



## PETROLOGIA DE *SILLS* ENCAIXADOS NAS FORMAÇÕES IRATI E PONTA GROSSA (BACIA DO PARANÁ) NO ESTADO DO PARANÁ

E. Petersohn<sup>1,\*</sup>, E.M.G. Vasconcellos<sup>2</sup>, K. Lopes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
Avenida Rio Branco nº 65, CEP: 20.090-004, Rio de Janeiro - RJ

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná  
Curitiba, CEP: 81531-990, PR

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia Exploratória, DEGEO, Universidade Federal do Paraná  
C.P. 19.001, Curitiba, CEP: 81531-990, PR

\*Email: epetersohn@anp.gov.br

Recebido em abril de 2006, aprovado para publicação em dezembro de 2006

### ABSTRACT

Studies realized in the sills intruded in the Irati and Ponta Grossa formations of the Paraná Basin (Paraná State, Southwest Brazil), permitted the identification of rocks from basic to intermediate composition. The sills are basalts, microgabbros and gabbros, dark grey in color and massive. The magmatic assemblage is composed of labradorite, augite, opaque minerals, amphibole, quartz or olivine. Apatite is the main accessory mineral. The secondary assemblage, decurrent from deuteric alteration, is composed of biotite, chlorite, carbonate and epidote. The rocks present holocrystalline textures, rarely with glass volcanic, intergranular, ophitic and subophitic and subaphiric or porphyritic textures. Geochemistry studies indicate these rocks as andesite basalt, andesites and latite andesites, with subordinated occurrence of latites and quartz latite. Mineral chemistry indicates typical composition of tholeiitic rocks. The composition of the plagioclases range from oligoclase to bytownite ( $An_{75,1}Ab_{24,5}Or_{0,5}$  to  $An_{26}Ab_{69,3}Or_{4,7}$ ), with predominance of labradorite. Augite is the main mafic phase and range from  $Wo_{41,7}En_{21}Fs_{37,3}$  to  $Wo_{8,7}En_{62,15}Fs_{29,15}$ . Pigeonite is frequent only in the Ponta Grossa sill, with composition range from  $Wo_{8,70}En_{62,15}Fs_{29,15}$  to  $Wo_{9,56}En_{58,11}Fs_{32,33}$ . Olivine is a rare phase and it is restricted to the Reserva sill, where it presents fayalite composition. Opaque minerals occur in all the analyzed rocks and are Ti-magnetite ( $TiO_2$  between 10,83% and 37,35%), ilmenite and pyrite. Geothermobarometry equations based in the chemistry of pyroxenes and plagioclases had been used to calculate the temperature and pressure of crystallization of the investigated rocks. The temperatures registered in the clinopyroxenes and plagioclases range from 932,85° to 1301,85°C and from 992,85° to 1266,85°C, respectively. The thermobarometry equations supply an upper limit pressure equal to 10.1 to kbar, and it suggests that the parental magmatic chamber was located approximately 33 km below the Earth surface.

### RESUMO

Estudos realizados em *sills* encaixados nas formações Irati e Ponta Grossa (Bacia do Paraná), no Estado do Paraná permitem a identificação de rochas de composição básica a intermediária. São descritos macroscopicamente basaltos, microgabros e gabros, cinza escuros e maciços. A assembléia primária compreende labradorita, augita, minerais opacos, anfíbólio, quartzo ou olivina, tendo a apatita como principal acessório. A assembléia secundária, decorrente de alteração deutérica, inclui biotita, clorita, argilominerais, carbonato e epidoto. As rochas possuem texturas

holocristalinas, raramente contendo vidro vulcânico, intergranulares, ofíticas e subofíticas e subafíricas ou porfíricas. Quimicamente as rochas são classificadas como basaltos andesíticos, andesitos e latiandesitos, com ocorrência subordinada de latitos e quartzo latito. Dados de química mineral indicam composições típicas de rochas toleíticas. A composição dos plagioclásios varia de oligoclásio a bitownita ( $An_{75,1}Ab_{24,5}Or_{0,5}$  a  $An_{26}Ab_{69,3}Or_{4,7}$ ), com predomínio de labradorita. Augita é a fase máfica principal e varia de  $Wo_{41,7}En_{21}Fs_{37,3}$  a  $Wo_{8,7}En_{62,15}Fs_{29,15}$ . Pigeonita é freqüente apenas no sill de Ponta Grossa, com composição variando de  $Wo_{8,70}En_{62,15}Fs_{29,15}$  a  $Wo_{9,56}En_{58,11}Fs_{32,33}$ . Olivina é uma fase rara e restrita ao sill de Reserva, onde possui composição faialítica. Minerais opacos ocorrem em todas as rochas analisadas e são preferencialmente Timagnetita ( $TiO_2$  entre 10,83% e 37,35%), ilmenita e pirita. Equações geotermobarométricas baseadas na química de piroxênios e plagioclásios foram utilizadas para calcular a temperatura e pressão de cristalização das rochas investigadas. As temperaturas registradas em clinopiroxênios e plagioclásios variam de 932,85° a 1301,85°C e 992,85° a 1266,85°C, respectivamente. As equações termobarométricas fornecem um limite superior estimado de pressão igual a 10,1 kbar, e sugere que a câmara magmática parental estava localizada a aproximadamente 33 km abaixo da superfície da Terra.

