |                              |        | 49,079  | 24,632         | 74,571        | 6,956                  | 6,305           | 16,905         | 60,000       | 16,625       | 45,556       | 8,546      | 8,003             |  |
| Ce                                    |                              |        | 59,311  | 20,484         | 67,660        | 6,455                  | 8,185           | 14,902         | 48,750       | 15,689       | 53,951       | 8,744      | 7,961             |  |
| Nd                                    |                              |        | 50,279  | 11,799         | 45,620        | 4,148                  | 3,328           | 9,590          | 30,972       | 11,826       | 46,173       | 7,374      | 7,877             |  |
| Sm                                    |                              |        | 33,230  | 7,810          | 31,038        | 2,817                  | 3,287           | 8,009          | 13,706       | 7,205        | 21,277       | 5,510      | 6,809             |  |
| Eu                                    |                              |        | 13,344  | 7,136          | 13,898        | 2,952                  | 2,938           | 4,559          | 18,637       | 7,025        | 25,095       | 3,880      | 5,723             |  |
| Gd                                    |                              |        | 17,147  | 4,287          | 16,634        | 2,427                  | 2,678           | 5,714          | 9,588        | 5,803        | 12,536       | 3,832      | 5,093             |  |
| Dy                                    |                              |        | 13,006  | 3,406          | 11,194        | 2,203                  | 2,726           | 5,880          | 8,231        | 5,332        | 7,431        | 3,594      | 4,246             |  |
| Ho                                    |                              |        |   |                |               |                        |                 |                |              |              |              |            |                   |  |
| Er                                    |                              |        | 10,066  | 2,753          | 7,605         | 1,911                  | 2,551           | 6,334          | 8,052        | 4,734        | 5,459        | 2,913      | 3,972             |  |
| Yb                                    |                              |        | 7,624   | 2,145          | 5,142         | 1,306                  | 2,092           | 6,323          | 7,234        | 3,658        | 3,586        | 2,169      | 2,670             |  |
| Lu                                    |                              |        | 5,891   | 1,860          | 4,062         | 1,302                  | 1,798           | 5,519          | 6,233        | 3,535        | 3,194        | 1,798      | 2,450             |  |
| (La/Lu)n                              |                              |        | 8,331   | 13,240         | 18,358        | 5,341                  | 3,506           | 3,063          | 9,627        | 4,703        | 14,264       | 4,752      | 3,267             |  |
| (La/Yb)n                              |                              |        | 6,437   | 11,486         | 14,502        | 5,326                  | 3,014           | 2,674          | 8,294        | 4,545        | 12,705       | 3,941      | 2,998             |  |

Tabela 8.2 - Valores dos elementos terras raras (ETR) no Complexo de Cana Brava e Intrusões Noríticas

