

## **2 Informações Geológicas**

### **2.1 Cenário Geológico**

O magmatismo alcalino no Brasil teve início nos períodos Permo-Triássico durante o terceiro dos quatro principais estágios, ocorridos na evolução geológica da Bacia do Paraná (Almeida, 1981). Nos primeiros estágios (Devoniano/Carbonífero Inferior e Carbonífero Inferior/ Permiano Superior) o evento mais importante foi à subsidência da bacia numa sinforme, com intensa sedimentação (Fúlfaro et al., 1982).

Na Bacia do Paraná domos estruturais e arqueamentos são comuns, sendo estes paralelos ou não aos limites da bacia. Muitos foram formados durante estágio de ativação da bacia. Alguns como o Arco de Asunción orientado na direção N-S, estando a oeste da Bacia do Paraná, apresentou em geral uma tendência de soerguimento no período do Devoniano. O Arco de Ponta Grossa tem sido apontado como uma extensa estrutura domal predominantemente antes da deriva continental. Suas atuais características (Zalán et al., 1991) foram desenvolvidas depois do período Triássico. Muitas outras estruturas positivas com movimentos de soerguimento aparecem com processos de ativação, como: O Arco Alto Paranaíba, Arco Rio Grande, Arco Bom Jardim, entre outros. Estas áreas de movimentos tectônicos positivos são responsáveis pelos contornos da Bacia do Paraná, no Jurássico e Cretáceo, bem como, tiveram um importante papel no alojamento das intrusões alcalinas. (Almeida et al., 2000)

O Arco de Ponta Grossa, com alinhamento na direção noroeste, é uma das mais importantes estruturas na região sul do país, sendo resultante de um

soerguimento durante o terceiro estágio (final do Paleozóico ao Jurássico). O quarto estágio (final do Jurássico ao Cretáceo Inferior) os eventos geológicos apresentam como predominância uma seqüência de intensos derrames de basalto toleítico (138-127 Ma; Turner et al., 1994) com vulcanismo ácido, sendo o seu alojamento, facilitado por esforços extensionais associados com a reativação Wealdeniana (Almeida, 1986). As rochas alcalinas como Jacupiranga, Juquiá e rochas correlatas tiveram seus alojamentos quase que contemporâneos à reativação. Herz (1977), cita o termo “nódulo de Jacupiranga” como oriundo de um *Hot Spot* e junções triplas atuantes, que proporcionaram o alojamento de rochas como Juquiá, Itanhaém e Piedade. Outras manifestações alcalinas como Tunas localizada também na Província Arco de Ponta Grossa, são relacionadas a fraturas tensionais associadas ao arqueamento estrutural.

Almeida (1983) propôs, com relação à alcalina de Ipanema e muitas outras ocorrências no Estado de Santa Catarina como também da Província Serra do Mar, que seus alojamentos foram controlados por reativação de zonas de falhas antigas com *trending* NW e NNW, ativas desde o Precambriano (Complexos alcalinos do Alto Paranaíba e Rio Verde – Iporá são exemplos).

## **2.2 Classificação**

Almeida (1983) sugere que as rochas alcalinas possuem uma predisposição a apresentarem um condicionamento tectônico quanto ao seu alojamento, sendo influenciada pelo tectonismo regional. As províncias alcalinas classificadas em parte com suas características e afinidades estruturais foram uma das mais importantes classificações apresentadas ainda hoje.

Ulbrich & Gomes (1981) em trabalho pioneiro classificaram, as rochas alcalinas, principalmente quanto a aspectos petrográficos e geológicos, e marcaram através de seu trabalho o estudo das rochas alcalinas no Brasil. A classificação petrográfica das rochas alcalinas do Brasil é verificada abaixo:

**Tipo I:** Associação sienítica saturada a insaturada, com álcalis sienitos, pulaskitos e nefelina sienitos (freqüentemente associados traquitos e fonolitos) como tipos de rochas predominantes. Exemplos *Tanguá Soarinho, Rio Bonito, Tinguá.*

**Tipo II:** Subsaturada, associação sienítica fortemente peralcalina, enriquecida em minerais incompatíveis, sendo como rochas dominantes nefelina sienitos e seus correspondentes efusivos (fonolitos e tinguaitos). Exemplo Poços de Caldas.

