

MODO DE FORMAÇÃO E IDADES

C. B. Gomes, P. Comin-Chiaramonti e V. F. Velázquez

Resumo

Os carbonatitos cretácicos são em sua quase totalidade intrusivos e ocorrem comumente na forma de *stocks*, *plugs*, diques e veios. São tipicamente extrusivos em apenas duas de um total de 31 ocorrências conhecidas. Estão presentes no Brasil, Paraguai e Bolívia, sendo, no entanto, mais abundantes no primeiro país, especialmente nas regiões do Vale do Ribeira e do Alto Paranaíba. No geral, essas rochas e as alcalinas silicáticas associadas têm seu condicionamento tectônico ligado a importantes feições estruturais do embasamento. Idades radiométricas disponíveis para esse conjunto de rochas possibilitam caracterizá-las como do período cretácico, distinguindo-se, no entanto, duas épocas bem distintas de formação: Eocretáceo, com três episódios diferentes de manifestação magmática, e Neocretáceo.

2.1. Modo de Formação

A menção à existência de carbonatitos em território brasileiro tornou-se mais frequente desde os anos 1960, sendo, talvez, Melcher (1954) um dos primeiros autores a tratar o tema de forma mais incisiva. Muito embora a presença dessas rochas já tivesse sido noticiada em alguns relatórios internos de companhias de mineração ou de órgãos públicos (p. ex., sobre o Morro do Serrote, em Registro, onde o termo carbonatito foi empregado por Felicíssimo Jr., em 1948, para designar rochas carbonáticas associadas a alcalinas silicáticas), elas somente ganharam destaque na literatura geológica nacional a partir dos trabalhos de Melcher (1965, 1966) relacionados com o complexo de Jacupiranga, no Vale do Ribeira. O alcance internacional da segunda contribuição, um capítulo do livro *Carbonatites*, de Tuttle e Gittins (1966), de grande divulgação internacional na ocasião, despertaria maior interesse sobre o tema, até então mantido quase restrito às companhias de pesquisa de bens minerais. Nos anos que se seguiram, vários distritos carbonatíticos (Anitápolis, Araxá, Barra do Itapirapuã, Catalão I, Ipanema, Itapirapuã, Juquiá, Lages, Mato Preto etc.) vieram a ser pesquisados com maior ou menor profundidade e, no início dos anos de 1980, dois importantes artigos de revisão foram publicados sobre o tema geral, o de Berbert (1984) e o de Rodrigues e Lima (1984). O final da década traria um novo trabalho de revisão sobre as ocorrências carbonatíticas brasileiras, o de Gomes *et al.* (1990), enquanto, mais tarde, Comin-Chiaramonti *et al.* (2005c, 2007a) reexaminaram diferentes aspectos das rochas carbonatíticas do Sistema Paraná-Angola-Etendeka (PAN). Mais recentemente três novos artigos de revisão foram produzidos (Gomes *et al.*, 2018a; Speziale *et al.*, 2020, no prelo-202?), com os dois últimos focalizando o conjunto de ocorrências da porção meridional da Plataforma Brasileira. Além disso, diversos trabalhos recentes contribuíram para o melhor conhecimento do assunto, particularmente sobre as ocorrências do Vale do Ribeira (Guarino *et al.*, 2012; Azzone *et al.*, 2013; Beccaluva *et al.*, 2017; Chmyz *et al.*, 2017, 2019), do Alto Paranaíba (Morbideilli *et al.*, 1997; Ribeiro *et al.*, 2005, 2014; Cordeiro *et al.*, 2010, 2011a, 2011b; Brod *et al.*, 2013; Gomide *et al.*, 2013, 2016; Guarino *et al.*, 2017) e da região do Rio Apa-Amambay no Paraguai (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2014a).

Carbonatitos são encontrados como núcleos maciços de dimensões variáveis e, quando bem definidos, exibem contorno em planta tendendo a circular ou alongado. Ocorrem principalmente como pequenos *stocks* ou *plugs* isolados, ocupando em geral as porções centrais de complexos alcalinos plutônicos, os quais cobrem áreas de até algumas dezenas de quilômetros quadrados (p. ex., Serra Negra, 65 km²; Tapira, 34,5 km²). Contudo, são mais frequentes na forma de diques, individuais, múltiplos ou em sistemas complexos, representando por vezes mais de uma geração, além de serem encontrados penetrando as rochas alcalinas associadas ou as encaixantes regionais. Ocasionalmente, os diques se dispõem em padrões radiais, arranjos paralelos ou distribuição anelar e formam pequenos corpos de dimensões centimétricas a decimétricas ou, então, veios irregulares. O exemplo mais expressivo em termos de complexidade de formação é encontrado no distrito alcalino-carbonatito de Barra do Itapirapuã, por exemplo, no qual os diques e veios se apresentam como uma extensa rede (*stockwork*) que reúne rochas de composição variada e que caracterizam quatro fases distintas de geração (Ruberti *et al.*, 2002). Nos complexos alcalinos, os carbonatitos ocupam em geral volumes inferiores aos das rochas silicáticas associadas e, em grande número de casos, são claramente de formação posterior a essas rochas. Mais raramente, eles estão presentes no interior de brechas de chaminés (p. ex., Lages, Scheibe, 1986) ou, ainda, como lavas, sendo reconhecidas e descritas apenas duas ocorrências do gênero: Santo Antônio da Barra, em Goiás (Gaspar e Danni, 1981; Moraes, 1988), e Sapucaí, no Paraguai (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1992a). Essa diferença tão contrastante no modo de formação não surpreende, tendo-se em vista que levantamento estatístico realizado por Woolley (2003), complementado depois por Woolley e Kjarsgaard (2008), indicou que, de um total de 477 (inicialmente 377) carbonatitos catalogados por esses pesquisadores, a partir de informações da literatura mundial, apenas 46 (inicialmente 40) correspondiam efetivamente a manifestações extrusivas. Como observado por Comin-Chiaramonti *et al.* (2007a), os carbonatitos da América do Sul são raramente efusivos e as rochas extrusivas associadas pouco preservadas. A escassez de rochas vulcânicas é provavelmente consequência do intenso intemperismo responsável pela sua quase completa remoção. Hegarty *et al.* (1996) sugeriram que o soerguimento em escala quilométrica e a erosão na região da Bacia do Paraná, onde se encontra a totalidade dos corpos carbonatíticos, teve início há 80-90 Ma. Por outro lado, Morbidelli *et al.* (1995a) registraram que a eficiência do processo erosivo não parece resultar apenas da idade geológica, mas também da posição topográfica das rochas alcalinas em relação às bacias sedimentares adjacentes. Nesse sentido, apresentaram como argumento o fato de que zonas muito erodidas ligadas ao magmatismo alcalino-carbonatito, como as das regiões do Vale do Ribeira e Alto Paranaíba, estão situadas em altos estruturais. É difícil determinar a extensão real da erosão, ainda que Melcher (1966), em seu trabalho sobre os carbonatitos de Jacupiranga, tenha estimado a sua profundidade em mais de 1500 m. Com frequência na região do Alto Paranaíba o pediplano é caracterizado pela presença de extensas camadas de solo e laterito, com a drenagem levando comumente à formação de um manto intempérico de espessura superior a 200 m, originado da alteração de rochas ultramáficas cumuláticas e da dissolução de carbonatos dos carbonatitos. Como resultado, grandes depósitos supergênicos e residuais de apatita, pirocloro e vermiculita foram ali formados. A única ocorrência em que rochas frescas de carbonatito são comuns, além de expostas na superfície, é a de Jacupiranga, em especial no Morro da Mina, onde vêm sendo lavradas a céu aberto há muitos anos.

As intrusões alcalinas e alcalino-carbonatíticas estão frequentemente alojadas em formações pré-cambrianas nas quais se distinguem como encaixantes mica xistos e quartzitos pertencentes a grupos diversos (p. ex., Açungui, Mato Preto; Araxá, Araxá e Catalão I e II; Bambuí,

Salitre e Serra Negra; Canastra, Tapira) ao lado de variedades de natureza granítica-gnáissica (p. ex., Anitápolis, Jacupiranga, Juquiá etc., além de Barra do Itapirapuã e Itapirapuã, estas duas últimas tendo como encaixante a suíte granítica de Três Córregos). Porém, ocorrem também encaixadas em sedimentos diversos (arenitos, siltitos, folhelhos) da Bacia do Paraná relacionados a vários grupos (São Bento, Santo Antônio da Barra; Tubarão, Ipanema; Tubarão e Passa Dois, Lages) e formações (Furnas, Caiapó e Morro do Engenho). A destacar também que em vários locais essas intrusões foram responsáveis pelo soerguimento das encaixantes regionais, o que levou à formação de estruturas em domo de dimensões quilométricas (p. ex., 10 km em Salitre e Tapira; 20 km em Serra Negra) a partir dos centros geométricos dos complexos. Essas estruturas acham-se bem evidenciadas morfológicamente em Lages, bem como em ocorrências da região do Alto Paranaíba. Como também assinalado por Rodrigues e Lima (1984), as zonas periféricas de algumas dessas intrusões carbonatíticas, como em Araxá, são constituídas por rochas quartzíticas mais resistentes ao intemperismo, disso resultando a formação de corpos anelares que se destacam visivelmente na topografia. Mais raramente os carbonatitos estão em contato com as lavas basálticas toleíticas da Formação Serra Geral (p. ex., Lages, Cerro Chiriguelo). Particularmente neste último complexo, localizado na região paraguaia do Amambay, as evidências de campo indicam que as vulcânicas estão assentadas diretamente sobre as rochas alcalino-carbonatíticas (Haggerty e Mariano, 1983).