| ZONA<br>MEMBRO<br>LITOTIPO<br>AMOSTRA | CONDrito                     |        | INTRUSÕES NORÍTICAS                             |                |               | COMPLEXO DE CANA BRAVA |                 |                |              |              |              | ZU         |                  |  |
|---------------------------------------|------------------------------|--------|---|----------------|---------------|------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------------|--|
|                                       | Masuda <i>et. al.</i> , 1973 |        | ZNC   | ZNC            | ZNB           | ZMI-SB                 | ZMI-SB          | ZMI-P1         | ZMI-M1       | ZMI-P2       | ZMI-M2       | ZU-P1      | ZMS-P1           |  |
|                                       |                              |        | hb-bi-norito                                    | hb-bi-norito   | qz-norito     | gabronorito            | ol-melagbnorito | ortopiroxenito | gabronorito  | melagbnorito | gabronorito  | websterito | websterito       |  |
|                                       |                              |        | TLR-349   | L4000N-2775A2W | L1000N-2575BW | L6000N-8100E           | L6000N-7850E    | L6000N-7225E   | L6000N-7125E | L6000N-6000E | L6000N-5450E | L400S-450W | L6000N-4230E     |  |
| La                                    | (ppm)                        | 0,378  | 15,460  | 7,759          | 23,490        | 2,191                  | 1,986           | 5,325          | 18,900       | 5,237        | 14,350       | 2,692      | 2,521            |  |
| Ce                                    | (ppm)                        | 0,976  | 48,240  | 16,660         | 55,030        | 5,250                  | 6,657           | 12,120         | 39,650       | 12,760       | 43,880       | 7,112      | 6,475            |  |
| Nd                                    | (ppm)                        | 0,716  | 30,000  | 7,040          | 27,220        | 2,475                  | 1,986           | 5,722          | 18,480       | 7,056        | 27,550       | 4,400      | 4,700            |  |
| Sm                                    | (ppm)                        | 0,23   | 6,369   | 1,497          | 5,949         | 0,540                  | 0,630           | 1,535          | 2,627        | 1,381        | 4,078        | 1,056      | 1,305            |  |
| Eu                                    | (ppm)                        | 0,0866 | 0,963   | 0,515          | 1,003         | 0,213                  | 0,212           | 0,329          | 1,345        | 0,507        | 1,811        | 0,280      | 0,413            |  |
| Gd                                    | (ppm)                        | 0,311  | 4,444   | 1,111          | 4,311         | 0,629                  | 0,694           | 1,481          | 2,485        | 1,504        | 3,249        | 0,993      | 1,320            |  |
| Dy                                    | (ppm)                        | 0,39   | 4,227   | 1,107          | 3,638         | 0,716                  | 0,886           | 1,911          | 2,675        | 1,733        | 2,415        | 1,168      | 1,380            |  |
| Ho                                    | (ppm)                        | -      | 0,828   | 0,220          | 0,683         | 0,146                  | 0,186           | 0,430          | 0,570        | 0,361        | 0,464        | 0,232      | 0,308            |  |
| Er                                    | (ppm)                        | 0,255  | 2,139   | 0,585          | 1,616         | 0,406                  | 0,542           | 1,346          | 1,711        | 1,006        | 1,160        | 0,619      | 0,844            |  |
| Yb                                    | (ppm)                        | 0,249  | 1,582   | 0,445          | 1,067         | 0,271                  | 0,434           | 1,312          | 1,501        | 0,759        | 0,744        | 0,450      | 0,554            |  |
| Lu                                    | (ppm)                        | 0,0387 | 0,190   | 0,060          | 0,131         | 0,042                  | 0,058           | 0,178          | 0,201        | 0,114        | 0,103        | 0,058      | 0,079            |  |
|                                       |                              |        | Valores normalizados ao condrito (condrito)1,2) |                |               |                        |                 |                |              |              |              |            | Valores normaliz |  |
| La                                    |                              |        | 49,079  | 24,632         | 74,571        | 6,956                  | 6,305           | 16,905         | 60,000       | 16,625       | 45,556       | 8,546      | 8,003            |  |
| Ce                                    |                              |        | 59,311  | 20,484         | 67,660        | 6,455                  | 8,185           | 14,902         | 48,750       | 15,689       | 53,951       | 8,744      | 7,961            |  |
| Nd                                    |                              |        | 50,279  | 11,799         | 45,620        | 4,148                  | 3,328           | 9,590          | 30,972       | 11,826       | 46,173       | 7,374      | 7,877            |  |
| Sm                                    |                              |        | 33,230  | 7,810          | 31,038        | 2,817                  | 3,287           | 8,009          | 13,706       | 7,205        | 21,277       | 5,510      | 6,809            |  |
| Eu                                    |                              |        | 13,344  | 7,136          | 13,898        | 2,952                  | 2,938           | 4,559          | 18,637       | 7,025        | 25,095       | 3,880      | 5,723            |  |
| Gd                                    |                              |        | 17,147  | 4,287          | 16,634        | 2,427                  | 2,678           | 5,714          | 9,588        | 5,803        | 12,536       | 3,832      | 5,093            |  |
| Dy                                    |                              |        | 13,006  | 3,406          | 11,194        | 2,203                  | 2,726           | 5,880          | 8,231        | 5,332        | 7,431        | 3,594      | 4,246            |  |
| Ho                                    |                              |        |   |                |               |                        |                 |                |              |              |              |            |                  |  |
| Er                                    |                              |        | 10,066  | 2,753          | 7,605         | 1,911                  | 2,551           | 6,334          | 8,052        | 4,734        | 5,459        | 2,913      | 3,972            |  |
| Yb                                    |                              |        | 7,624   | 2,145          | 5,142         | 1,306                  | 2,092           | 6,323          | 7,234        | 3,658        | 3,586        | 2,169      | 2,670            |  |
| Lu                                    |                              |        | 5,891   | 1,860          | 4,062         | 1,302                  | 1,798           | 5,519          | 6,233        | 3,535        | 3,194        | 1,798      | 2,450            |  |
| (La/Lu)n                              |                              |        | 8,331   | 13,240         | 18,358        | 5,341                  | 3,506           | 3,063          | 9,627        | 4,703        | 14,264       | 4,752      | 3,267            |  |
| (La/Yb)n                              |                              |        | 6,437   | 11,486         | 14,502        | 5,326                  | 3,014           | 2,674          | 8,294        | 4,545        | 12,705       | 3,941      | 2,998            |  |