**Tipo III:** associação álcali-saturada a peralcalina, Máfico a ultramáfico com glimeritos, dunitos, peridotitos e piroxênitos como rochas dominantes. As rochas associadas são às vezes mais félsicas como álcali-sienitos, malignitos e shonkinitos e também espécies peralcalinas fortemente insaturadas como ijolitos e melteigitos. Petrograficamente são muito complexas tendo três linhagens reconhecidas: algumas rochas dominantes como dunitos, peridotitos e piroxenitos incluem núcleos carbonatíticos, como exemplos são observados os complexos alcalinos de Araxá, Tapira, Serra Negra, Jacupiranga, Juquiá e Anitápolis. A segunda linhagem está relacionada à primeira, com glimeritos como a principal rocha silicática, apresentando carbonatitos como diques e *plugs* (exemplo Catalão I e Ipanema). A terceira inclui dunitos e peridotitos como rochas principais, porém são desprovidas de carbonatito, sendo citadas as rochas alcalinas do grupo Iporá

em Goiás. Ocorrências de carbonatitos em Itapirapuã e São Gotardo sugerem que esses maciços podem ser rochas alcalinas do tipo III, apesar de serem mais leucocráticas.

**Tipo IV:** São associações máfico-ultramáfico de álcali-gabros. Pulaskitos e nefelina sienitos são os tipos de rochas mais comuns juntamente com essexitos e teralitos, também são freqüentes tipos intermediários como monzonitos (no caso de Tunas). As relações entre as associações do tipo III e IV são estreitas. Exemplos Pariquera-Açu, Ilha de São Sebastião, Tunas, entre outros.

**Tipo V:** Associações de alcali basalto-traquito-fonolito (tinguaito) são de pequena importância geológica, embora representadas através de diques, *sills*, pequenos *stocks* e chaminés. Exemplos: Barra do Piraí, Barra do Teixeira, Sete Quedas, Campos do Jordão, Jaboticabal, Mato Preto, Pântano, Piratini e Serra do Bueno. Ocorrências carbonatíticas são verificadas em Mato Preto. Esta associação pode em alguns casos conter parte do tipo I ou tipo IV na forma vulcânica, como Banhadão, Barra do Teixeira, Mato Preto e Sete quedas, localizadas no Estado do Paraná.

**Tipo VI:** Associações de granito-álcali sienito. Os maciços de Itatiaia e Passa Quatro são exemplos, onde predominam rochas saturadas e suavemente insaturadas formando uma borda de núcleos de rochas supersaturadas.

**Tipo VII:** Uma forte e insaturada, associação vulcânica peralcalina onde os tipos dominantes são rochas como leucitos, uganditos e analcitos, com ou sem acompanhamento de basaltos saturados e fonolitos. Petrograficamente os dados são ainda muito dispersos. Exemplos possíveis são Sacramento e Santo Antonio da Barra.

**Tipo VIII:** Associação persódica insaturada com álcali sodalita-sienitos e *litchfieldites* – sienitos ocorrem como principais rochas. Possuem dois representantes, Canaã no Rio de Janeiro e Itajo do Colônia na Bahia. *Litchfieldites* e alguns sodalita-sienitos também ocorrem em Mapari e Catrimani no norte do Brasil, e os *litchfieldites* ocorrem em Goiás.

As rochas alcalinas de maneira geral podem ser classificadas geologicamente quanto as suas características estruturais e petrográficas. A idade de cada complexo ou maciço, também corrobora para a sua classificação sendo um fator de interesse no seu agrupamento. Na Tabela II. 1 são apresentadas as idades e o tipo de rocha de cada complexo.

### **2.3 Base Petrográfica**

As rochas alcalinas possuem uma infinidade de litotipos. Nesse subitem será abordado brevemente, como são classificadas segundo a petrologia. As rochas consideradas alcalinas são todas aquelas caracterizadas pela presença de feldspatóides e /ou álcali-piroxênios ou anfibólios (Shand, 1922; Sørensen, 1974; Almeida, 1983). Conteúdos de álcali-feldspatos ou mica não estão de acordo com a definição de rochas alcalinas, proposta por Shand (1922). O sistema de classificação de rochas plutônicas e vulcânicas usadas na presente tese é o de Streckeisen (1967), que subdividiu as rochas ígneas através do índice de cor **M** (minerais máficos) de acordo com os conteúdos modais da cor dos minerais, segundo as concentrações de Q (quartzo), A (álcali feldspato), P (plagioclásio). Para índices **M** = 90 – 100, são agrupadas as rochas máficas-ultramáficas, como exemplo de rochas plutônicas, peridotito e piroxênio. As rochas efusivas com