Quanto à textura os carbonatitos apresentam grande variação, que passa de equi a inequigranular, hipidiomórfica a alotriomórfica ou mesmo seriada. A granulação é igualmente variável, em geral mais fina (milimétrica) nos diques e veios, e mais grossa (centimétrica) nos corpos de maiores dimensões (*stocks* e *plugs*). Estruturas de fluxo, definidas pelo arranjo subparalelo de grãos alongados (p. ex., de apatita), e de brecha, com fragmentos de carbonatito e de rochas associadas, são feições relativamente comuns. A presença de xenólitos das encaixantes com evidentes sinais de reação com os carbonatitos foi também noticiada em algumas intrusões (p. ex., Jacupiranga). Por vezes, os carbonatitos exibem textura bandada típica em decorrência da concentração de apatita, flogopita, olivina ou magnetita, como enfatizado por Melcher (1966) nos carbonatitos de Jacupiranga ricos em magnetita. Ocasionalmente, carbonatitos puros, que consistem na sua quase totalidade em carbonatos, apresentam variações para rochas contendo principalmente apatita e opacos. Em geral, os carbonatitos cálcicos e magnesianos exibem coloração mais clara, branca a cinza, enquanto os mais ricos em ferro se inclinam para tonalidades em marrom ou avermelhada.

Os carbonatitos têm a tendência geral de exibir composição predominantemente calcítica (*sørvítica-alvikítica*) e mesmo naqueles corpos de natureza mais dolomítica (*beforsítica*), como os de Araxá, calcita é um mineral importante (Traversa *et al.*, 2001). Composição mais rica em ferro, com ankerita e siderita como principais constituintes, é também característica de alguns complexos, como os de Araxá (Traversa *et al.*, 2001) e de Lages (Traversa *et al.*, 1994). Contudo, é importante assinalar que em muitos distritos carbonatíticos (p. ex., Barra do Itapirapuã, Catalão II, Cerro Chiriguelo, Juquiá etc.) teve lugar a formação de diferentes fases de carbonatitos intrusivos durante o processo de evolução magmática e pós-magmática dos complexos e, como resultado, variações composicionais são relativamente comuns para os carbonatos desses vários estágios. Tais variações levaram alguns autores (Machado Jr., 1991, e Barbosa, 2009, em seus trabalhos, respectivamente, sobre Catalão II e Salitre) a empregar termo mais geral, como *série carbonatítica*, para definir rochas afins, cujo modo de ocorrência e caracteres mineralógicos, petrográficos e químicos se mostram substancialmente distintos daqueles comuns às litologias silicáticas mais importantes associadas. Maiores informações sobre a mineralogia dos carbonatitos estão reunidas no capítulo 7.

Reações metassomáticas foram descritas em grande número de complexos carbonatíticos, especialmente nos portadores de rochas ultrabásicas, nas quais evidências químicas, mineralógicas e texturais sugerem a sua interação com os carbonatitos coexistentes. O exemplo mais convincente desse processo é encontrado em Jacupiranga, além de ser visível em rochas frescas aflorando na área do Morro da Mina, que há muito vem sendo objeto de lavra. Ali, na zona de contato dos clinopiroxenitos (jacupiranguitos) com os carbonatitos, foram originadas camadas concêntricas, de dimensões centimétricas a decimétricas, com alternância de bandas plasticamente deformadas de rochas silicáticas e carbonatíticas (Morbidelli *et al.*, 1986). Esses autores propuseram que o protolito jacupiranguítico foi submetido a intensa anfibolitização e flogopitização, como resultado de reações com fluidos ricos em CO₂ emanados dos carbonatitos. Processos similares de flogopitização envolvendo a intrusão de magmas carbonatíticos em rochas clinopiroxeníticas parecem ter ocorrido também em outros complexos carbonatíticos, como os de Anitápolis, Araxá, Catalão I, Ipanema etc. (Gomes *et al.*, 1990). Auréolas de rochas fenitizadas são igualmente reconhecidas ao redor de algumas intrusões carbonatíticas, com a intensidade do processo variando de lugar para lugar e segundo a natureza da rocha encaixante. Em geral, atingem algumas centenas de metros a partir do contato com o maciço alcalino, ainda que na literatura sejam mencionados valores até quilométricos para a extensão dessas auréolas (2 km em Catalão I e Tapira; 2,5 km em Araxá, cf. Rodrigues e Lima, 1984). Porém, na maioria dessas ocorrências, as rochas feníticas resultantes da interação não se constituem em unidades mapeáveis, ainda que sejam prontamente identificáveis internamente ou ao redor dos complexos por meio de evidências químicas, estas de natureza sódica e/ou potássica, texturais e notadamente mineralógicas, em especial a presença de clinopiroxênios e anfibólios sódicos.

Os carbonatitos cretácicos e as rochas alcalinas silicáticas associadas, totalizando 31 ocorrências (24 no Brasil; 6 no Paraguai; 1 na Bolívia), estão condicionados a importantes feições estruturais do embasamento (lineamentos, falhamentos), como bem exemplificado, em território brasileiro, pelo Arco de Ponta Grossa e pela estrutura soerguida do Alto Paranaíba e, em território paraguaio, pelo Arco de Ponta Porã e pelo Rifte de Assunção. São bem exemplificados, adicionalmente, por um sistema de falhas antigas no estado de Santa Catarina e na porção nordeste do território boliviano. São também referidos pequenos diques alojados muito possivelmente em zonas de falhas antigas penetrando o embasamento ou as próprias rochas alcalinas associadas.

A tabela 2.1, modificada de Gomes e Comin-Chiaramonti (2017), sintetiza as principais características mineralógicas e petrográficas dessas ocorrências.

2.2. Distribuição Geral

2.2.1. Distritos Brasileiros

As rochas carbonatíticas estão concentradas em duas regiões distintas do território brasileiro: Sul-Sudeste e Centro-Oeste, como mostrado na figura 2.1.

Na parte mais meridional do Brasil, estão presentes as ocorrências carbonatíticas recém-descritas no Rio Grande do Sul por Toniolo *et al.* (2013) e Monteiro *et al.* (2016). Do total de cinco intrusões (Joca Tavares, Passo Feio, Picada dos Tocos, Porteira e Três Estradas), apenas as duas que ocorrem nas vizinhanças da cidade de Bagé – Joca Tavares e Porteira – aparentam ser de idade cretácica, enquanto as demais são do Proterozoico. Elas situam-se próximas à zona de intersecção de falhas regionais NE-SW (Senhorinho *et al.*, 2012). Segundo Costa *et al.* (1995), esse magmatismo carbonatítico tem como principal elemento estrutural controlador

o lineamento Ibaré. Além disso, são conhecidos desde longa data os complexos de Anitápolis e Lages, ambos em Santa Catarina (Scheibe *et al.*, 2005). O condicionamento tectônico de Anitápolis ainda permanece controverso, sendo, contudo, mais aceita a hipótese de um controle por falhas antigas (Melcher e Coutinho, 1966; Carraro *et al.*, 1967), tendo Comin-Chiaramonti *et al.* (2005c) procurado associá-lo ao lado mais oriental do lineamento Uruguai. Já o complexo de Lages estaria localizado no prolongamento de um sistema de falhas tardibrasilianas (IPT, 1980), o que levaria a pensar, como já sugerido por Almeida (1983), em seu controle estrutural por meio da reativação dessas falhas.