Tabela 8.2 - Valores dos elementos terras raras (ETR) no Complexo de Cana Brava e Intrusões Noríticas

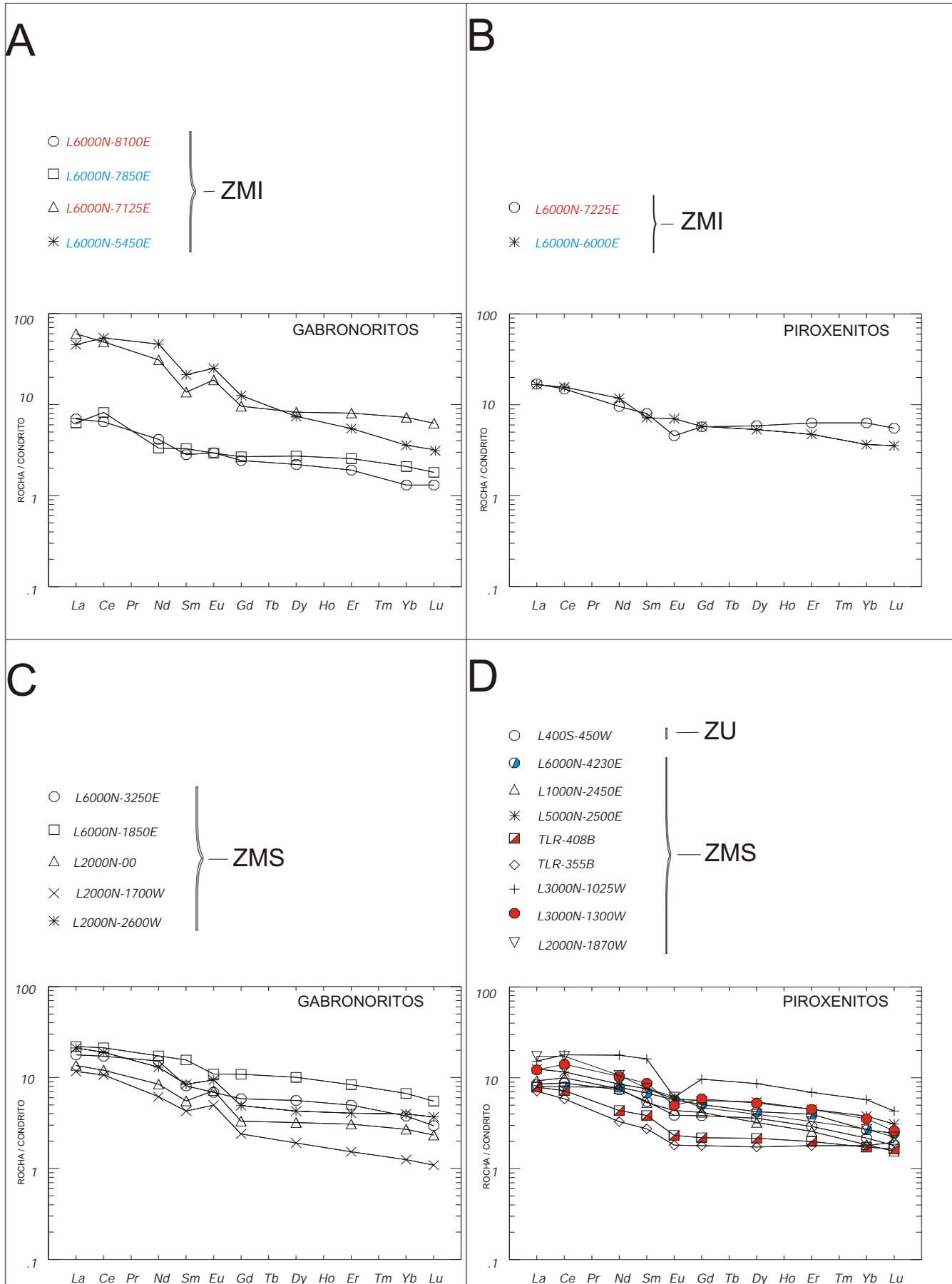


Figura 8.8 - Padrão de distribuição dos Elementos Terras Raras (normalizados ao condrito - Masuda et al., 1973 - divididos por 1,2), no Complexo de Cana Brava. A) Gabronoritos da ZMI. B) Piroxenitos da ZMI. C) Gabronoritos da ZMS. D) Piroxenitos da ZU e ZMS.

et.

A anomalia positiva em Eu destas amostras de gabronorito evidencia uma maior participação do plagioclásio na definição do padrão de distribuição de ETR, nas posições estratigráficas de topo.

As amostras da base (L6000N-8100E e L6000N-7850E), apesar de possuírem um conteúdo mineralógico distinto, representado pela presença da olivina na amostra L6000N - 7850E, possuem padrões de distribuição de ETR semelhantes. Os baixos valores observados podem estar associados ao baixo coeficiente de partição de ETR para olivina, bem como pela ausência de minerais comumente presentes nos termos mais diferenciados (ex. apatita). A contribuição do plagioclásio deve ter sido reduzida em função da inexistência de anomalias positivas de  $\text{Eu}^{+2}$ .