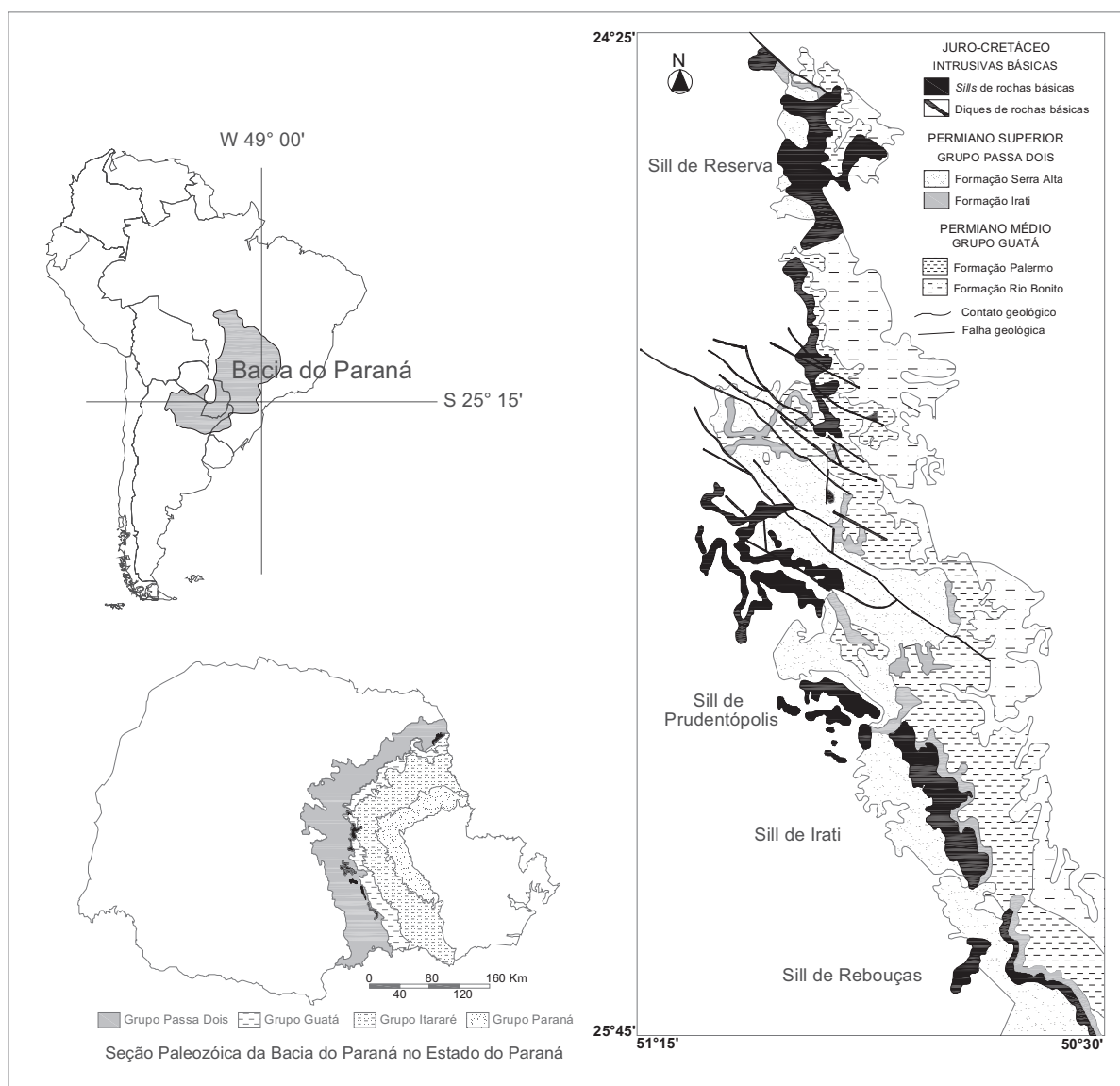
## INTRODUÇÃO

*Sills* de composição básica a intermediária ocorrem encaixados na faixa de rochas paleozóicas da Bacia do Paraná no Estado do Paraná, concentrados na região centro-leste, entre os lineamentos Piquiri e São Jerônimo – Curiúva. Foram selecionados *sills* que ocorrem alojados nas formações Irati e Ponta Grossa, unidades com maior potencial petrolífero da bacia e que representam níveis preferenciais de ocorrência de intrusões. Foram estudados seis corpos intrusivos denominados de acordo com sua localização geográfica. Os *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças, encaixados na Formação Irati, afloram próximos aos municípios homônimos e são delimitados pelas coordenadas geográficas 51°15'W e 50°30'W e 24°25'S e 25°45'S (Figura 1). No município de Ponta Grossa ocorrem dois pequenos corpos intrusivos alojados na Formação Ponta Grossa, delimitados pelas coordenadas geográficas 50°18'W e 50°05'W e 25°01'S e 25°08'S (Figura 2). Os *sills* estudados concentram-se na região centro-leste do estado e o acesso às áreas, a partir de Curitiba, pode ser feito por meio da rodovia BR-277, conforme ilustrado na Figura 3.

Estudos geoquímicos prévios foram realizados por Vasconcellos *et al.* (2003,

2004). De acordo com os autores, as rochas dos *sills* são classificadas quimicamente, conforme o diagrama  $R_1R_2$  de De La Roche *et al.* (1980), como basaltos andesíticos, andesitos, lati-andesitos, latitos e um quartzo latito. No diagrama TAS ( $(Na_2O+K_2O)$  vs.  $SiO_2$ ) de Le Maitre (1989) as rochas são definidas preferencialmente como basaltos, ocorrendo traquibasaltos, traquiandesitos basálticos e traquiandesitos em menor proporção. A geoquímica destas rochas indica conteúdos elevados de alumina, Rb, Ba e Sr. O conteúdo de sílica varia de 48,46 a 58,17%, com elevados conteúdos de  $FeO_T+MgO+TiO_2$  (22%, em média), altos teores de CaO (9,0% em média) e baixo  $Na_2O+K_2O$  (<6,0%). Com relação aos teores de  $TiO_2$ , quando comparadas com os dados de Piccirillo *et al.* (1988), são definidas, preferencialmente, como de alto titânio, com valores entre 2,01 e 4,16%. As rochas com baixo  $TiO_2$  possuem teores entre 0,73 e 1,94 %.

A área de estudo insere-se na subprovíncia Norte da Bacia do Paraná, localizada ao norte do Lineamento do Rio Piquiri. Esta subprovíncia é caracterizada por extensivos afloramentos de *sills*, pela alta concentração de diques, principalmente na área do Arco de Ponta Grossa e pela disseminação



**Figura 1:** Mapa geológico esquemático com localização dos *sills* encaixados na Formação Irati (Fonte: MINEROPAR, 2001).

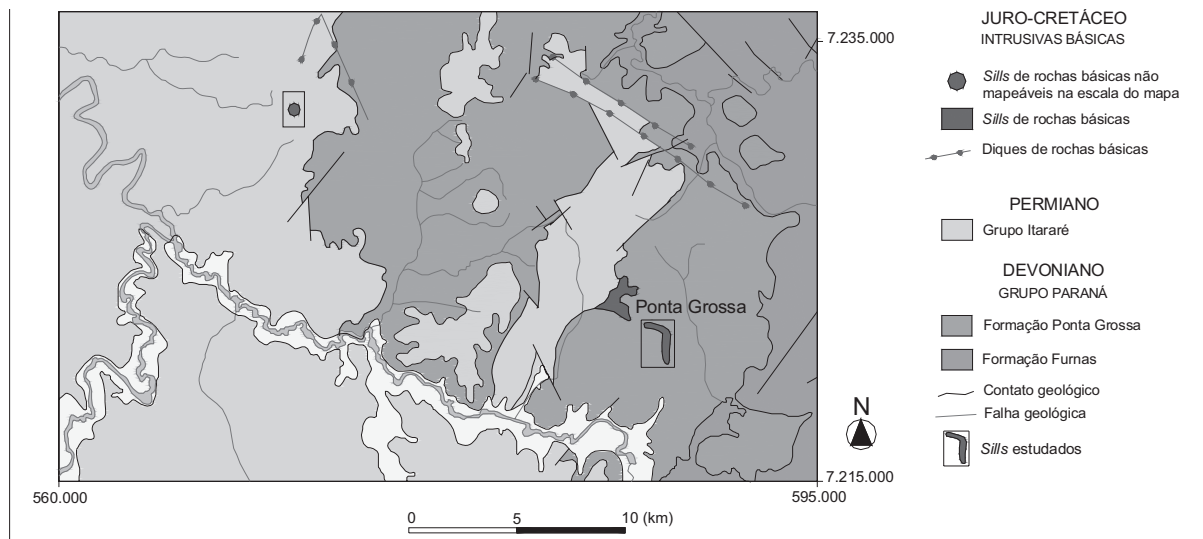
de fluxos de lavas estratificados. Os fluxos de lava correspondem principalmente a basaltos toleíticos, recobertos por raros fluxos ácidos (riolitos e riodacitos) no limite sudoeste. A grande maioria das lavas básicas pertence à família de alto  $TiO_2$  e normalmente são compostas por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, vidro e minerais opacos.