Na porção sudeste, os distritos carbonatíticos estão em sua quase totalidade distribuídos pelo Vale do Ribeira e condicionados tectonicamente ao Arco de Ponta Grossa, importante feição

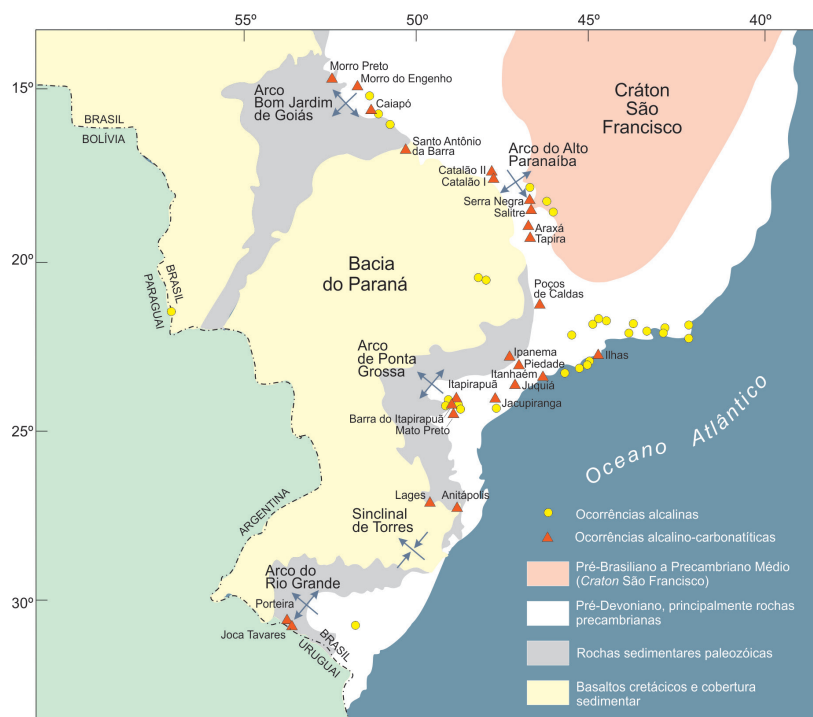


Figura 2.1. Mapa de localização dos distritos alcalinos brasileiros com rochas carbonatíticas (Ulbrich e Gomes, 1981, modificado).

estrutural de orientação geral NW-SE, ativa desde o Paleozoico, que se estende por centenas de quilômetros. O arco foi descrito por Almeida (1983) como sendo formado, do norte para o sul, de quatro lineamentos magnéticos bem definidos: Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonzo e Rio Piqueri (Figura 2.2). Os complexos mais conhecidos de Jacupiranga e Juquiá estão relacionados com o lineamento Guapiara; já as demais intrusões (Barra do Itapirapuã, Itapirapuã, Mato Preto) com o de São Jerônimo-Curiúva (Ruberti *et al.*, 2005; Gomes *et al.*, 2011a). A ocorrência de Ipanema, pesquisada em detalhe por Guarino *et al.* (2012), mostra condicionamento com o lineamento de Piedade, paralelo e situado mais a norte do anterior, o mesmo acontecendo com a intrusão de Piedade, ainda pouco estudada (ver capítulo 4 deste volume). Na extremidade sul desse lineamento, junto à região litorânea, Coutinho e Ens (1992) mapearam um pequeno dique de beforsito nas ilha das Cabras (ou Givura), em Itanhaém. Por outro lado, Coutinho (2008) fez também menção à existência de um pequeno dique com composição variável de silicocarbonatito a beforsito que aflora no litoral norte de São Paulo entre as cidades de Bertioga e São Sebastião, nas proximidades da praia do Sahy. Diques de lamprófito contendo material carbonático foram igualmente descritos por Vlach *et al.* (1996) e Ulbrich *et al.* (2002) na localidade de Minas Pedras,

Tabela 2.1. Informações gerais sobre os distritos alcalinos com rochas carbonatíticas do Brasil, Paraguai e Bolívia.

Localidade	Ocorrência	Petrografia	Mineralogia	Idade	Referências	
BRASIL						
Região do Vale do Ribeira						
1	Barra do Itapirapuã	Dique, veio, brecha	Mg-ca, Fe-ca, Si-ca, Ca-ca Fe, S, L	Do, Ank, Cc, Flo, Pr, Qz, Ap, Bas, Pa, Syn, Ba, Ga, Esf	Eocretáceo	1, 2-20, 150, 151, 170
2	Ipanema	Dique, veio	Ca-ca, Gl, Sh, Di, S, Fe, Te	Cc, Flo, Op, Ap, Pi, Anf, Ba, Sf	Eocretáceo	2-6, 13, 14, 16, 19-30, 153
3	Itanhaém (Ilha das Cabras ou Givura)	Dique	Mg-ca	Do, Ap, Flo, Pv, Gr, máficos alterados	Eocretáceo	2, 4-6, 19-21, 24, 27, 31
4	Itapirapuã	Dique, veio, brecha	Ca-ca NS, I-Mel, Ti	Cc, Ap, FA, Ne, Mt, Pt	Eocretáceo	2, 4-6, 13, 14, 19-21, 24, 27, 32-34
5	Jacupiranga	Plug, dique	Ca-ca, Mg-ca, Du, Pi (Ja), I-Mel, Tr, E, Mz, Fe, Sd, S, A, BA	Cc, Do, Flo, Ol, Mt, Ap, Pr, Il, Pv, Pir, Ga, Cl, Ne, Anf	Eocretáceo	2-6, 13-16, 19-21, 24, 27, 35-58, 166-168, 174, 175, 181, 187
6	Juquiá (Serrote)	Plug, dique	Mg-ca, Ca-ca, Pi, GA, I-Mel, NS, S, Sd, Ba, Te, Fo, Fe	Do, Ank, Cc, Flo, Mt, Ba, Ap, Mo, Anc, No	Eocretáceo	2-6, 12-16, 19-21, 24, 27, 52, 57, 59-63, 158, 169
7	Mato Preto	Plug, brecha	Ca-ca, Fe-ca, NS, Ti, Fo, Ga, I-Mel, L, Ta	Cc, Ank, Mt, Ap, Pr, Ba, Fl, Qz, FA, Flca	Neocretáceo	1, 2, 4-6, 8, 12-17, 19, 21, 24, 27, 64, 65, 150, 151, 172, 173, 184
8	Piedade (Aps)	Dique, veio	Ca, MMs	Cc, Do, Si, Flo, Mt, Ap, Ba, FA, Pir, Bi, Anf, Ne, En, Bas, Hm, Go, Clo, Ze	Eocretáceo	21, 185, 186
Região Litorânea de São Paulo						
9	Ilhas	Dique	Mg-ca, Si-ca	Cc, Do, Flo, Ap, filossilicatos	n.d.	148
Região do Lineamento Magmático de Cabo Frio						
10	Poços de Caldas	Dique, brecha	Si-ca, ocelli em lamprófito, NS, Ti, Fo, L, La, Lp	Cc, Pr, Flo	Neocretáceo	83-87, 155, 156, 160, 163
Região de Santa Catarina						
11	Anitápolis	Plug, dique, veio	Ca-ca, Mg-ca, Pi, Biot, I-Mel, NS, Fos, Fe, Apt, Ne, L, Fo	Cc, Do, Ap, Mt, Ol, Flo, Pr, Bd, Qz, Al, Anc, Bas, Sf	Eocretáceo	2-6, 12-16, 19, 21, 24, 27, 66-74, 154, 162
12	Lages	Plug, dique, veio, brecha	Fe-ca, Ca-ca, NS, Fo, Ba, Ne, Meli, Te, Ft, Ki	Ank, Cc, Ap, Flo, Qz, FA, Pr, Pir, Syn, Bas	Neocretáceo	2-6, 12-16, 19-21, 24, 27, 57, 73-82, 152, 154
Região do Rio Grande do Sul						
13	Joca Tavares	Plug?	Ca	Do (Cc), Ap, Op (Hm, Il), Clo	n.d.	182, 183
14	Porteira	Dique	Ca	Do, Ap, Flo, Op (Hm, Il), Clo	n.d.	182, 183
Região do Alto Paranaíba						
15	Araxá (Barreiro)	Stock, dique	Mg-ca, Ca-ca, Fe-ca, Gl, Pi, Fos, Sil	Do, Cc, Ank, Est, Si, Mg, Bu, Mt Ap, Flo, FA, Anc, Pr, Mo, Sf	Neocretáceo	2-6, 14-16, 20, 21, 24, 27, 53, 88-93, 157, 159
16	Catalão I	Dique	Mg-ca, Ca-ca, Si-ca, Flo, Du, Be, Fos, NS, Nel, Sil	Do, Cc, Mg, Ap, Flo, Mt, Ba, Ti, Mo, Zr, Pr, Sf, Fl, No	Neocretáceo	2-6, 14-16, 21, 24, 27, 53, 57, 58, 74, 90, 92-105, 176, 177
17	Catalão II	Stock	Ca-ca, Mg-ca Pi, Gl, Fos, Apt, Mgt, Fe, S, L, Sil	Cc, Flo, Ver, FA, Mt, Pr, Ba, Pir, ETR min	Neocretáceo	2-6, 14, 16, 27, 53, 57, 74, 90, 92, 93, 93, 106