Estas diferenças podem estar relacionadas a uma intensa diferenciação magmática na ZMI, com uma correspondência mineralógica representada por uma maior concentração de apatita nas amostras de gabronorito do topo da ZMI, acompanhando o aumento no conteúdo total de ETR e da razão  $\text{ETRL}\backslash\text{ETRP}$ .

Os termos piroxeníticos, representados por um ortopiroxenito feldspático (L6000N-7225E) e um melagabronorito (L6000N-6000E), possuem padrões de distribuições normalizados semelhantes, onde se observa um pequeno enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP (Fig.8.8 B). O ortopiroxenito feldspático mostra uma anomalia negativa em  $\text{Eu}^{+2}$ , indicando a pouca participação do plagioclásio na definição do padrão de ETR.

Os valores de ETR nos piroxenitos, quando comparados com os gabronoritos da ZMI, distribuem-se em uma posição intermediária, ressaltando a natureza muito primitiva dos termos gabronoríticos basais.

#### **8.4.1.2 - Zona Ultramáfica (ZU) e Zona Máfica Superior (ZMS)**

Na ZU foi escolhida uma amostra de piroxenito enquanto na ZMS foram selecionadas oito amostras representando os vários níveis piroxeníticos. Cinco amostras de gabronorito, presentes em diferentes níveis estratigráficos da ZMS, também foram analisadas.