índice entre  $M = 90 - 100$  são o melilito (picrito), etc. O diagrama de Streckeisen, (1967), é visualizado na Figura II. 1. Outro sistema de classificação geralmente usada é a russa de Sarantsina & Shikarev (Sørensen, 1974), Figura II. 2, que subdivide as rochas alcalinas conforme as suas concentrações de Nefelina, **Ne**, Minerais Máficos, **M**, e Álcali Feldspatos, **A**.

Tabela II. 1. Províncias, litologia e idade das rochas alcalinas investigadas.

Província	Alcalina	Litologia	Idade (Ma)	Localização
Arco de Ponta Grossa	Jacupiranga	Piroxenito (jacupiranguito), peridotito, Ne-sienito, ijolito, carbonatito	130	SP
Arco de Ponta Grossa	Juquiá	Olivina piroxenito, álcali-gabros, Ne-sienitos, ijolito, melteigito, pulaskito, carbonatito	127	SP
Ipanema	Ipanema	Glimerito, pulaskito, lusitanito, aegirinito, carbonatito	123	SP
Arco de Ponta Grossa	Tunas	Álcali-sienito, pulaskito, ne-sienito, alkali-gabro, monzonito, diorito	110	PR
Poços de Caldas	Poços de Caldas	Fonolito, Ne-sienitos, luaritos, tinguaitos, ankaratritos	97 a 53	MG e SP
Alto Paranaíba	Araxá	Piroxenito (jacupiranguito), malignito, carbonatito	91	MG
Arco de Ponta Grossa	Pariquera-Açu	Teralito, essexito	90	SP
Arco de Ponta Grossa	"Registro"	?	?	SP
Alto Paranaíba	Serra Negra	Dunito, peridotito, jacupiranguito, shonkinito, carbonatito	82	MG
Alto Paranaíba	São Gotardo	Urtito, melteigito, pulaskito, alkali gabros, carbonatito	82	MG
Alto Paranaíba	Salitre I e II	Álcali sienito, ne-sienito, biotita piroxenito (bebedorito), tinguaito, traquito, carbonatito	81	MG
Serra do Mar	Tanguá	Pulaskito, Ne-sienito, nordmarkito	67	RJ