18	Salitre	<i>Stock</i> , dique, veio	Ca-ca, Mg-ca Be, Pi, Du, Fos, NS, S, Ti, T	Cc, Do, Ap, Mt, Flo, Ol, Pr, Zr, Ba, Sf	Neocretáceo	2-6, 14, 16, 21, 24, 27, 57, 74, 90, 92, 107-114
19	Tapira	<i>Stock</i> , dique, veio	Ca-ca, Mg-ca, Be, Du, Pe, Pi, Fos, S, T, Melil, Ka	Cc, Do, Ap, Flo, Mt, Pr, Il, Pv, Ti, Pir	Neocretáceo	2-6, 14-16, 20, 11, 24, 27, 53, 57, 58, 74, 90, 92, 115-118, 179
20	Serra Negra	<i>Plug</i>	Ca-ca, Du, Be, Sh, Pi (Ja), Ti, T, Fe	Cc, Mt, Ap, Pr, Pv, Bd	Neocretáceo	2-6, 14, 16, 21, 24, 27, 90, 92, 107, 113, 178
Região de Goiás						
21	Caiaopó	<i>Plug</i> , brecha	Mg-ca, Ca-ca, Fe-ca, I, L, Fe	Do, Cc, Ank, Si, Ap, Mt, Pr, FA, Qz, ETR min	n.d.	4-6, 14, 27
22	Morro do Engenho	Veio	Ca, Pi, Pe, GA, NS	Cc, Flo	n.d.	2, 4-6, 16, 24, 27, 120
23	Santo Antônio da Barra (Rio Verde)	Lava, brecha, <i>plug</i>	Si-ca, Ca-ca, Ana (?), Ka, Fo, T, Fou, Mo, Br	Agregado de Cc em matriz vítrea	Neocretáceo	4-6, 14, 21, 27, 118, 120-127, 161, 180
24	Morro Preto	<i>Stock</i> , dique	Mg-ca, Fe-ca, Si-ca, Ka, Fe, L, Si, BA, Sil	Do, Ank, Si, Ap, Flo, Mt, Ba, Bd, Pr, Mo, Qz e/ou Cal, Hm, Go	n.d.	188, 189
PARAGUAI						
Região do Rio Apa						
25	Valle-mí	Dique	<i>Ocelli</i> em basanita	Cc	Eocretáceo	14, 15, 20, 52, 128-135
Região de Amambay						
26	Cerro Chirigué (Cerro Corá)	Dique	Ca-ca, Fe-ca Fe, NS, T, Br	Cc, Ap, Ba, Qz, Flo, FA, Mt, Pi, Zr, Ura, Syn, Hm, Pir, Go	Eocretáceo	2, 5, 12, 14, 15, 20, 114, 128, 130, 132-142, 171
27	Cerro Sarambí	Dique	Ca-ca, Si-ca Pi, NS, Fe, Fo, T, L	Cc, Qz, Fl, Ver, Op	Eocretáceo	2, 5, 12, 14, 15, 20, 114, 128, 130, 132-142
Região Central						
28	Cerro Cañada	<i>Stock</i>	<i>Ocelli</i> em ijolito GA, NS, I	Pi, Ol, Bi, Cc	Eocretáceo	20, 132, 133
29	Cerro E Santa Elena	<i>Stock</i>	<i>Ocelli</i> em ijolito Ga, I, Te, Ba, BA, Tf	Pi, Ol, Mt, Anf, Bi, Cc	Eocretáceo	20, 133
30	Sapucaí	Lava	Mg-ca	Do, FA, Mt, Bi, Ap	Eocretáceo	20, 52, 132-134, 143, 164, 165
BOLÍVIA						
Região de Velasco						
31	Cerro Manomó	Dique	Si-ca NS, S, Gr, Tf, T	Si, Ank, Cc, Go, Li, Qz, Ap, Bas, Syn	Eocretáceo	2, 5, 144-148

Fontes de dados: 1, Lapido-Loureiro e Tavares (1983); 2, Almeida (1983); 3, Berbert (1984); 4, Rodrigues e Lima (1984); 5, Woolley (1987); 6, Gomes *et al.* (1990); 7, Ruberti *et al.* (1997b); 8, Speziale *et al.* (1997); 9, Andrade *et al.* (1999a); 10, Andrade *et al.* (1999b); 11, Ruberti *et al.* (2002); 12, Comin-Chiaramonti *et al.* (2003); 13, Ruberti *et al.* (2005); 14, Comin-Chiaramonti *et al.* (2005c); 15, Comin-Chiaramonti *et al.* (2005d); 16, Biondi (2005); 17, Ruberti (1998); 18, Ruberti *et al.* (2008); 19, Gomes *et al.* (2011a); 20, Comin-Chiaramonti *et al.* (2007a); 21, Sonoki e Garda (1988); 22, Leinz (1940); 23, Davino (1975); 24, Ulbrich e Gomes (1981); 25, Aps e Born (1975); 26, Born (1989); 27, Morbidelli *et al.* (1995a); 28, Toledo e Souza (1991); 29, Guarino *et al.* (2012); 30, Rugenski *et al.* (2006); 31, Coutinho e Ens (1992); 32, Gomes e Cordani (1965); 33, Gomes e Dutra (1969); 34, Gomes (1970); 35, Melcher (1965); 36, Melcher (1966); 37, Amaral (1978); 38, Gaspar e Wyllie (1983a); 39, Gaspar e Wyllie (1983b); 40, Gaspar e Wyllie (1982); 41, Gaspar e Wyllie (1987); 42, Gaspar (1992); 43, Gaspar (1989); 44, Roden *et al.* (1985); 45, Germann *et al.* (1987); 46, Ruberti *et al.* (1988); 47, Ruberti *et al.* (1991); 48, Hirano *et al.* (1987a); 49, Morikyo *et al.* (1987); 50, Menezes Jr. e Martins (1984); 51, Morbidelli *et al.* (1986); 52, Castorina *et al.* (1996); 53, Santos e Clayton (1995); 54, Alessandrini (1990); 55, Huang *et al.* (1995); 56, Araújo e Gaspar (1993); 57, Gomes *et al.* (1996b); 58, Brod *et al.* (2001); 59, Born (1971); 60, Beccaluva *et al.* (1992); 61, Walter *et al.* (1995); 62, Slavec *et al.* (2001); 63, Mantovani *et al.* (2005); 64, Santos *et al.* (1996); 65, Comin-Chiaramonti *et al.* (2001); 66, Rodrigues (1985); 67, Furtado *et al.* (1986); 68, Furtado e Scheibe (1987); 69, Furtado (1989); 70, Melcher e Coutinho (1966); 71, Rodrigues *et al.* (1986); 72, Rodrigues *et al.* (1988); 73, Scheibe *et al.* (2005); 74, Fontana (2006); 75, Scheibe (1978); 76, Scheibe (1979); 77, Scheibe *et al.* (1984); 78, Scheibe (1986); 79, Scheibe e Formoso (1982); 80, Scheibe *et al.* (1988a, 1988b); 81, Traversa *et al.* (1994); 82, Traversa *et al.* (1996); 83, Schorscher e Shea (1992); 84, Vlach *et al.* (1996); 85, Ulbrich *et al.* (2002); 86, Vlach *et al.* (2003); 87, Ulbrich *et al.* (2005); 88, Issa Filho *et al.* (1984); 89, Kamitani e Hirano (1987); 90, Eby e Mariano (1992); 91, Traversa *et al.* (2001); 92, Barbosa *et al.* (1970); 93, Gomes e Comin-Chiaramonti (2005); 94, Carvalho (1974); 95, Carvalho e Bressan (1981); 96, Baecker (1983); 97, Hirano *et al.* (1987b); 98, Araújo (1996); 99, Ribeiro (2008); 100,

Cordeiro (2009); 101, Cordeiro *et al.* (2010); 102, Gierth e Baecker (1986); 103, Ribeiro *et al.* (2005); 104, Danni *et al.* (1991); 105, Valarelli (1971); 106, Melo (1999); 107, Mariano e Marchetto (1991); 108, Morbidelli *et al.* (1995b); 109, Morbidelli *et al.* (1997); 110, Barbosa (2009); 111, Barbosa *et al.* (2012a); 112, Barbosa *et al.* (2012b); 113, Souza Filho (1974); 114, Haggerty e Mariano (1983); 115, Brod (1999); 116, Brod *et al.* (2000); 117, Brod *et al.* (2003); 118, Brod *et al.* (2005); 119, Pena e Figueiredo (1975); 120, Pena (1974); 121, Danni *et al.* (1990); 122, Gaspar e Danni (1981); 123, Moraes (1984); 124, Moraes (1988); 125, Hasui *et al.* (1971); 126, Gaspar (1977); 127, Junqueira-Brod *et al.* (2002); 128, Livieres e Quade (1987); 129, Gibson *et al.* (1995a); 130, Gomes *et al.* (1996a); 131, Gibson *et al.* (1997); 132, Castorina *et al.* (1997); 133, Comin-Chiaramonti *et al.* (2007b); 134, Gomes *et al.* (2013); 135, Comin-Chiaramonti *et al.* (2014a); 136, Comte e Hasui (1971); 137, Berbert e Triguís (1973); 138, Palmieri *et al.* (1974); 139, Censi *et al.* (1989); 140, Comin-Chiaramonti *et al.* (1999); 141, Gibson *et al.* (2006); 142, Comin-Chiaramonti *et al.* (2007c); 143, Gomes *et al.* (2011b); 144, Darbyshire e Fletcher (1979); 145, Fletcher *et al.* (1981); 146, Fletcher e Litherland (1981); 147, Comin-Chiaramonti *et al.* (2005b); 148, Comin-Chiaramonti *et al.* (2011); 149, Coutinho (2008); 150, Ruberti *et al.* (1997a); 151, Gomes *et al.* (2001); 152, Barabino *et al.* (2007); 153, Born (1975); 154, Comin-Chiaramonti *et al.* (2002); 155, Ellert (1959); 156, Ellert *et al.* (1959); 157, Grossi-Sad e Torres (1978); 158, Macciotta *et al.* (1988); 159, Paraíso e Fuccio Jr. (1986); 160, Ulbrich e Ulbrich (2000); 161, Sgarbi e Gaspar (2002); 162, Vergara (1980); 163, Alves (2003); 164, Comin-Chiaramonti *et al.* (1992); 165, Comin-Chiaramonti *et al.* (1990); 166, Beccaluva *et al.* (2017); 167, Chmyz *et al.* (2015); 168, Wu *et al.* (2010); 169, Azzone *et al.* (2013); 170, Andrade (1998); 171, Antonini *et al.* (2005); 172, Santos (1988); 173, Jenkins II (1987); 174, Salvioli-Mariani *et al.* (2012); 175, Azzone *et al.* (2012); 176, Cordeiro *et al.* (2011a, 2011b); 177, Mantovani *et al.* (2016); 178, Grasso (2010); 179, Guimarães *et al.* (1980); 180, Sgarbi (1998); 181, Chmyz *et al.* (2017); 182, Toniolo *et al.* (2013); 183, Monteiro *et al.* (2016); 184, Santos *et al.* (1990); 185, Knecht (1960); 186, Amaral *et al.* (1967); 187, Chmyz *et al.* (2019); 188, Navarro *et al.* (2014); 189, Nascimento (2018); n.d., não determinada.