O presente trabalho apresenta resultados petrográficos e de química mineral obtidos durante o desenvolvimento do projeto CNPq/CTPetro, intitulado “Modelo termal de formação das rochas ígneas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e sua influências nos

sistemas petrolíferos Ponta Grossa – Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia” (Processo 460430/01-7). O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir resultados de química mineral e contribuir na definição da história térmica evolutiva dos *sills* encaixados nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

## MÉTODOS ANALÍTICOS

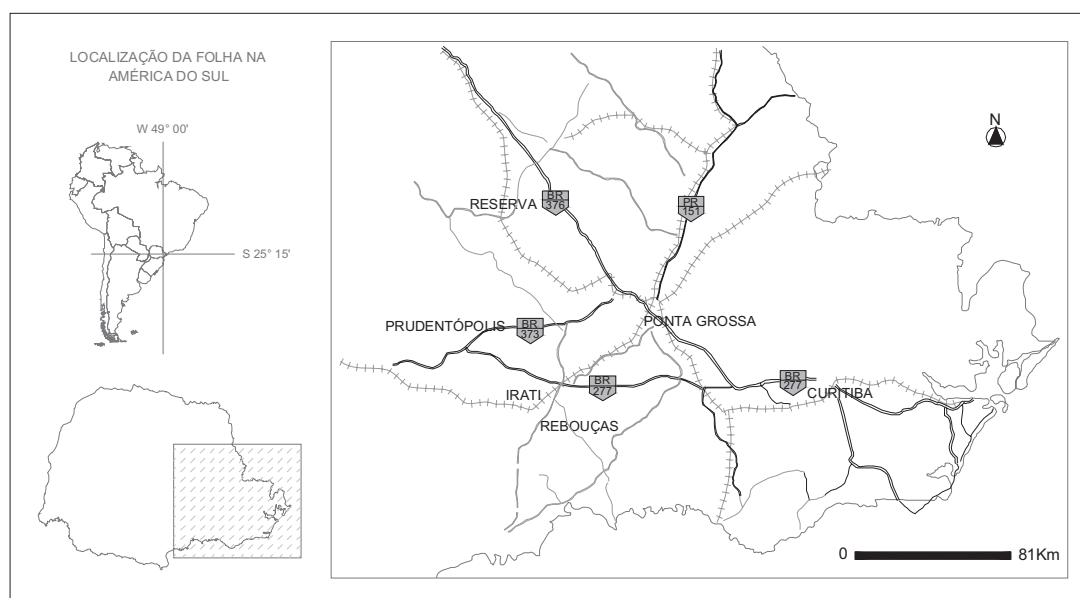
A caracterização petrológica dos *sills* foi realizada por meio de análise petrográfica e ensaios de química mineral. A análise petrográfica compreendeu a descrição de seções delgadas das rochas da região



**Figura 2:** Mapa geológico esquemático com localização dos *sills* encaixados na Formação Ponta Grossa (Fonte: MINEROPAR, 2005).

em estudo. Foi realizada em microscópio binocular petrográfico polarizador do Laboratório de Mineralogia e Petrologia (LAPEMIN) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. As rochas foram classificadas segundo o diagrama QAPF (Le Maitre, 1989) totalizando 75 amostras descritas. Os ensaios de química mineral foram obtidos no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC/USP), em microsonda eletrônica JEOL,

equipada com espectrômetros WDS e EDS. Foram analisadas 21 amostras de basaltos, microgabros e gabros dos *sills* estudados, totalizando 248 pontos. Os minerais estudados foram predominantemente plagioclásios e piroxênios, em fenocristais, microfenocristais e matriz. Subordinadamente foram analisados minerais opacos (magnetita e ilmenita), anfíbios, biotita e olivina. As composições foram sistematicamente determinadas em borda e núcleo dos cristais.



**Figura 3:** Mapa de localização da área de estudo com as principais vias de acesso.

## PETROGRAFIA

A assembléia primária dos *sills* inclui labradorita, augita, minerais opacos, anfibólio, olivina ou quartzo, tendo a apatita como acessório. A assembléia secundária compreende biotita, clorita, argilominerais, carbonato e epidoto. As rochas estudadas possuem texturas freqüentemente holocristalinas intergranulares, subordinadamente ofíticas e subofíticas, dependendo do arranjo entre os cristais de plagioclásio e piroxênio e, ainda, subafírica ou porfirítica, conforme a proporção de fenocristais.

Os fenocristais e microfenocristais são predominantemente de plagioclásios, tabulares, maclados ou zonados, associados aos microfenocristais de clinopiroxênios e/ou minerais opacos. A matriz é constituída por plagioclásios, clinopiroxênios e minerais opacos. O resíduo final da cristalização magmática é constituído por quartzo ou vidro vulcânico. Os interstícios são preenchidos por argilominerais decorrentes da alteração dos minerais primários.

As estruturas são predominantemente maciças. Ocasionalmente ocorre estrutura fluidal ou amigdalóide. As amígdalas são arredondadas, milimétricas, preenchidas por quartzo, clorita e carbonato. Microfraturas e microveios de carbonato e clorita também são comuns.

As rochas ocorrem preferencialmente inalteradas. Entretanto, ocorrem rochas alteradas, principalmente com indícios de alteração deutérica, caracterizada pela cloritização dos piroxênios e carbonatização, saussuritização e argilização dos plagioclásios.

*Plagioclásios* – O plagioclásio representa a fase mineral mais abundante nos basaltos, microgabros e gabros que compõem os *sills* estudados, perfazendo até 60% da composição modal das rochas analisadas. Ocorrem em fenocristais, microfenocristais e cristais na matriz (Figura 4). Os fenocristais e microfenocristais são prismáticos, subédricos

a euédricos, submilimétricos a milimétricos (0,2 a 5 mm). Na matriz o plagioclásio ocorre como cristais ripiformes subédricos a euédricos, submilimétricos; em esferulitos e em intercrescimento mirmequítico juntamente com o quartzo. Em geral, os plagioclásios não apresentam alteração, mostram bordas retas e nítidas no contato com piroxênios e com os minerais opacos.

*Clinopiroxênios* – Representam a fase máfica mais comum nos basaltos e microgabros, perfazendo em média, 35% da composição modal das rochas. Ocorrem como fenocristais ou microfenocristais, prismáticos, normalmente anédricos a subédricos, subarredondados, submilimétricos a milimétricos (0,1 – 4,0mm) (Figura 5). Quando comparados aos fenocristais de plagioclásio, são menores e menos abundantes. Os cristais da matriz são granulares e arredondados, submilimétricos, freqüentemente intersticiais ao plagioclásio.