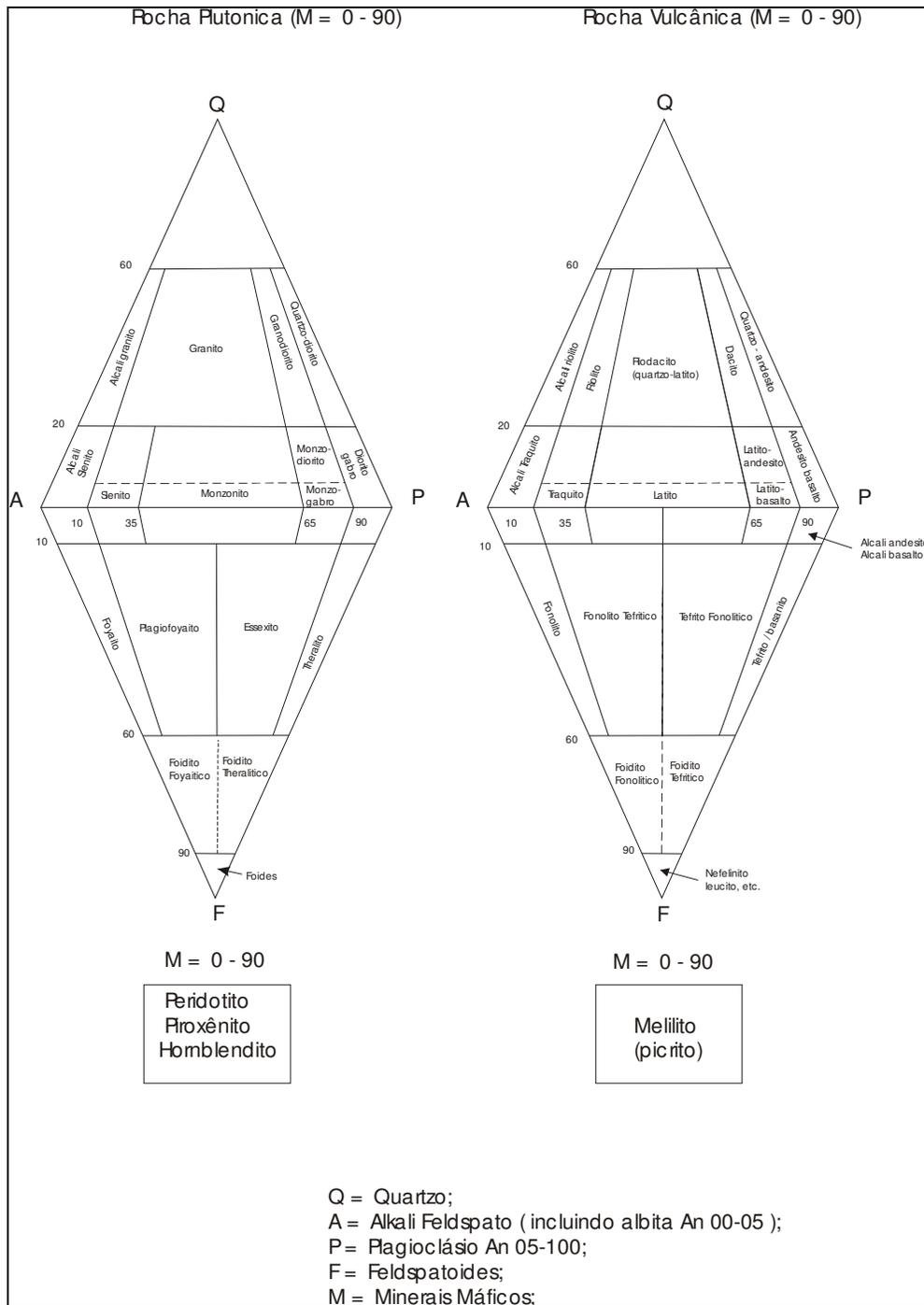


Figura II. 1. Diagrama de Classificação de Rochas ígneas (Streckeisen, 1967).