Abreviações de rochas: A, ankaratrito; Ana, analcimito; Apt, apatitito; Ba, basanita; BA, basalto alcalino; Be, bebedourito; Biot, biotitito; Ca, carbonatito; Ca-ca, calciocarbonatito; Di, diorito; Du, dunito; E, essexito; Fe, fenito; Fe-ca, ferrocronatito; Flo, flogopitito; Fo, fonolito; Fou, fourchito; Fos, foscrito; Ft, fonotefrito; Ga, gabro; GA, gabro alcalino; Gl, glimmerito; I, ijolito; Ja, jacupiranguito; Ka, kamafugito; Ki, kimberlito; L, lamprófito; Lp, lamproito; Mel, melteigito; Meli, melilitito; Melil, melilitolito; Mg-ca, magnesiocarbonatito; Mgt, magnetitito; MMs, melassienito; MMzd, melamonzodiorito; Mo, monchiquito; Mz, monzonito; Ne, nefelinito; Nel, nelsonito; NS, nefelina sienito; Pc, picrito; Pe, peridotito; Pi, piroxenito; S, sienito; Sd, sienodiorito; Sh, shonkinito; Si-ca, silicocarbonatito; Sil, sillexito; T, traquito; Ta, traquiandesito; Te, tefrito; Tf, traquifonolito; Ti, tinguaito; Tr, teralito; Ur, urtito; We, wehlrito.

Abreviações de minerais: Al, alstonita; An, anclita; Ana, anatósio; Anf, anfíbolio; Ank, ankerita; Ap, apatita; Ba, barita; Bas, bastnäsita; Bd, baddeleyita; Bi, biotita; Bu, burbankita; Cal, calcedônia; Caz, calzirtita; Cc, calcita; Cl, clinohumita; Clo, clorita; Do, dolomita; En, enigmatita; Esf, esfalerita; Est, estroncianita; F, feldspato; FA, feldspato alcalino; Fl, fluorita; Flca, fluorocarbonatos; Flo, flogopita; Ga, galena; Go, goethita; Gr, granada; Hb, hornblenda; Hm, hematita; Il, ilmenita; Mg, magnesita; Mt, magnetita; Mo, monazita; Mont, montmorilonita; Ne, nefelina; No, norsethita; Ol, olivina; Op, opacos; Pa, parisita; Pi, clinopiroxênio; Pir, pirita; Pr, pirocloro; Pt, pirrotita; Pv, perovskita; Qz, quartzo; Sf, sulfeto; Si, siderita; Sy, synchisita; Ti, titanita; To, torita; Ura, uranopirocloro; Ze, zeólitas.

no interior do maciço alcalino de Poços de Caldas. Na parte centro-oeste, a associação tectônica se dá com a estrutura soerguida do Alto Paranaíba, outra feição de extensão quilométrica e orientação geral NW-SE, abrangendo principalmente o estado de Minas Gerais e que avança no sentido de Goiás. Bem evidenciada em carta Bouguer gravimétrica (Haralyi, 1978), essa estrutura teve seu desenvolvimento do Neojurássico ao Cretáceo, com a região sendo palco de diversas manifestações carbonatíticas como Salitre (Salitre I, II e III) e Serra Negra, além dos complexos de grande importância econômica de Araxá, Catalão (Catalão I e II) e Tapira. Na porção mais ocidental do estado de Goiás distinguem-se os corpos carbonatíticos de Caiapó, Morro do Engenho e Santo Antônio da Barra, que integrariam a antiga província Rio Verde-Iporá de Almeida (1983), os quais, segundo Pena (1974), guardam associação com o Arco de Bom Jardim de Goiás. Para Sgarbi e Gaspar (2002) e Riccomini *et al.* (2005), esses distritos carbonatíticos estariam agrupados dentro da Província Alcalina Minas-Goiás, tendo sido controlados por uma estrutura tectônica referida como lineamento Alto Paranaíba, de direção geral NW-SE, e com centenas de quilômetros de extensão. A literatura sobre esse conjunto de ocorrências, que inclui uma grande diversidade de tipos litológicos (carbonatitos, kimberlitos, kamafugitos etc.), é demasiado extensa, envolvendo não apenas trabalhos publicados em periódicos, como também vários manuscritos apresentados como dissertações de mestrado ou teses de doutorado, especialmente junto à Universidade de Brasília. De grande importância pela sua abrangência e natureza revisional, é, inquestionavelmente, o texto de Brod *et al.* (2005), que focaliza mais detidamente as ocorrências da região de Goiás. Esses autores baseados em dados isotópicos propuseram o enquadramento das rochas da Província Minas-Goiás em duas, Alto Paranaíba e Goiás, para designar, respectivamente, as ocorrências aflorando nos estados de Minas Gerais e Goiás.

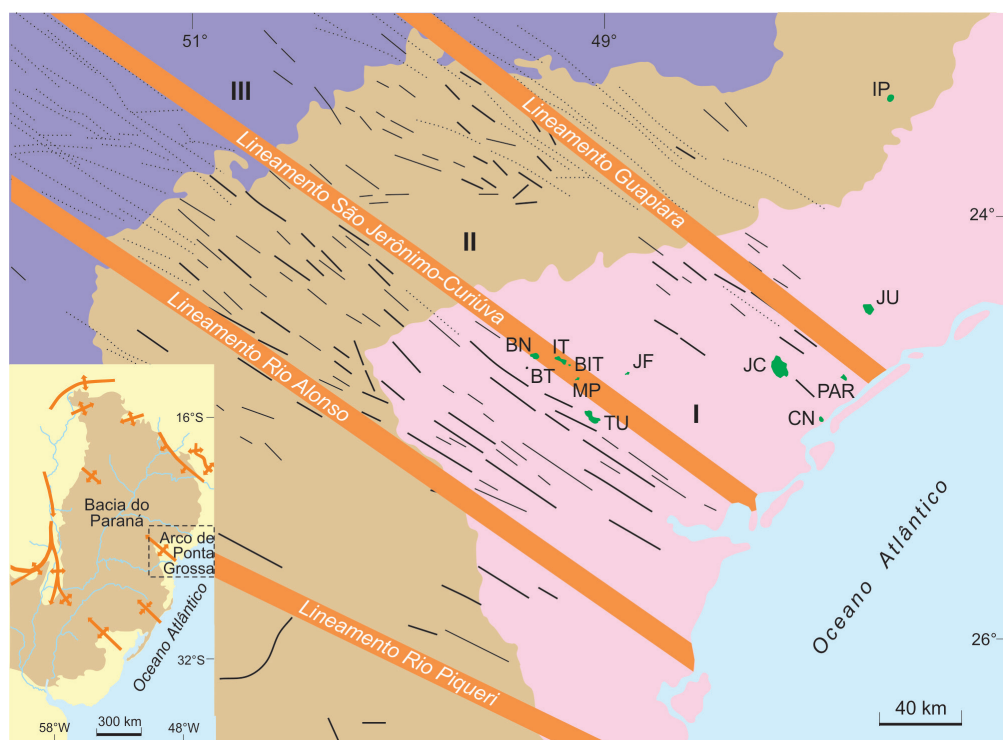


Figura 2.2. Esquema tectônico dos distritos alcalinos cretácicos associados ao Arco de Ponta Grossa, no Vale do Ribeira (Almeida, 1986). Enxames de diques toleíticos de orientação NW-SE, inferidos por geologia de superfície e mapeamento por controle remoto, são indicados, juntamente com os vários corpos alcalinos. Abreviações para ocorrências **com** carbonatitos: BIT, Barra do Itapirapuã; IP, Ipanema; IT, Itapirapuã; JC, Jacupiranga; JU, Juquiá; MP, Mato Preto; **sem** carbonatitos: BN, Banhadão; BT, Barra do Teixeira; CN, Cananeia; JF, José Fernandes; PAR, Pariquera-Açu; TU, Tunas. Outras abreviações: I, Embasamento; II, Bacia do Paraná; III, Derrames basálticos. Inserção: principais feições tectônicas da região Sudeste do Brasil (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1997, simplificada).