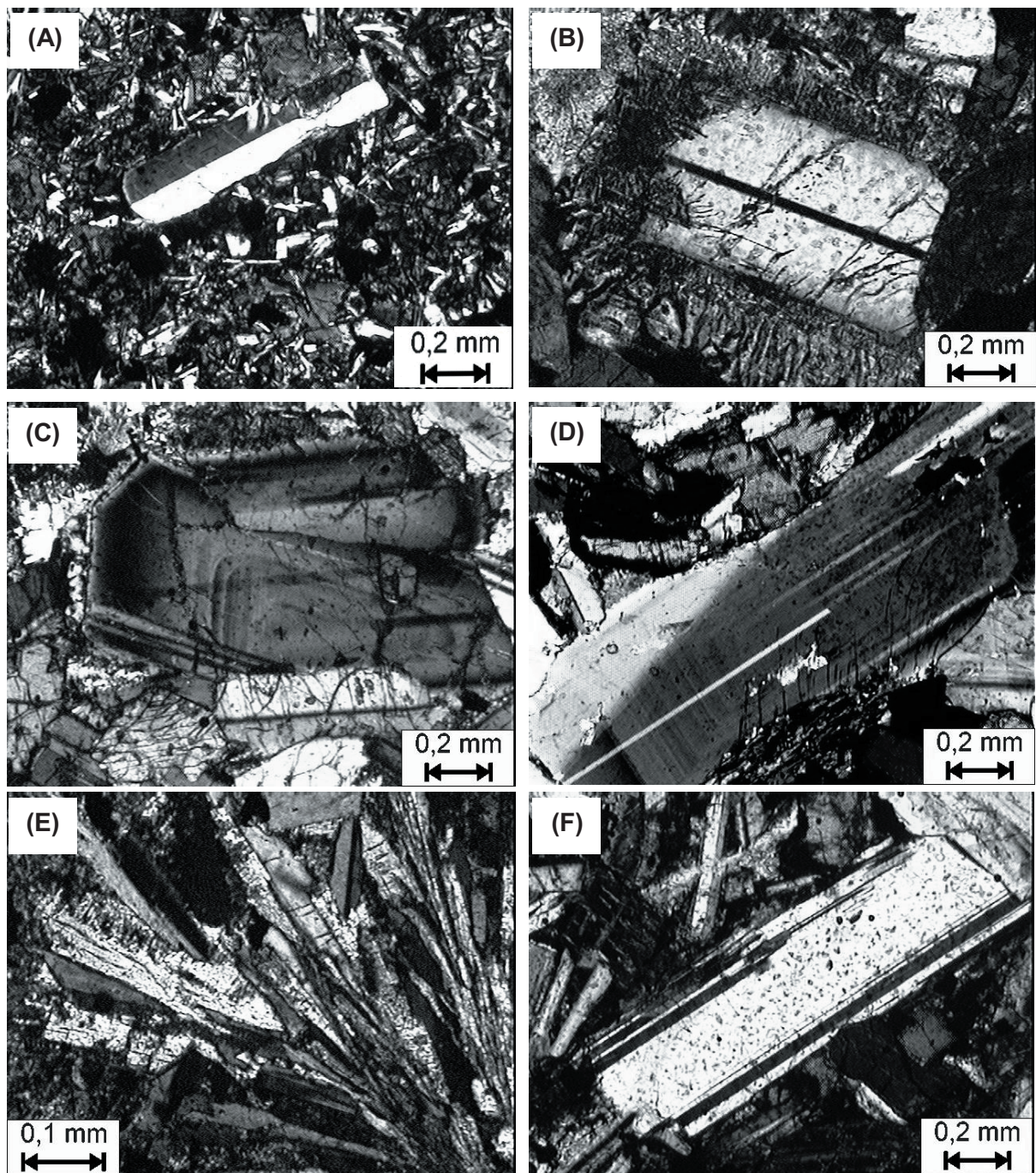
*Minerais opacos* – Ocorrem em todos *sills* estudados e onstituem uma fase máfica comum nos basaltos, microgabros e gabros. Apresentam-se como cristais euédricos quadrados, hexagonais, rômnicos ou aciculares, submilimétricos a milimétricos, com zoneamento composicional visual ausente, compreendendo entre 5 e 20% da composição modal das rochas estudadas (Figura 6).

*Anfibólitos* - Ocorrem em porcentagem subordinada. São cristais prismáticos, tabulares, anédricos a subédricos, milimétricos e inequigranulares.

*Quartzo* – Ocorre com teores inferiores a 5%, sendo descrito em intercrescimento mirmequítico (com o feldspato) ou disposto entre os interstícios dos demais cristais.

*Olivina* – Descrita em apenas uma amostra (15/34) do *sill* de Reserva. Ocorre em microfenocristais anédricos, arredondados e submilimétricos, com composição modal inferior a 5%.

*Apatita* – É o principal acessório das rochas

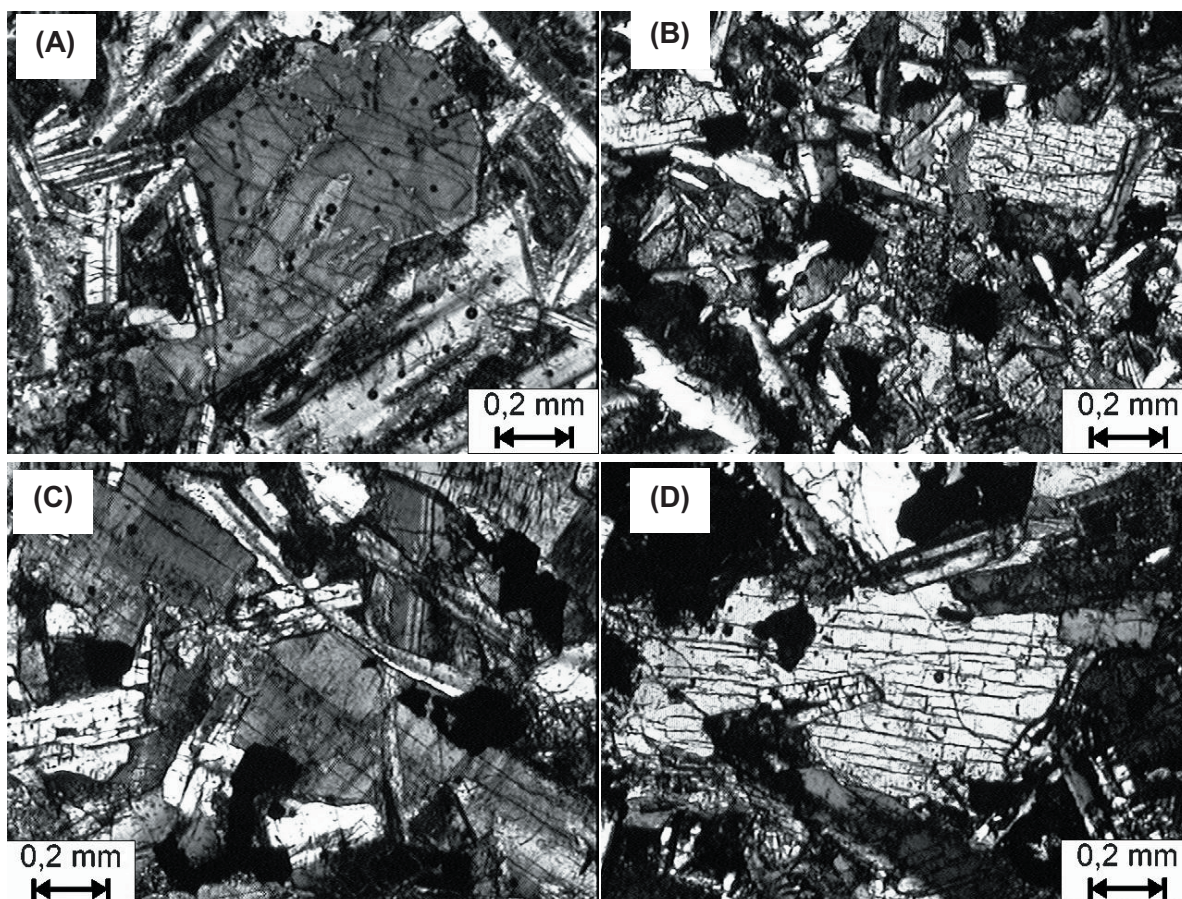


**Figura 4:** Fotomicrografias em luz polarizada de plagioclásios dos *sills* estudados com as principais variações texturais observadas. (A) Basalto com fenocristal de plagioclásio disposto em matriz fina, composta por plagioclásio, piroxênio e minerais opacos; (B) Fenocristal de plagioclásio em microgabro com intercrescimento mirmequitico nas bordas; (C) e (D) Fenocristal de plagioclásio com zoneamento composicional em amostra de microgabro; (E) Cristais de plagioclásios fibrorradiados configurando textura esferulítica; (F) Fenocristal de plagioclásio em amostra de microgabro

analisadas. Ocorre em cristais hexagonais, euédricos e submilimétricos, como inclusões em cristais de plagioclásio ou envolvidos pela matriz da rocha.