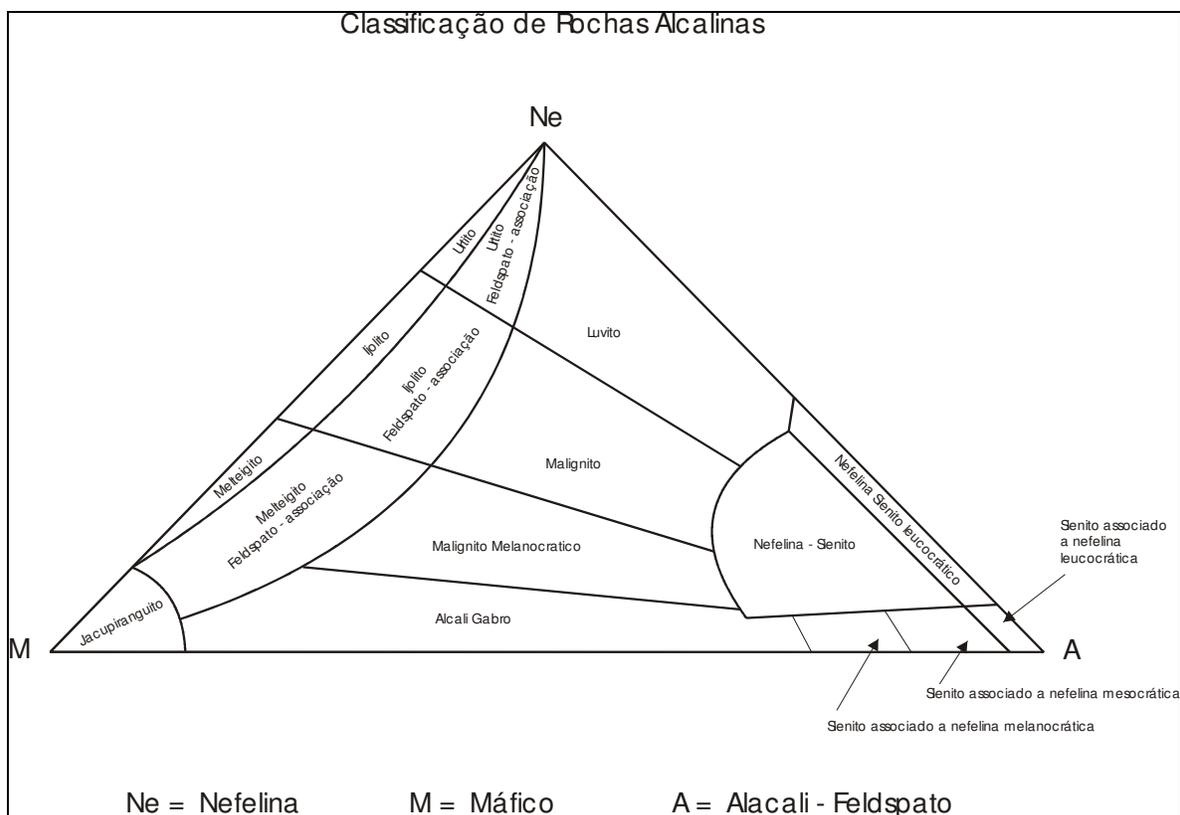


Figura II. 2. Classificação de rochas alcalinas, utilizada pela escola russa. (Sørensen, 1974)

## 2.4 Tipos de Intrusões (breve comentário)

As intrusões de rochas alcalinas e complexos alcalinos apresentam diversos formatos, variando de *sills*, intrusões centrais (*stocks*, *necks* e *plugs*), a diques. O tamanho de corpos sieníticos (estimativa mundial), varia de 1 km<sup>2</sup> a 1500 km<sup>2</sup>, sendo a maioria dos corpos de tamanhos pequenos. No Brasil as intrusões alcalinas centrais variam de 800 km<sup>2</sup> (Poços de Caldas-MG, maior intrusão alcalina do Brasil) a 1 km<sup>2</sup> (Cananéia-SP). Os corpos possuem geralmente uma geometria discordante com as rochas encaixantes, sendo o mesmo verificado nos modelos gravimétricos. Formatos concordantes são observados em sienitos gnáissicos e nefelina sienitos através de *sills* e lacólitos.

Evidência de intrusão forçada é raramente notada ao redor das intrusões sieníticas. Geralmente são observadas intrusões passivas, resultante da atuação de esforços de tração. Os corpos sieníticos geralmente possuem um formato elíptico ou semicircular. Lentes sieníticas e sienitos feldspatóides em geral apresentam geometria na forma de sills em alcalibasaltos diferenciados. Traquitos e fonolitos podem ocorrer como citado por Sørensen (1974) na forma de lacólitos. Diques de microsienito, tinguaito, entre outros, são abundantes ao redor intrusões de sienitos e sienito feldspatóides, os diques são geralmente finos e de extensão limitada. Geralmente os diques são indicadores de informações quanto ao magma primário, desde que não contaminado pela rocha encaixante. As dimensões dos diques são em media pequenos, no entanto quando em grandes dimensões, apresentam zonas marginais de alcaligabros e zonas centrais de sienitos de super a sub-saturados. (Sørensen, 1974)

Sienitos e feldspatóides sieníticos são membros de varios tipos de intrusões centrais. *Necks, plugs* e *stocks* se alojam *in situ* através de dezenas de metros a vários quilômetros, em formatos centrais ou em pequenos *plugs* intrudidos em corpos de *stocks*.

*Necks, plugs* e *stocks* possuem diâmetros de poucas dezenas de metros a vários quilômetros, estando eles concentricamente dispostos, ou em pequenos *plugs* intrudidos em corpos principais de *stocks*. Exemplos dessa disposição ocorrem na península de Kola e nas intrusões de Monteregian. (Sørensen, 1974). Intrusões em formato de *plugs* e pequeno “*stocks*” (*stock-like*) de sienitos são geralmente creditados para serem alojados por paradas na injeção de magma.

Entretanto um arranjo anular é verificado em muitas intrusões do tipo *stock-like* podendo também indicar alojamento do magma ao longo de fraturas.