Menos conhecidas são as ocorrências alcalinas do sudeste de Goiás de Morro Preto e Serra da Água Branca, sendo a primeira portadora de rochas carbonatíticas e estudada recentemente por Navarro *et al.* (2014) e Nascimento (2018).

2.2.2. Distritos Paraguaiois

Essas ocorrências localizam-se em duas áreas mais ao norte do país, Rio Apa e Amambay (respectivamente, Figuras 2.3B e 2.3C), e na sua porção centro-oriental em estreita associação com o Rife de Assunção (Figura 2.3E).

A ocorrência do Rio Apa possui menor expressão e está representada por pequenos diques de basanita com material carbonático que penetra falhas orientadas segundo NE-SW, aparentemente influenciadas pelo Arco do Rio Apa. Ocorrem nas imediações de Valle-mí e San Lázaro, junto à confluência dos rios Apa e Paraguai, tendo sido citados nos trabalhos de Castorina *et al.* (1997) e Comin-Chiaramonti *et al.* (2014a, 2015). Na região de Amambay, destacam-se os complexos carbonatíticos de Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí, duas grandes estruturas circulares controladas tectonicamente pelo Arco de Ponta Porã, de direção NE-SW (Livieres e Quade, 1987), que corta diagonalmente a região nordeste do território paraguaio. Informações sobre a geologia da região constam dos trabalhos de Gomes *et al.* (1996a, 1996b, 2011b, 2013) e Comin-Chiaramonti *et al.* (1999), enquanto dados mais especificamente sobre os carbonatitos são encontrados em Censi *et al.* (1989) e Comin-Chiaramonti *et al.* (2014a).

Na zona do Rife de Assunção foi descrita a ocorrência de um pequeno derrame beforsí-

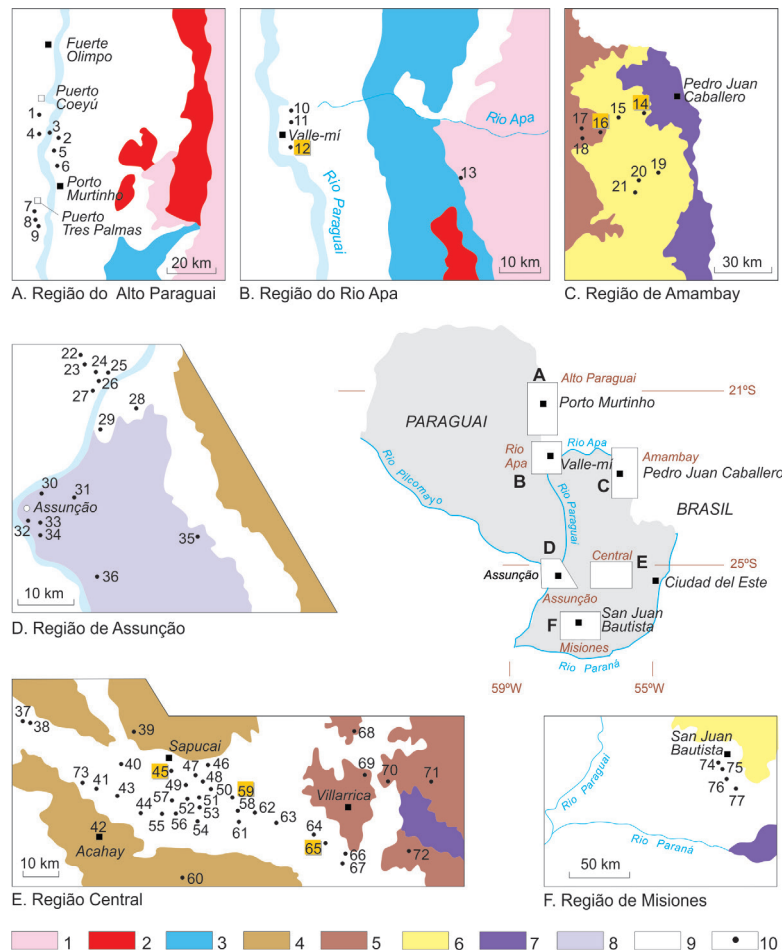


Figura 2.3. Mapa de localização dos distritos alcalinos e alcalino-carbonatitos de diferentes regiões do Paraguai (Velázquez *et al.*, 1996, modificado). Legendas: 1, Pré-Cambriano Inferior, Complexo Rio Apa; 2, Pré-Cambriano Superior, Suíte Intrusiva Alumiador; 3, Sedimentos Cambrianos, Grupo Itapucumí; 4, Sedimentos Silurianos, Grupo Caacupé; 5, Sedimentos Carboníferos, Grupo Cerro Corá; 6, Sedimentos Triássicos, Formação Misiones; 7, Magmatismo Toleítico Juro-Cretáceo, Formação Alto Paraná (Formação Serra Geral); 8, Sedimentos Terciários, Formação Patiño; 9, Sedimentos Quaternários; 10, Corpos Alcalinos. Ocorrências alcalino-carbonatíticas e sua localização: 12, Valle-mí (B); 14, Cerro Chiriguelo e 16, Cerro Sarambí (C); 45, Sapucaí, 59, Cerro Cañada e 65, Cerro E Santa Elena (E). Para a identificação das demais ocorrências de rochas alcalinas, ver Velázquez *et al.* (1996).

tico aflorando na área do complexo vulcânico de Sapucaí (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1992a), um dos mais expressivos distritos alcalinos daquele país, bem como de material carbonático na forma de *ocelli* presentes em rochas ijolíticas das intrusões alcalinas de Cerro Cañada, situada a sudeste da vila de Sapucaí, e de Cerro E Santa Elena, a sudoeste da cidade de Villarrica (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2005c, 2007a).

2.2.3. Distrito Boliviano

Cerro Manomó (Figura 2.4) é a única ocorrência carbonatítica investigada em território boliviano. É parte integrante do complexo alcalino de Velasco, que cobre extensa área, e composto de várias intrusões semicirculares de rochas sieníticas a graníticas, alinhadas para NE. O corpo carbonatítico, ocupando a extremidade oriental dessa faixa, apresenta-se inteiramente silicificado e tem a forma de uma mesa que se destaca na topografia em meio ao peneplano laterítico do embasamento pré-cambriano. Informações geológicas sobre o complexo são encontradas nos trabalhos pioneiros de Fletcher e Litherland (1981), Fletcher *et al.* (1981), Litherland *et al.* (1986), Fletcher e Beddoe-Stephens (1987) e, ainda, em Comin-Chiaramonti *et al.* (2005b, 2011).

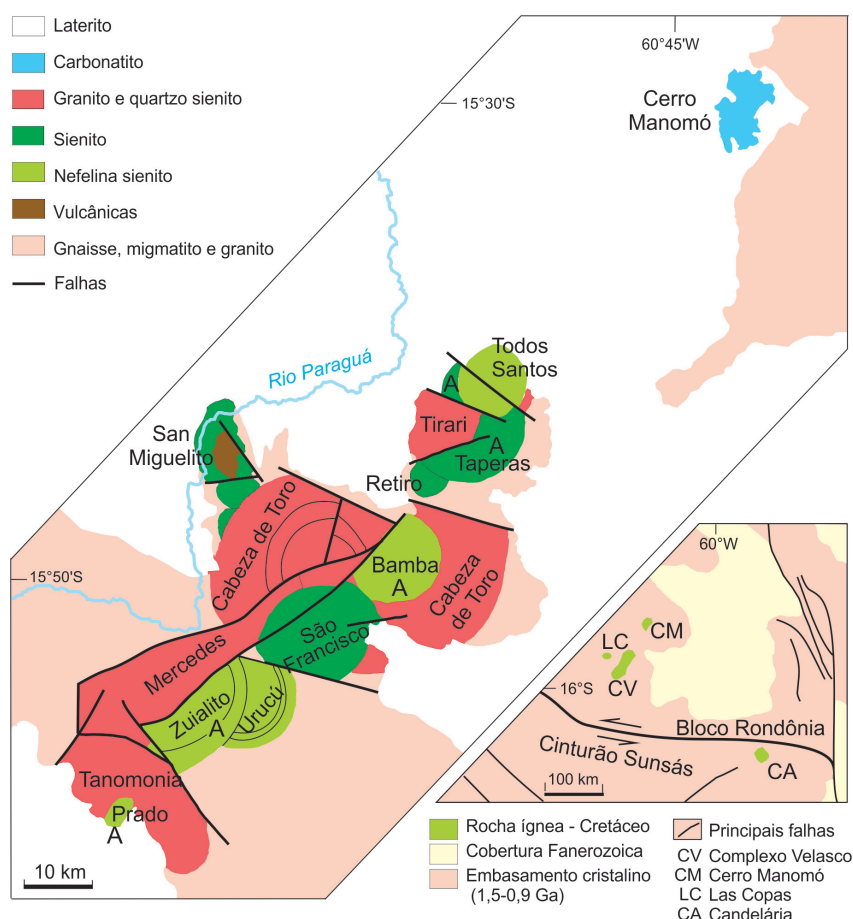


Figura 2.4. Mapa geológico da Província Alcalina de Velasco, Bolívia (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2005b; modificado de Litherland *et al.*, 1986 e Fletcher e Beddoe-Stephens, 1987), mostrando a localização do complexo carbonatítico de Cerro Manomó. A) rochas agpaíticas. Na inserção, rochas alcalinas silicáticas da região de Candelária (CA).