*Biotita e clorita* – A clorita apresenta-se em agregados fibrorradiados bem cristalizados

ou finamente cristalizados, frequentemente intersticiais aos demais cristais, preenchendo microfaturas e/ou amígdalas. Associadas a clorita ocorrem lamelas submilimétricas de biotita. Os cristais de biotita e clorita ocorrem associados à augita.



**Figura 5:** Fotomicrografias em luz polarizada de piroxênios dos basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) Fenocristal de piroxênio disposto em matriz fina, caracterizando textura offítica em microgabro; (B) Cristais de piroxênio arredondados e intersticiais aos cristais de laboradorita, caracterizando textura intergranular em amostra de basalto; (C) e (D) Fenocristais de piroxênio em amostra de microgabro.

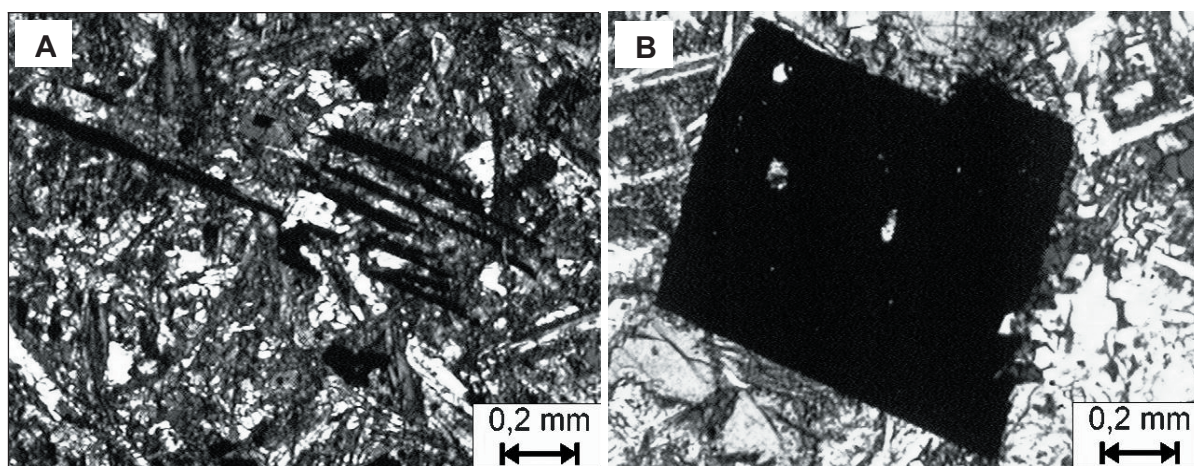
#### QUÍMICO MINERAL

A composição química e variações de cada fase mineral que compõem as rochas básicas e intermediárias dos *sills* estudados são aqui apresentadas e discutidas. Os minerais estudados foram predominantemente plagioclásios e piroxênios, em fenocristais, microfenocristais e matriz. Subordinadamente foram analisados minerais opacos, anfibólios e olivina.

#### PLAGIOCLÁSIOS

Os plagioclásios, tanto em fenocristais quanto em microfenocristais e na matriz, classificados segundo o diagrama Or-Ab-An (Deer *et al.*, 2003) (Figura 7), variam de laboradorita a andesina com os teores dos componentes Anortita (An), Albita (Ab) e Ortoclásio (Or) entre  $An_{75}Ab_{24}Or_1$  e

$An_{26}Ab_{69}Or_5$ , com pouca variação entre os *sills*. Em Reserva são encontradas as menores concentrações de An (componente anortita), 44,97% em média, onde a composição dos plagioclásios vai de  $An_{55}Ab_{43}Or_2$  a  $An_{26}Ab_{69}Or_5$ , variando de laboradorita a oligoclásio. Nos *sills* de Prudentópolis e Irati os plagioclásios variam de laboradorita a andesina ( $An_{61}Ab_{36}Or_3$  a  $An_{40}Ab_{56}Or_4$  e  $An_{59}Ab_{39}Or_3$  a  $An_{35}Ab_{61}Or_4$ , respectivamente), com média aproximada de 52,0% no componente anortita. Os *sills* de Rebouças e Ponta Grossa apresentam os conteúdos mais elevados de anortita (média de 59,21 e 57,31%, respectivamente). No primeiro, a composição dos plagioclásios varia de bitownita a andesina ( $An_{75}Ab_{24}Or_1$  a  $An_{41}Ab_{54}Or_3$ ); no segundo de laboradorita a andesina



**Figura 6:** Fotomicrografias de minerais opacos descritos em basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) Cristais ripiformes de ilmenita em amostra de basalto (luz polarizada) e (B) Fenocristal euédrico de magnetita, com inclusões de piroxênio em amostra de microgabro (luz plana polarizada)

( $An_{64}Ab_{35}Or_1$  a  $An_{46}Ab_{56}Or_2$ ). Em todos os *sills* estudados, o componente Or (ortoclásio) é inferior a 5%. Feldspatos alcalinos são raros e descritos apenas no *sill* de Reserva, as suas composições situam-se no campo da sanidina. Os fenocristais e microfenocristais de plagioclásios são caracterizados também pelo zoneamento composicional, onde ocorre empobrecimento em An (componente anortita) e enriquecimento em Ab (componente albita) do núcleo para as bordas dos cristais. O enriquecimento em Ab também pode ser constatado a partir dos diagramas de variação, onde se observa um decréscimo de CaO e enriquecimento de  $Na_2O$  com a evolução da diferenciação (Figura 8).