Os resultados das amostras de gabronorito e piroxenito, quando normalizados ao condrito, mostram enriquecimentos de ETR aleatórios em relação ao posicionamento estratigráfico das amostras (fig.8.8 C/D). Algumas amostras presentes próximas ao topo do complexo apresentam os menores valores, enquanto outras, em uma posição estratigráfica intermediária, mostram altos valores em ETR. Quando comparados com as amostras de gabronorito da ZMI, estas possuem padrões de distribuição que se posicionam de forma intermediária, indicando não possuírem termos mais primitivos ou diferenciados do que na ZMI.

Nas amostras de gabronorito (fig. 8.8 C) os maiores valores pertencem às amostras L6000-1850E e L6000N-3250E, presentes em uma posição intermediária a inferior da ZMS e com grande quantidade de neoblastos associados. Possuem valores de ETR total e ETRL\ETRP semelhantes à da amostra L6000N-7125E (ZMI) que é composta predominantemente por uma assembléia mineral metamórfica de alto grau, o que sugere possíveis variações nos padrões de ETR devido ao processo de granulitização.

Os valores de ETR obtidos em piroxenito mostram padrões de distribuição geralmente semelhantes, com um maior enriquecimento em ETRL em relação a ETRP (fig.8.8 D). As variações na concentração de ETRL são da ordem de duas vezes, enquanto os ETRP variam de 4-5 vezes. Os membros piroxeníticos da ZU e ZMS são representados por termos websteríticos, às vezes feldspáticos e localmente com cristais cúmulus de olivina e espinélio.

Na ZU ocorreu um enriquecimento em ETRL da ordem de 10-12 vezes e em ETRP de 1 a 4 vezes, quando normalizados ao condrito, evidenciando um maior enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP. O padrão obtido exhibe valores intermediários em relação aos da ZMS, com distribuição semelhante à amostra (L1000N-2450E) do nível ZMS-P2.

Dentre os vários níveis piroxeníticos da ZMS, os menores valores de ETR associam-se ao nível ZMS-P4, onde foram coletadas as amostras TLR-355B (olivina-websterito) e TLR-408B (websterito). Estes apresentam padrões de distribuição semelhantes, destacando-se a ausência de anomalias de  $Eu^{+2}$  e o baixo enriquecimento de ETRP. A amostra TLR-355B mostrou um menor enriquecimento de ETR, provavelmente associado à presença da olivina e Cr-espinélio.

A presença de anomalias negativas de  $Eu^{+2}$  nos demais membros de piroxenitos indica a pouca participação do plagioclásio na definição dos padrões em ETR.

A amostra mais enriquecida em  $Eu^{+2}$  é um websterito feldspático rico em biotita e anfibólio (amostra L3000-1025W), mostrando uma grande anomalia negativa em  $Eu^{+2}$ , provavelmente devido à presença de anfibólio. Os demais membros piroxeníticos apresentam padrões de ETR similares entre si, porém sem obedecer a um contínuo enriquecimento de ETR, associado a um determinado posicionamento estratigráfico.

#### **8.4.1.3 - Padrões de distribuição da razão (La/Lu)<sub>n</sub> do Complexo de Cana Brava e comparação com outros complexos acamadados**

As razões (La/Lu)<sub>n</sub> (3,06 - 14,26) dos diversos litótipos do complexo encontram-se dentro dos limites composicionais característicos de intrusões de filiação toleítica (0,31 - 19,30).

Nestes corpos toleíticos o conteúdo de ETR e razão  $(La/Lu)_n$  tende a aumentar segundo a seqüência estratigráfica, controlado principalmente pela cristalização fracionada de plagioclásio, piroxênios e/ou olivina (Cullers & Graff, 1984).