Alguns corpos sieníticos apresentam estruturas internas semelhantes aos gnaisses. A xistosidade na rocha alcalina pode ser proveniente do crescimento dos cristais em um meio sob esforços, como também, a injeção de magma sob uma pressão inicial e subsequente relaxamento da pressão, irá permitir que as paredes da rocha pressionem o magma e alinhe os minerais, resultando na aparente xistosidade. Além da xistosidade, pode-se verificar acamadamentos dentro da rocha, sendo estes um indicativo de movimento laminar do magma dentro da câmara que formou a rocha. O acamadamento indica que as temperaturas do magma originais eram baixas, não permitindo movimentos turbulentos.

Na região central da Suécia, mais precisamente em Almunge, nefelina sienitos formam um anel (*ring*) incompleto e apresentam xistosidade em sua trama (Sørensen, 1974). Intrusões com formato de anel de diques são comumente compostos de sienitos, enquanto que granitos formam *stocks* centrais em complexos alcalinos.

Esses breves comentários sobre a geometria dos corpos alcalinos, e pela concordância ou não das intrusões com respeito às rochas encaixantes, apenas introduzem uma visão geral de como podem ocorrer os alojamentos das intrusões magmáticas, e que as mesmas, dependendo do magma original e dinâmica de alojamento pode gerar intrusões circulares, diques, *necks* e até mesmo a presença de uma aparente xistosidade na rocha. Como verificaremos mais a

frente a maior parte dos complexos alcalinos do Brasil, possuem um formato discordante e cônico, com alguns quilômetros de “raiz”.

## **2.5 Distribuição Regional e Relações Tectônicas**

As rochas alcalinas são formadas sobre relativa calma tectônica e o alojamento final é facilitado por falhas e dobramentos; essa é uma idéia que surge desde de Harker (1896). A quiescência permite que os magmas se diferenciem e deixem escapar gases frustrando a mistura de magmas fracionados. A maior concentração de rochas alcalinas ocorre em regiões estáveis da crosta, incluindo regiões dobradas. As rochas alcalinas são menos conspícuas nos cinturões de atividade orogenética. As ocorrências oceânicas de magmas alcalinos são principalmente encontradas em ilhas situadas nas cadeias mesoceânicas. (Sørensen, 1974)

Kuznetsov (1958, 1964) enfatizando a relação entre magmatismo e tectonismo, introduziu o termo formação magmática. Este termo cobre associações de rochas que são mutuamente relacionadas nas afinidades petroquímicas, geoquímicas, e estruturais nas proximidades do alojamento. As formações magmáticas das regiões estáveis, plataformas e escudos, são geralmente compostas de tipos alcalinos, quando na presença de basalto toleítico. Durante os períodos de atividade tectônica as associações de álcali basaltos precedem as intrusões alcalinas de tipo central. A diversidade de formações magmáticas, em regiões tectonicamente estáveis, é explicada por migração vertical de câmaras magmáticas geradas em diferentes profundidades no interior do manto terrestre. (Sørensen, 1974)

Existe uma conexão entre atividades alcalinas e as grandes estruturas tectônicas, principalmente em zonas de falhas. Um dos exemplos mais notáveis são as zonas de *rift*. Tal como nos casos do Leste do continente Africano, o graben Rhine-Oslo e em Quebec a província Monteregian. (Sørensen, 1974)

A ocorrência de rochas alcalinas é geralmente localizada nas intersecções das zonas de falha. Os exemplos citados, externamente ao Brasil, são as províncias de Kola (USSR) e Gardar (Groelândia). As direções das rochas alcalinas, e o alongamento individual das intrusões são em geral, transversais às estruturas regionais predominantes. As alcalinas podem aqui ser associadas com zonas de falhas incipientes ou zonas de fraqueza crustal. Estruturas domeadas e arqueamentos estruturais, como nos casos dos *rift valley* são freqüentemente sítio das rochas alcalinas. A relação entre arqueamento e localização de rochas alcalinas é observada também nas províncias alcalinas da Sibéria, na província Niger na Nigéria, oeste da África, e as alcalinas da porção leste das montanhas rochosas na América do Norte (Sørensen, 1974). Exemplos brasileiros são as alcalinas do Vale do Ribeira.

As províncias alcalinas freqüentemente apresentam zoneamento distinto ou variação linear com respeito à mineralogia, química e modo de ocorrência. Exemplos são verificados nos rifts do leste da África e oeste dos USA para magmas alcalinos com composição sódica a potássica. Nos USA a alcalinidade aumenta de oeste para leste.