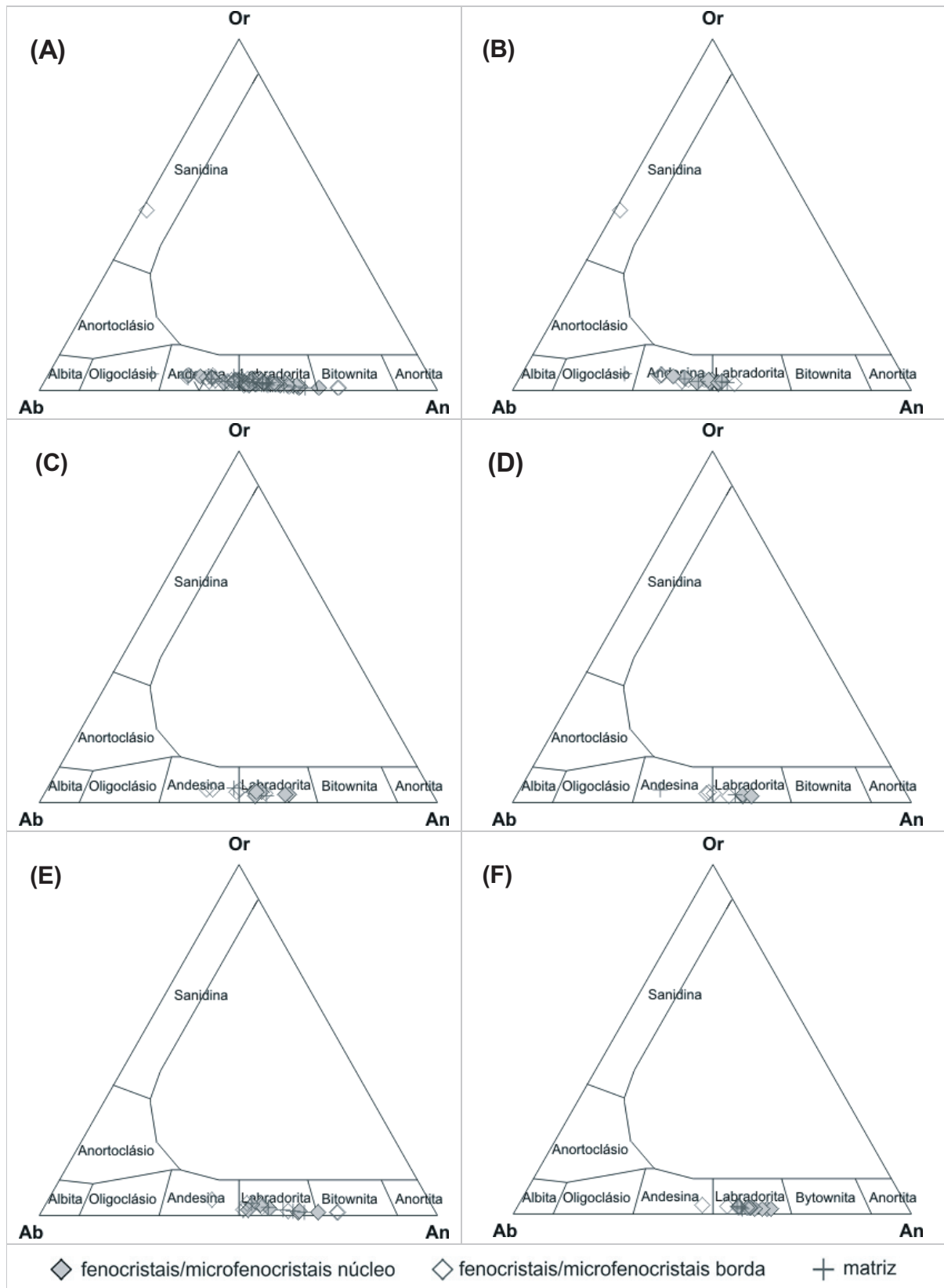
#### CLINOPIROXÊNIOS

Os clinopiroxênios são classificados como piroxênios cálcicos de acordo com o diagrama Quad ( $Ca+Mg+Fe^{2+}$ ) – J (2Na) de Morimoto (1988). Com base nesta primeira separação, os clinopiroxênios do campo Quad foram projetados no diagrama Wo-En-Fs (Wollastonita – Enstatita – Ferrossilita) de Morimoto (1988) (Figura 9). Os piroxênios são predominantemente augita, tanto no núcleo, quanto nas bordas de fenocristais e microfenocristais e em cristais da matriz, com variações entre  $Wo_{24,13}En_{42,16}Fs_{33,71}$

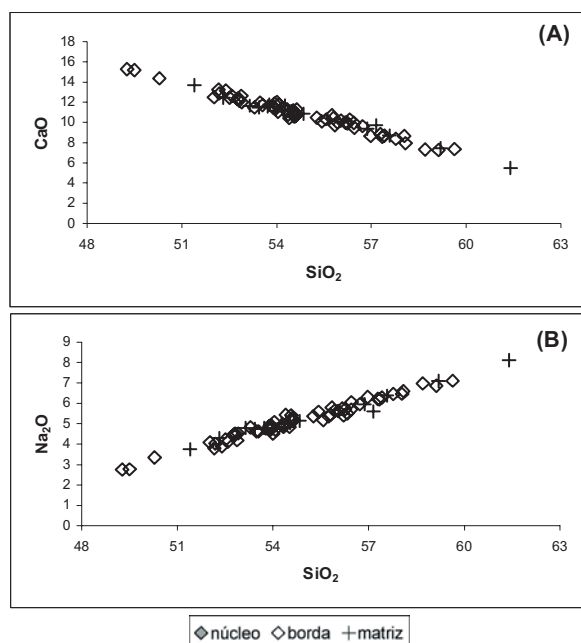
(núcleo de fenocristal) a  $Wo_{35,70}En_{40,71}Fs_{23,60}$  (matriz) no *sill* de Irati;  $Wo_{30,13}En_{45,74}Fs_{24,13}$  (borda de fenocristal) e  $Wo_{41,72}En_{20,99}Fs_{37,28}$  (borda de fenocristal) no *sill* de Reserva;  $Wo_{34,01}En_{45,76}Fs_{20,24}$  (borda de microfenocristal) e  $Wo_{40,29}En_{43,30}Fs_{16,41}$  (matriz) no *sill* de Prudentópolis;  $Wo_{28,94}En_{44,86}Fs_{26,20}$  (borda de microfenocristal) e  $Wo_{38,81}En_{46,21}Fs_{14,98}$  (núcleo de microfenocristal) no *sill* de Rebouças;  $Wo_{11,16}En_{43,31}Fs_{45,53}$  (borda de microfenocristal) e  $Wo_{37,11}En_{39,87}Fs_{23,02}$  (borda de fenocristal) no *sill* de Ponta Grossa;  $Wo_{23,24}En_{43,07}Fs_{33,70}$  (núcleo de fenocristal) e  $Wo_{40,70}En_{17,79}Fs_{41,52}$  (matriz) no *sill* de Ortigueira. Zonamento é pouco marcante e definido pela diminuição em MgO acompanhada por aumento, principalmente em FeO e subordinadamente em CaO do núcleo para as bordas dos cristais e a partir de fenocristais e microfenocristais até minerais na matriz.

Raros cristais de pigeonita ocorrem na matriz das rochas em Irati ( $Wo_{9,79}En_{62,39}Fs_{27,81}$ ), Prudentópolis ( $Wo_{8,80}En_{54,39}Fs_{36,81}$ ), Rebouças ( $Wo_{9,83}En_{62,06}Fs_{28,10}$ ) e Reserva ( $Wo_{9,90}En_{46,91}Fs_{43,15}$ ). No *sill* de Ponta Grossa é mais comum a ocorrência de pigeonita, sendo descrita em fenocristais e na matriz das rochas, com variação entre  $Wo_{8,70}En_{62,15}Fs_{29,15}$  no centro de fenocristal a  $Wo_{9,56}En_{58,11}Fs_{32,33}$  na borda de fenocristal.