A distribuição desta razão (em gabronorito e piroxenito) ao longo da seqüência estratigráfica mostra um contínuo aumento em direção ao topo da ZMI (fig.8.9). Na ZMS as razões  $(La/Lu)_n$  obtidas nas amostras de gabronorito e piroxenito, mostram-se muito variáveis em relação ao posicionamento estratigráfico das amostras.

Os valores de ETR obtidos por Correia (1994) no Complexo de Cana Brava apresentaram também um maior enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP. Na ZMI os resultados mostraram distribuições intermediárias aos obtidos neste estudo. Para a ZU foi analisada uma única amostra de piroxenito, que apresentou um menor (1-2 vezes) enriquecimento em ETR quando comparado com os resultados descritos neste estudo.

Na ZMS, Correia (1994) obteve resultados que se localizam dentro do mesmo espectro de variação obtidos neste estudo, destacando-se que algumas amostras com altos valores de ETRL (3 amostras) possuem padrões de distribuição semelhantes às amostras das Intrusões Noríticas. Coincidentemente, por estas se localizarem próximas ao contato com a Seqüência Vulcano-Sedimentar de Palmeirópolis e descritas, às vezes, como quartzo-diorito, sugere-se que possam ser representantes das Intrusões Noríticas.

Os padrões de ETR no Complexo de Cana Brava apresentam espectros de variação semelhante aos observados no Complexo Máfico-Ultramáfico de Campo Alegre de Lourdes [ $(La/Lu)_n = 5,10-18,80$ ] (Couto, 1989) e com os termos gabróicos do Complexo Gabro-Anortosítico de Santa Bárbara [ $(La/Lu)_n = 3,00 - 5,90$ ] (Silva, 1991), onde se observa um grande enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP.

No Complexo de Barro Alto os termos gabróicos e piroxeníticos (normalizados ao manto não depletado) apresentam menores razões  $(La/Lu)_n = 1,42-5,18$ , com baixo enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP (Oliveira, 1993).

Este fato foi acentuado no Complexo de Niquelândia onde os valores de ETRL e a razão  $(La/Yb)_n = 0,08-3,06$  (gabronoritos) e  $0,24-3,06$  (piroxenitos) (Ferreira Filho, 1995), mostram-se muito inferiores àqueles obtidos no Complexo de Cana Brava  $(La/Yb)_n = 3,0-12,70$  (gabronoritos) e  $2,67-6,32$  (piroxenitos).

No Complexo de Niquelândia os padrões de distribuição de ETR nos gabronoritos, presentes em posição estratigráfica semelhante aos da ZMI, mostram um padrão homogêneo de enriquecimento (1-2 vezes) (Ferreira Filho, 1995). Estes valores diferem principalmente quanto ao conteúdo de ETRL, que no Complexo de Cana Brava apresentam enriquecimento da ordem de até 10-100 vezes.