2.3. Idades

Dados disponíveis para os distritos alcalinos com rochas carbonatíticas constam das tabelas 2.2 a 2.6 e são indicativos de que essas rochas são predominantemente de idade cretácica, tendo, porém, se formado em duas épocas diferentes: Eocretáceo e Neocretáceo. Os resultados mostrados na tabela 2.2 provêm do trabalho de compilação de Sonoki e Garda (1988) e incluem essencialmente análises por K-Ar. Dados analíticos mais recentes (Tabela 2.3) confirmam igualmente a tendência acima. No conjunto das tabelas, as análises foram determinadas na quase totalidade em concentrados minerais (Anf, Bi, FA, Flo, Pr, Pv, Th-U-Pb, To, Zr) e em RT de rochas silicáticas associadas a carbonatitos. Somente em algumas ocorrências (p. ex., Barra do Itapirapuã, Ruberti *et al.*, 1997b; Cerro Chirigué, Eby e Mariano, 1992; Jacupiranga, Amaral, 1978; Wu *et al.*, 2010; Chmyz *et al.*, 2017; e Poços de Caldas, Vlach *et al.*, 1996; Ulbrich *et al.*, 2002) foi empregado material extraído diretamente da rocha carbonatítica.

2.3.1. Eocretáceo

O período é aparentemente caracterizado por três episódios distintos, com o mais antigo deles de ~ 139 Ma (Tabelas 2.2, 2.4 a 2.6) precedendo as lavas toleíticas da Bacia do Paraná (133 ± 1 Ma, Renne *et al.*, 1992, 1996; 134 - 133 Ma, Thiede e Vasconcelos, 2010).

Tabela 2.2. Idades radiométricas (K-Ar) de distritos alcalinos do Brasil Meridional com rochas carbonatíticas.

Localidade	Tipo de rocha	Material	Idade (Erro), Ma
BRASIL MERIDIONAL			
Anitápolis	Fe, Mel, Ti	Bi, RT	151,8 (7,0), 132,1 (3,0), 130,6 (3,0), 107,2 , 136,4 (1,6), 134,0 (2,2)
Araxá	Gl, Ca	Bi, Flo	89,4 (10,1), 97,6 (6,1); 77,4 (1,0)
Catalão	S	RT	85,0 (6,9)
Ipanema	Sh, Fe	Bi, RT	141,6 (5,4), 124,9 (9,5), 126,1 (5,4)
Itanhaém	Ti	Bi	132,8 (4,6)
Itapirapuã	NS, Mel, Ti	FA, Bi, Pi	107,3 (2,8), 103,7 (4,3), 168,3 (8,1), 96,9 (1,9), 114,7 (9,7), 108,4 (2,8)
Jacupiranga	Ca, E, Ma, Mel, NS, SD, Pi, Ja	Bi, FA, F, CF, Flo, RT, Ne	136,4 (5,7), 130,9 (2,2), 130,7 (3,4), 131,9 (4,7), 130,8 (5,4), 139,1 (5,6), 148,0 (4,4) 181,0 (6,9), 66,0 (3,0), 207,2 (17,2), 130,2 (4,6), 155,2 (4,7), 147,1 (8,8), 136,9 (7,9), 130,8 (5,2), 150,6 (7,4), 129,6 (4,5), 200,5 (5,4), 130,5 (4,2), 137,6 (7,2), 136,9 (3,4), 148,1 (5,0), 127,9 (2,9), 134,1 (4,6), 131, (3,4), 133,8 (3,9), 187,9 (15,6), 222,6 (7,1), 228,6 (5,9), 164,7 (4,9), 154,2 (5,9), 151,7 (10,0), 134,0 (5,8), 183,9 (11,2), 273,1 (21,3), 129,3 (5,2), 46,6 (2,5), 139,5 (5,2), 150,4 (5,9) 134,4 (7,7), 132,6 (7,6), 135,9 (6,8), 191,6 (14,6), 137,3 (5,2), 139,7 (7,1)
Juquiá	NS, S, I, Pi	Bi, FA, F, Pi, RT	148,2, 132,6 (4,2), 162,6 (4,7), 185,7 (12,3), 134,0 (1,6), 220,7 (3,1), 169,3 (4,4), 131,7 (1,6), 208,5 (2,5), 133,0 (2,0), 151,1 (7,7), 150,3 (8,1)
Lages	NS, OM, T, U, Fo, Ti, E, Foi	FA, F, Bi, RT	68,4 (3,2), 66,8 (2,3), 64,7 (3,5), 70,8 (2,2), 107,0 (7,8), 69,4 (1,4), 63,5 (1,7), 74,9 (1,9), 74,3 (0,9), 73,8 (0,9), 74,6 (1,4), 67,6 (2,0), 78,3 (1,9), 62,9 (5,4), 73,3 (2,8), 65,7 (3,4) 74,2 (3,8), 65,7 (1,4)
Mato Preto	Fo	RT	70,2 (4,8), 71,7 (4,7), 63,2 (1,3)
Piedade	Sh	Bi, Hb	124,7 (3,5), 74,9 (12,3)
Poços de Caldas	Ti, NS, A, Lu, Foi	Bi, FA, F, Anf, Pi, RT	82,3, 82,7, 76,9, 75,0, 78,2, 65,4 (1,6), 64,3, 66,0, 89,3, 78,4, 77,1, 77,5, 82,0, 82,4, 82,9, 76,0, 75,7, 74,9, 74,1, 71,1, 74,5, 74,2, 65,4, 63,6, 61,2, 61,7, 62,3, 54,2, 85,5 (15,1), 86,5 (1,2), 75,4 (3,0), 82,5 (6,6), 78,2 (1,8), 75,5 (1,4), 72,4 (1,3), 78,0 (1,3), 81,0 (1,0), 66,3 (4,0), 66,2 (2,0), 54,3 (1,7), 71,7 (2,5)
Salitre	Be, Fo	Bi, RT	86,3 (5,7), 82,5 (5,6), 79,0 (1,2), 80,0 (1,0), 94,5 (1,6)
Santo Antônio da Barra	Ba, Ana, Fo	RT	90,2 (5,7), 61,4 (16,9), 79,2 (2,1), 86,6 (4,8), 86,3 (3,0), 40,1 (1,2)
Serra Negra	Pe	Bi	83,7, 83,4
Tapira	Be, Fo, Ja	Bi	71,2 (5,1), 87,2 (1,2), 85,6 (5,1)
PARAGUAI ORIENTAL			
Cerro Chirigué (Cerro Corá)	Di	Bi, RT	146,7 (9,2), 138,9 (9,2)
Sapucai	E, Fo, Te, Ba		131,0 (8,2), 136,4 (5,1), 108,3 (10,2), 131,2 (5,1), 119,6 (7,2)

Fonte: dados compilados por Sonoki e Garda (1988) a partir de diversas fontes.

Abreviações: Foi, foiaito; Lu, lujaurito; Ma, malignito; MD, meladorito e RT, rocha total. Para outras abreviações, ver tabela 2.1.

Tabela 2.3. Idades radiométricas posteriores ao trabalho de Sonoki e Garda (1988) de distritos alcalinos brasileiros contendo rochas carbonatíticas.

Localidade	Tipo de rocha	Material	Método	Idade, Ma	Idade preferida, Ma	Referências
Barra do Itapirapuã	Ca		Rb-Sr	128±19	128±19	Ruberti <i>et al.</i> (1997a)
Jacupiranga			Ar-Ar	132,79		Basu <i>et al.</i> (1993)
Jacupiranga	Ca	Zir, Caz	U-Pb	125±6		Wu <i>et al.</i> (2010)
Jacupiranga	Mo	Zr	U-Pb SHRIMP	134,9±0,65		Chmyz <i>et al.</i> (2015)
Jacupiranga	MD, Mo, L, Pi, Ca	Bi, Flo	Ar-Ar	131,9± 0,5 a 133,7±0,5		Chmyz <i>et al.</i> (2017)
Poços de Caldas	Ca	To	Th-U/Pb	76, 76, 77, 77, 78, 78, 79, 79, 79, 80, 81, 81, 82; erro: 11-12	79,0±3,2	Ulbrich <i>et al.</i> (2002)
Poços de Caldas	L (dique)	Flo	Ar-Ar	75,7±0,6, 76,2±1,6		Shea (1992)
Poços de Caldas	S	RT	Rb-Sr	77,9±6,2, 78,6±6,6	78,6	Shea (1992), Ulbrich <i>et al.</i> (2002)
Poços de Caldas	S (alt. hydr.)	RT	Rb-Sr	75,6±2,2, 75,8±2,4, 76,8±2,6	76,8±2,6	Shea (1992), Ulbrich <i>et al.</i> (2002)
Lages	Mi	Flo	K-Ar	75,6±1,2, 77,2±1,2	76,4±0,8	Gibson <i>et al.</i> (1999)
Catalão I	Mgt	Bd	U-Pb Laser	78±1, 80±5, 81±4	81±3	Guarino <i>et al.</i> (2017)
Catalão II	Pc	Pv	U-Pb SIMS	82±3, 83±4, 90±4	85±2	Guarino <i>et al.</i> (2013)
Catalão I				85	85	Machado Jr. (1991)
Catalão II				83	83	Machado Jr. (1992)

Abreviações: ver tabela 2.1.