**Figura 7:** Variação composicional dos plagioclásios nos *sills* estudados. (A) Diagrama ternário (Or-Ab-An) de Deer *et al.* (2003) para feldspatos com a variação composicional de núcleo e borda dos fenocristais/microfenocristais e matriz nos basaltos e microgabros de todos *sills* estudados; (B) *sill* de Reserva; (C) *sill* de Prudentópolis; (D) *sill* de Irati; (E) *sill* de Rebouças e (F) *sill* de Ponta Grossa



**Figura 8:** Diagramas de variação para os óxidos de cálcio (A) e sódio (B) vs. sílica, definindo zoneamento dos fenocristais com núcleos relativamente mais cálcicos e bordas, comparativamente enriquecidas em sódio

#### MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos analisados são na sua maioria óxidos de ferro e titânio, pertencentes ao sistema FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>. Tratam-se principalmente de Ti-magnetita e ilmenita com teores de TiO<sub>2</sub> entre 10,83% a 37,35%. O conteúdo de MnO é baixo (0,32 – 1,32%), bem como de MgO, que apresenta concentrações no intervalo de 0,05 a 1,33%. Em menor porcentagem ocorrem sulfetos, os quais macroscopicamente puderam ser identificados como pirita.

#### OLIVINA

Encontrada em apenas uma amostra (15/34) do *sill* de Reserva em microfenocristais e na matriz. É classificada como faialita com FeO entre 62,60 e 62,92%. O conteúdo de CaO encontra-se no intervalo de 0,28 a 0,32% e o MnO apresenta concentrações da ordem de 1,07 a 1,20%.

#### ANFIBÓLIOS

Os anfibólios são raros e ocorrem apenas em porcentagem subordinada. São classificados segundo Leake (1978) como

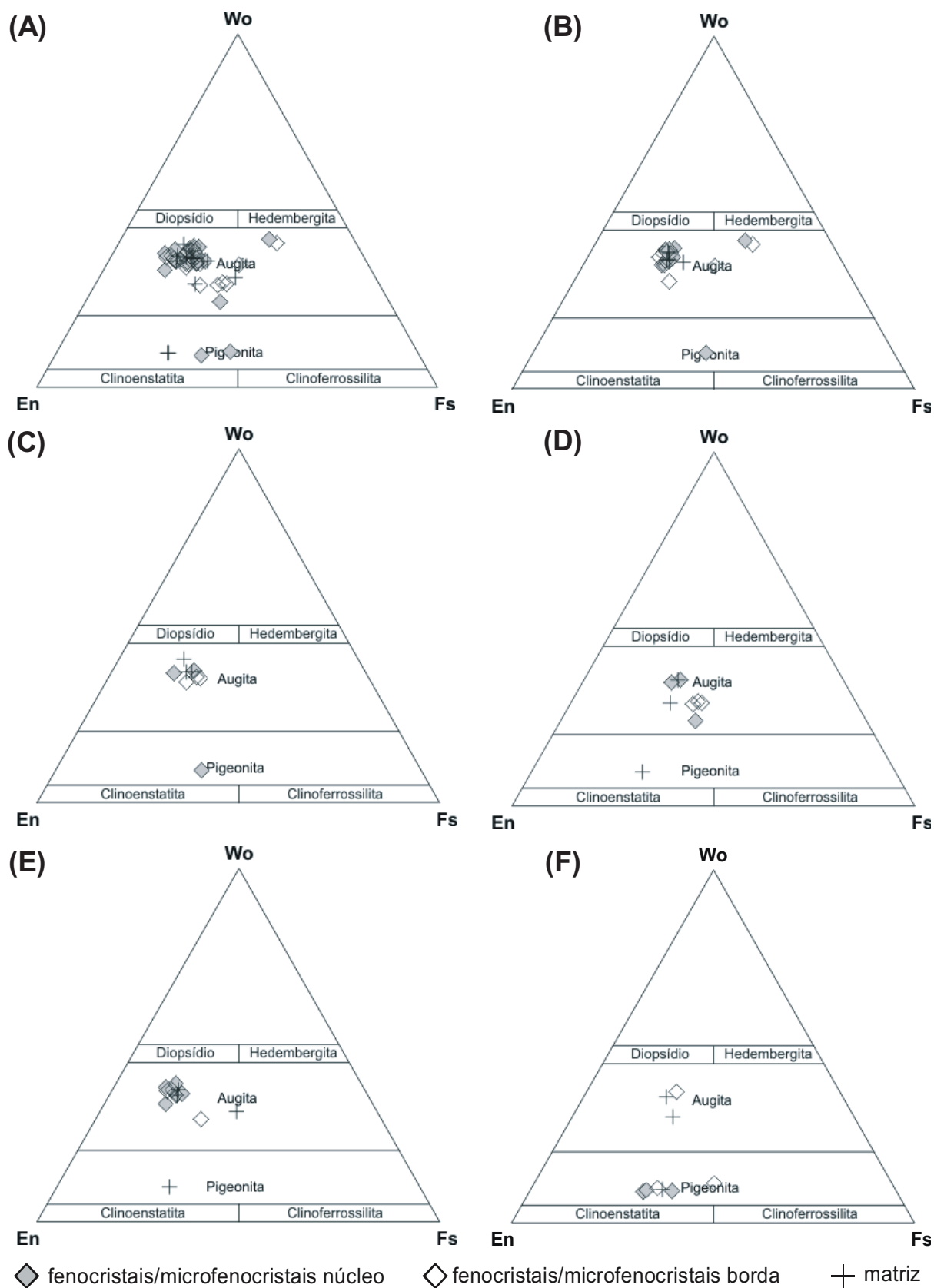
cálcicos, com composição variando de ferroedenita a edenita nos *sills* de Prudentópolis, Reserva, Rebouças e Irati, e de actinolita hornblenda a magnésio hornblenda no *sill* de Ponta Grossa (Figura 10). O conteúdo de cálcio encontra-se no intervalo entre 9,77 e 17,01% e MgO varia entre 6,1 e 14,21%.

#### GEOTERMOBAROMETRIA

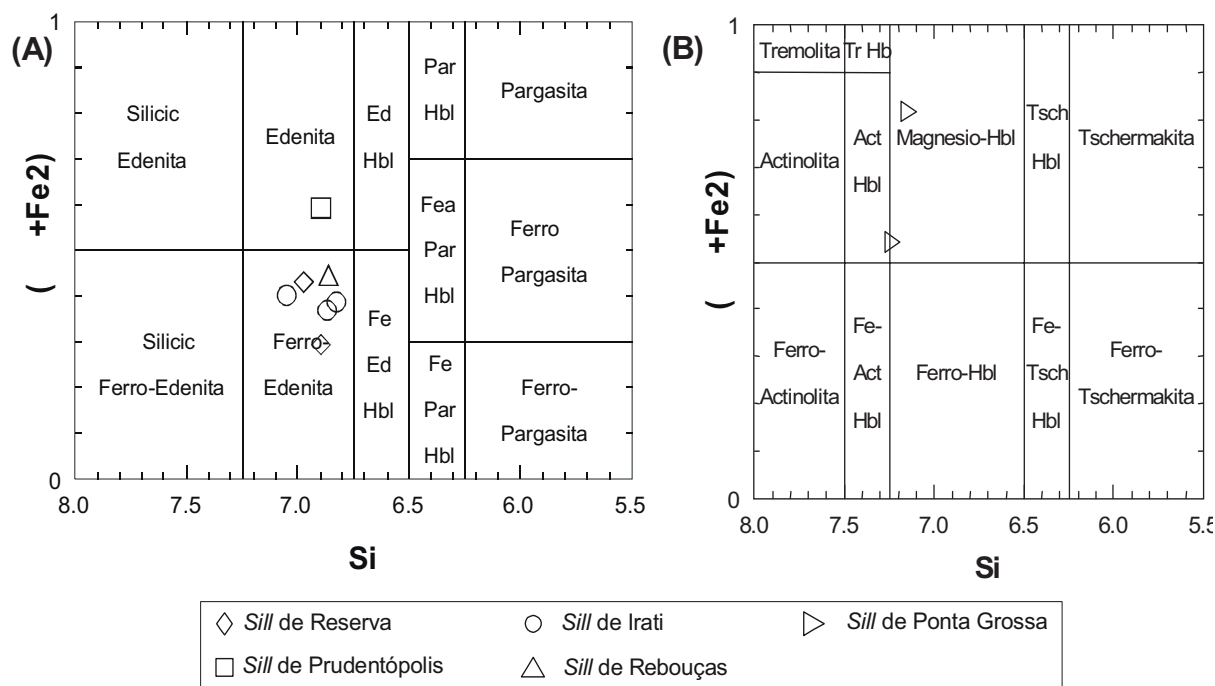
As condições de temperatura e pressão de cristalização dos *sills* foram calculadas utilizando a composição de rocha total e as composições minerais de plagioclásios e clinopiroxênios, por meio do emprego dos geotermobarômetros calibrados por Putirka (2005) e Putirka *et al.* (2003). O termobarômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003), aplicado para clinopiroxênios, é baseado na cristalização da jadeíta e no equilíbrio de troca Jadeíta – Diopsídio – Hedembergita. Similarmente, os termobarômetros calibrados para plagioclásios são baseados nas composições plagioclásio – líquido, fundamentados na cristalização da anortita e na reação de troca entre anortita e albita.