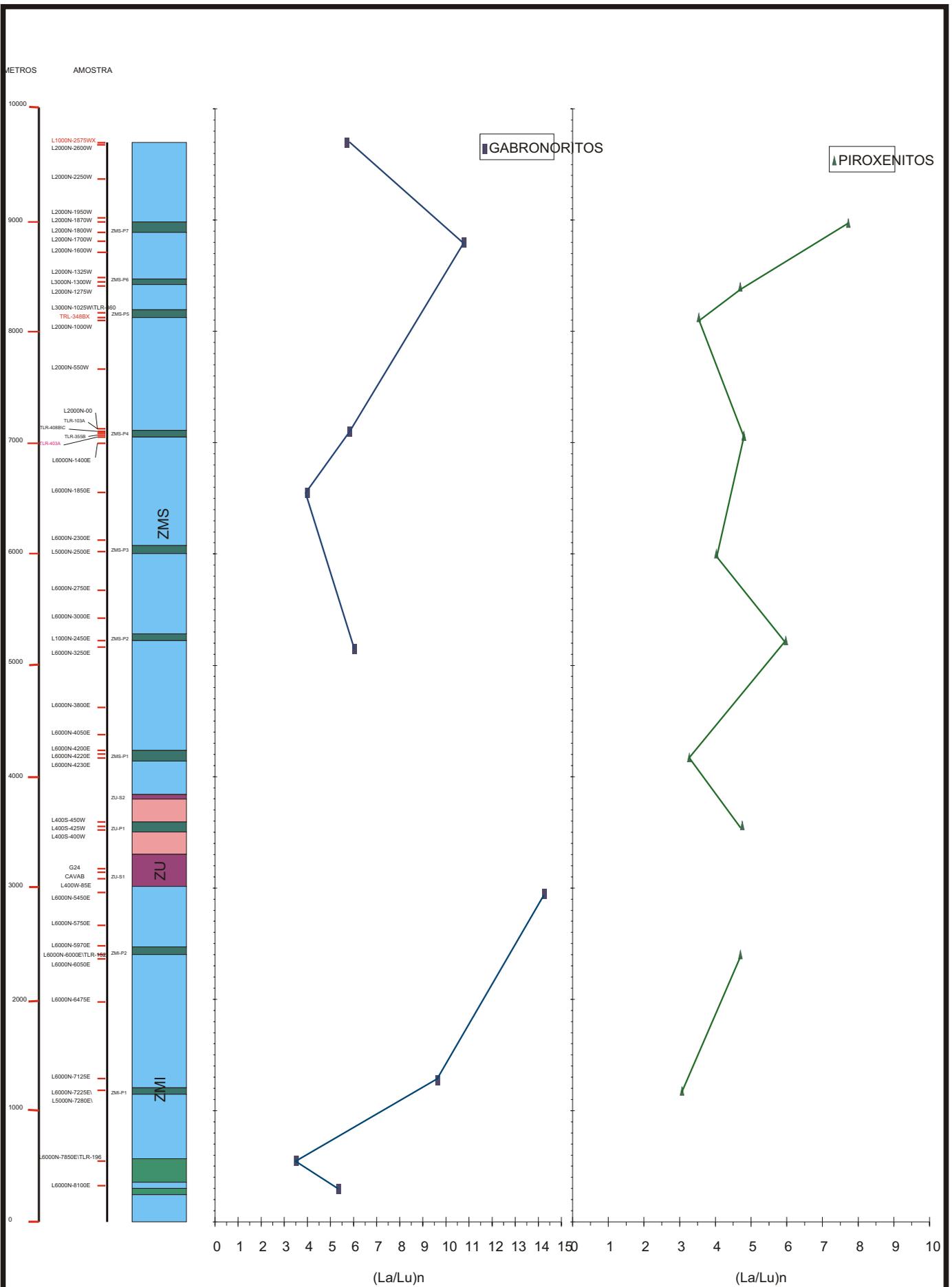


Figura 8.9 - Variação da razão  $(La/Lu)_n$  em gabronoritos e piroxenitos, ao longo da seqüência estratigráfica do Complexo de Cana Brava.

O piroxenito desta unidade no Complexo de Niquelândia, apresenta um padrão negativo de distribuição com um maior enriquecimento em ETRP  $[(La/Yb)_n=0,30]$ , contrastando com aqueles obtidos no Complexo de Cana Brava que mostraram maior enriquecimento em ETRL  $[(La/Yb)_n=2,67-4,54]$ . Fato semelhante foi observado para as amostras de piroxenito da unidade ultramáfica do Complexo de Niquelândia, que apresentam razão  $(La/Yb)_n=0,33-0,77$ , em contraste com aquela obtido na ZU  $[(La/Yb)_n=3,94]$  do Complexo de Cana Brava.

Os gabronoritos e piroxenitos do Complexo de Niquelândia, localizados em posições estratigráficas correlatas à ZMS, apresentam um grande espectro de variação dos ETR, com pouco a nulo enriquecimento em ETRL. A razão  $(La/Yb)_n$  varia de 0,56 a 3,06 nas amostras de gabronorito e 0,44 a 3,06 nas de piroxenito, em contraste com aquela obtida no Complexo de Cana Brava onde são encontrados valores de 3,29 a 9,32 para as amostras de gabronorito e de 2,65 a 6,32 nas de piroxenito.