### **No Brasil**

O magmatismo alcalino processou-se sobretudo em estruturas soerguidas marginais ou transversais às bordas da bacia, com uns poucos centros intrusivos na região intrabacia. Nas bordas da Bacia do Paraná é ocorrente a intrusão de rochas alcalinas, sendo citadas, Lajes – SC, Ipanema, Jaboticabal–SP, entre outras, e Cerro Corá e Cerro Sarambi no Paraguai. Essas intrusões e efusões de rochas alcalinas apresentaram se em duas fases, sendo a mais antiga pré-aptiniana (antes de 125 Ma, Cretáceo Inferior) como os basaltos, e a mais nova, aptiana-eocênica (125 a 50 Ma). As rochas pós-aptinianas foram em parte contemporâneas à deposição do Grupo Bauru, como se observa em Minas Gerais. (Almeida, 1986)

As intrusões da segunda fase do vulcanismo alcalino ocorrem sobretudo nas estruturas arqueadas existentes às bordas da Bacia, onde se associam a diques de diabásio pré-aptiano e umas poucas intrusões alcalinas da primeira fase. (Almeida, 1986)

O vulcanismo basáltico ocorreu entre 147 e 119 Ma, com máxima intensidade entre 132 e 129 Ma, conforme indicam as datações K-Ar e Rb-Sr (Amaral et al. 1966). Portanto muitas alcalinas são contemporâneas do vulcanismo, que gerou fraturas, falhas e meios de percolação na crosta, deixando-a mais rúptil.

## **2.6 Referência**

Almeida, F.F.M., 1981. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. Atas do II Simpósio Regional de Geologia, SBG, São Paulo.

Almeida F.F.M., 1983. Relações tectônicas das Rochas Alcalinas Mesozóicas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana. Revista Brasileira de Geociências, vol. 13 p.139-158.

Almeida, F.F.M., 1986. Distribuição Regional e Relações Tectônicas do Magmatismo Pós – Paleozóico no Brasil. Revista Brasileira de Geociências, vol 16(4): 325-349.

Almeida, F.F.M de, Brito Neves, B.B. de, Carneiro, C.D.R, 2000. The origin and evolution of the South American Platform. Earth Science Reviews, 50:77-111.

Amaral, G.; Bushee, J.; Cordani, U.G.; Kawashita, K.; Reynolds, J.H. – 1966. Potassium Argon Dates of Basaltic rocks from Southern Brazil. Geoch. Cosm. Acta, 30 (2): 159-189.

Fúlfaro, V.J., Saad, A.R., Santos, M.V. and Viana, R.V., 1982. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Ver. Bras. Geociência, 12:590-611.

Harker, A., 1896. The natural history of igneous rocks. I. Their geographical and chronological distribution. Sci. Progress, 6.

Herz, N., 1977. Time of spreading in the South Atlantic; information from Brazilian alkalic rocks. Geol. Soc. Amer. Bull., 88:101-112.

Kuznetsov, Yu. A., 1958. 'Magmatic formations', in Zakonomernosti rasmeshcheiya poleznykh iskopaemy (in Russian), vol. I, Lzd. Akad. Nauk SSSR.

Kuznetsov, Yu. A., 1964. Chief types of Magmatic Formations (in Russian).  
Izd. 'Nedra'.

Shand, S.J., 1922. The problem of the alkaline rocks. Proc. Geol. Soc. S.  
Afr., XXV, xix-xxxiii.

Streckeisen, A., 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks.  
Neues Jb. Miner. Abh., 107, 144-240.

Sørensen H. 1974. The alkaline rocks. John Wiley & Sons, 622pp.

Turner, S., Regelous, M., Kellet, S., Hawkesworth, D., Mantovani, M.S.M.,  
1994. Magmatism and continental break – up in the South Atlantic. High precision  
Ar-Ar geochronology. Earth Planet. Sci. Lett. 121, 333-348.

Ulbrich, H.H.G.J., Gomes, C.B., 1981. Alkaline Rocks From Continental  
Brazil. Earth-Science Reviews, 17, p. 135-154.

Zalán, P.V., 1991. Influence of pre-Andean orogenies on the Paleozoic  
intracratonic basins of South America. In: Memorias. 4 Simposio Bolivariano,  
Bogotá. Tomo 1 (trabajo 7).