As pressões obtidas em clinopiroxênios variam de -3,8 kbar a 6,50 kbar, com predomínio na faixa entre 3 e 4 kbar. As pressões situadas no intervalo entre 0 e -5,0 kbar representam um número positivo pequeno e, possivelmente, refletem cristalização a 1 atm. A profundidade média estimada, calculada a partir das pressões obtidas, corresponde a 10 km (assume-se 3,3 km/kbar, Putirka *et al.* 1996). Com relação à temperatura, os clinopiroxênios se cristalizaram no intervalo de 932,85 a 1301,85°C, com predomínio na faixa entre 1100 e 1200°C.

As pressões registradas em plagioclásios variam de -0,2 kbar a 10,1 kbar, com média de 5,61 kbar, indicando profundidade média de cristalização dos plagioclásios igual a 18 km. Com relação à temperatura, os plagioclásios cristalizaram no intervalo de



**Figura 9:** Variação composicional dos clinopiroxênios para os *sills* estudados. (A) Diagrama ternário (En: Fs: Wo) de Morimoto (1988) para clinopiroxênios apresentando a variação composicional de borda e núcleo dos fenocristais/microfenocristais e matriz nos basaltos e microgabros de todos *sills* estudados; (B) *sill* de Reserva; (C) *sill* de Prudentópolis; (D) *sill* de Irati; (E) *sill* de Rebouças e (F) *sill* de Ponta Grossa



**Figura 10:** Variação composicional dos anfibólios de basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) *Sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças e (B) *Sill* de Ponta Grossa. Todos as análises correspondem a cristais da matriz

992,85 a 1266,85°C, com predomínio na faixa entre 1150 e 1200°C.

### CONCLUSÕES

As rochas de *sills* aflorantes na região centro-leste do Estado do Paraná são definidas em campo como basaltos, microgabros e gabros, conforme a sua granulação. Quimicamente, tratam-se de rochas de composição básica a intermediária, variando de basaltos andesíticos a andesitos, lati-andesitos, latitos e um quartzo latito, compostas por labradorita, augita, minerais opacos, anfibólios, olivina ou quartzo e apatita como acessório.

Com relação à química mineral, os plagioclásios apresentam composição variável de oligoclásio a bitownita, com predomínio de labradorita. O componente Or (ortoclásio) é superior a 0,5% chegando a um máximo de 5%, condizente com a concentração de  $K_2O$  na rocha (0,42 a 3,75%). As análises químicas revelaram para os plagioclásios uma correlação negativa entre os componentes An (anortita) e Or (ortoclásio), indicando

o enriquecimento em  $K_2O$  nos líquidos magmáticos finais.

Os clinopiroxênios são classificados como cálcicos, variando de alto cálcio em cristais de augita e baixo cálcio em cristais de pigeonita. Em diagramas Ca-Mg-Fe convencionais, os cristais de augita de litotipos básicos e intermediários definem um *trend* paralelo àqueles de Skaergaard (Brow, 1957 e Brow e Vicent, 1963 *in* Bellieni *et al.* 1984), enquanto que os cristais de pigeonita coexistentes mostram enriquecimento em FeO.

A análise das pressões obtidas em clinopiroxênios e plagioclásios sugere fonte mantélica com cristalização em ambientes distintos que requerem a existência de vários reservatórios magmáticos interligados. Estes reservatórios representam níveis até os quais os magmas ascenderam e iniciaram o processo de cristalização. As maiores pressões registradas estão em torno de 9 a 10 kbar e sugerem que a câmara magmática parental estava localizada a aproximadamente 30 km abaixo da superfície da Terra.

## REFERÊNCIAS

- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G.; PICCIRILLO, E. M. (1984) Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná Plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. *Journal of Petrology*, 25(3):579-618.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. (1980) Classification of volcanic and plutonic rocks Using R1R2 – diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29:183-210.
- DEER, A. A. W.; HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (2003) *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Logmans, Green and Co. Ltda., 652p.
- LEAKE, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Min. Mag.*, 42: 533-565.
- LE MAITRE, R. W. (1989) *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of terms*. Blackwell Sci. Pub., 193p.
- MINEROPAR (2001). *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. CD-ROM.
- MINEROPAR (2005). *Cartas Geológicas do Estado do Paraná*. Curitiba, CDROM.
- MORIMOTO, N. (1988) Nomenclature of Pyroxenes. *Min. Mag.*, 52: 535-50.
- PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.; STOLFA, D.; BELLIENI, G.; MARQUES, L. S.; GIARETTA, A.; NARDY, A. J. R.; PINESE, J. P. P.; RAPOSO, M. I. B.; ROISEMBERG, A. Petrochemistry of continental flood basalts - rhyolite suites and related intrusives from the Paraná Basin (Brazil). In: PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J. (1988) *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin - petrogenetic and geophysical aspects*. USP, p.107-156.
- VASCONCELLOS, E. M. G., PETERSOHN, E., BARBOSA, M. A. D., VANZELA, G. A., MANCINI, F., PINESE, J. P. P., CANDIDO, A. G. (2003) Estudo petrográfico e geoquímico de sills encaixados nas rochas sedimentares da Formação Irati no Estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, IX, Belém, SBGq. Anais 1: 1-4.
- VASCONCELLOS, E. M. G.; REIS NETO, J. M.; MESQUITA, M. J. M.; PINESE, J. P. P.; ROSTIROLLA, S. P.; VANZELA, G. A.; BARBOSA, M. A. D.; PETERSOHN, E.; CASTRO, A. B.; SOARES, P. C. (2004) Modelo termal de formação das rochas ígneas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e sua influência nos sistemas petrolíferos Ponta Grossa-Itararé e Irati-Rio Bonito/Pirambóia. Curitiba: UFPR, 55p. Relatório técnico CNPq/CTPETRO.

(Footnotes)

<sup>1</sup>To whom the correspondence should be sent: epetersohn@anp.gov.br