Para a formação de líquidos basálticos, Green & Ringwood (1968) admitiram graus de fusão do manto (peridotítico pouco depletado) da ordem de 15-30%. A distribuição dos ETR nos líquidos formados nestas condições já não sofreria a influência dos coeficientes de partição ( $K_d$ ), sendo esperados concentrações semelhantes de ETRL e ETRP (Hanson, 1980; Cox *et. al.*, 1979; Haskin, 1984) nos líquidos formados. Entretanto, no caso das rochas derivadas destes líquidos apresentarem valores de ETRL superiores aos ETRP, poderiam indicar que são resultantes dos processos de cristalização fracionada ou alternativamente seriam devidas à heterogeneidade composicional do manto.

Na ZMI o contínuo aumento dos padrões de ETR e da razão  $(La/Lu)_n$ , associados a posicionamentos estratigráficos mais elevados, sugere a ocorrência de processos de cristalização fracionada contínua nesta porção no Complexo de Cana Brava. Na ZMS a aleatoriedade observada entre o posicionamento estratigráfico das amostras e os padrões de  $ETR_n$  e  $(La/Lu)_n$ , poderia indicar inúmeras interrupções nos processos de cristalização fracionada devido a periódicas modificações na composição do líquido magmático, resultantes da injeções de novos pulsos de magma.

#### 8.4.2 - PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DOS ETR NAS INTRUSÕES NORÍTICAS

Nas Intrusões Noríticas foram analisadas as amostras da ZNC (duas amostras) e ZNB (uma amostra). As amostras se apresentam enriquecidas em ETR e com uma alta razão ETRL/ETRP (fig. 8.10). Na ZNB a amostra analisada apresenta os mais altos valores de ETR, indicando composições mais evoluídas, para o líquido magmático que lhes deu origem.

Na ZNC os resultados mostram-se distintos, com a amostra TRL-349 apresentando valores similares aos obtidos para a ZNB, em contraste com a amostra L4000N-2775A2W, que apresenta valores semelhantes aos dos gabronoritos da ZMS do Complexo de Cana Brava.

Desta forma, os valores de ETR das Intrusões Noríticas evidenciam a presença de magma intensamente diferenciado, porém localmente com termo de composição similar aos do Complexo de Cana Brava.

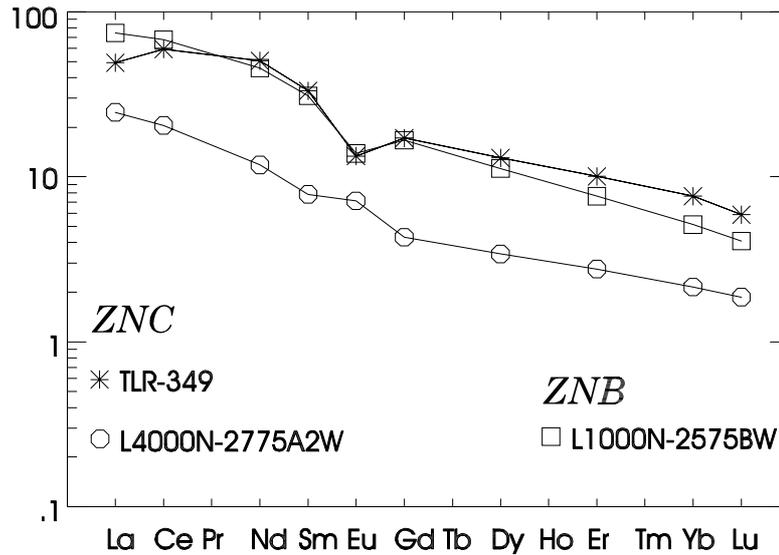


Figura 8.10 - Variação dos ETR das Intrusões Noríticas.