Tabela 2.4. Idades radiométricas (K-Ar, Rb-Sr) de distritos alcalinos paraguaios contendo rochas carbonatíticas.

Localidade	Ocorrência	Tipo de rocha	Material	Método	Idade (Ma)	Referências
<i>Região do Rio Apa</i>						
Valle-mí	Dique	Basanita	RT	K-Ar	142±2	2
<i>Região de Amambay</i>						
Cerro Chiriguelo	Stock	Calciocarbonatito	Bi	K-Ar	128±5	3
Cerro Chiriguelo	Lava	Traquito	Bi	K-Ar	146,7±9,2	3a
Cerro Sarambí	Lava	Traquito		K-Ar	138,9±9,2	3a
<i>Região Central</i>						
Sapucai	Stock	Nefelina sienodiorito	FA	K-Ar	127,8±5,6	4
Sapucai	Stock	Essexito	RT	K-Ar	131,0±8,2	5
Sapucai	Lava	Fonolito	RT	K-Ar	136,4±5,1	5
Sapucai	Dique	RT	RT	K-Ar	119,6±2	5
Sapucai	Lava	Basalto alcalino	RT	K-Ar	131,2±5,1	5
Sapucai	Lava	Traquibasalto	RT	K-Ar	122,0±4,0	1
Sapucai	Dique	Fonotefrito	RT	K-Ar	119,0±4,0	1
Sapucai	Dique	Fonolito	RT	K-Ar	121,0±4,0	1
Sapucai	Dique	Traquibasalto	RT	K-Ar	119,0±4,0	1
Sapucai	Dique	Basanita	RT	K-Ar	118,0±4,0	1
Sapucai	Dique	Fonotefrito	RT	K-Ar	119,0±4,0	1
Sapucai	Stock	Nefelina sienodiorito	RT, Bi, FA	Rb-Sr isócrona	126,5±7,6	4
Sapucai	Dique	Tefrito (Na)	RT	K-Ar	66,0±2,0	1

Fonte: Comin-Chiaramonti *et al.* (2007c), a partir dos seguintes dados: 1, Gomes *et al.* (1996a); 2, Gibson *et al.* (1995a); 3, Eby e Mariano (1992); 3a, Sonoki e Garda (1988); 4, Velázquez *et al.* (1992); 5, Palmieri e Arribas (1975).

Abreviações: ver tabela 2.1.

Tabela 2.5. Dados geocronológicos para ocorrências alcalinas da região de Amambay, porção nordeste do Paraguai.

Localidade	Tipo de rocha	Material	Método	Idade, Ma	Referências
<i>Região de Amambay</i>					
Arroyo Gasory	Traquito	Ti	Traços de fissão	146,7±12,8	3
Arroyo Gasory	Traquito	Ap	Traços de fissão	133,8±11,6	3
Arroyo Gasory	Traquito	Ap	Traços de fissão	134,1±12,9	3
Cerro Apuá	Traquito	Ap	Traços de fissão	115,6±11,6	3
Cerro Chiriguelo	Carbonatito	Ap	Traços de fissão	125,7±12,9	3
Cerro Chiriguelo	Carbonatito	Ap	Traços de fissão	118,9±20,3	3
Cerro Guazú	Lamprófiro	Ap	Traços de fissão	114,0±15,8	3
Cerro Sarambí	Piroxenito	Ap	Traços de fissão	110,8±10,8	3
Cerro Sarambí	Piroxenito	Ap	Traços de fissão	115,5±10,4	3
Cerro Sarambí	Carbonatito	Ap	Traços de fissão	85,4±4,6	3
Cerro Sarambí	Carbonatito	Ap	Traços de fissão	87,2±4,4	3
Arroyo Gasory	Traquito	BI	K-Ar	145±8	2
Arroyo Gasory	Traquito	RT	K-Ar	137±7	2
Arroyo Gasory	Traquito	Flo	Ar-Ar	142,92±0,89	6
Cerro Chiriguelo	Carbonatito	Bi	K-Ar	128±5	3
Cerro Chiriguelo	Microdiorito	RT	K-Ar	138,9±20,3	1, 4
Cerro Chiriguelo	Microdiorito	RT	K-Ar	146,7±9,2	1, 4
Cerro Chiriguelo	Traquito	Bi	Ar-Ar	137,6±0,7	7
Cerro Guazú	Lamprófiro	Bi	K-Ar	117±4	3
Cerro Sarambí	Sienito	RT	K-Ar	140±1	5
Cerro Sarambí	Glimmerito	RT	K-Ar	136±9	8
Cerro Sarambí	Glimmerito	RT	K-Ar	139,3±0,5	7
Cerro Sarambí	Lamprófiro	Flo	Ar-Ar	142,88±0,93	6
Cerro Sarambí	Lamprófiro	Flo	Ar-Ar	142,89±0,93	6
Cerro Sarambí	Glimmerito	Bi	Ar-Ar	139,3±0,5	7

Fonte: Gomes *et al.* (2011b), a partir dos seguintes dados: 1, Comte e Hasui (1971); 2, Eby e Mariano (1986, 1992); 3, Eby e Mariano (1992); 4, Amaral *et al.* (1967), Sonoki e Garda (1988); 5, Gibson *et al.* (1995b); 6, Gibson *et al.* (2006); 7, Comin-Chiaramonti *et al.* (2007c); 8, V.F. Velázquez (análises inéditas).

Abreviações: ver tabela 2.1.

Tabela 2.6. Idades radiométricas (Ar-Ar, biotita) recentes de distritos alcalinos paraguaios com rochas carbonatíticas obtidas nos laboratórios de geocronologia da Universidade de São Paulo e da Universidade da Califórnia, Berkeley, Estados Unidos.

Localidade	Laboratório	Tipo de rocha	Mi	Idade platô, Ma	Idade isócrona, Ma	MSWD	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar intersecção
<i>Região do Rio Apa</i>							
Valle-mí	UC	Basanito (dique)	Bi	138,7±0,2	139,0±0,3	1,9	187±123
<i>Região de Amambay</i>							
Cerro Chiriguelo	UC	Traquito	Bi	137,6±0,7	138,1±1,7	0,6	184±97
Cerro Sarambí	UC	Glimmerito (veio)	Bi	139,3±0,5	139,1±0,9	0,2	214±104
<i>Região Central</i>							
Cerro Cañada	USP	Gabro alcalino	Bi	126,1±0,5	127,6±1,4	1,7	114±50
Cerro Cañada	UC	ljolito	Bi	126,3±0,2	126,2±0,9	0,14	304±110
Cerro Cañada	UC	Gabro alcalino	Bi	127,5±0,2			
Sapucaí (Cerro Verde)	UC	Essexito	Bi	124,6±0,7	127,1±1,4	0,76	198±123
Sapucaí (Cerro Fidel)	UC	Traquifonolito	Bi	126,4±0,2	128,6±2,9	2,76	138±244
Sapucaí	BGC	Traquiandesito (dique)	Bi	126,2±0,1	126,2±0,7	0,10	311±52

Fonte: Comin-Chiaramonti *et al.* (2007c).

2.3.1.1. O evento de ~139 Ma

Engloba apenas os distritos alcalinos paraguaios das áreas do Rio Apa (Valle-mí) e Amambay (Cerro Chiriguelo e Cerro Sarambí), além de Cerro Velasco (Cerro Manomó), na Bolívia, estando os espectros Ar-Ar agrupados na figura 2.5.

A documentação geocronológica para as ocorrências do Rio Apa é muito pobre, e os dados sugerem para as rochas basaníticas portadoras de *ocelli* de material carbonático idades K-Ar (RT) de 137 ± 7 Ma e 138 ± 9 Ma (Castorina *et al.*, 1997), e de 142 ± 2 Ma (Gibson *et al.*, 1995a). Mais recentemente, Comin-Chiaramonti *et al.* (2007c) reportaram uma idade platô de Ar-Ar de $138,7 \pm 0,2$ Ma para uma amostra de basanita (Tabela 2.6, Figura 2.5).

Já as intrusões da região de Amambay foram investigadas por diferentes metodologias, embora os resultados apresentem, no entanto, grande dispersão. Eles incluem antigas análises por K-Ar (Comte e Hasui, 1971; Gibson *et al.*, 1995b), análises por traços de fissão em apatita e titanita (Eby e Mariano, 1986, 1992) e, mais ultimamente, por Ar-Ar (Gibson *et al.*, 2006; Comin-Chiaramonti *et al.*, 2007c). A tabela 2.5, extraída de Gomes *et al.* (2011b), lista os dados coligidos para os diferentes tipos de rochas e o material empregado para análise. Os resultados por Ar-Ar de biotita em glimmerito do Cerro Sarambí (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2007c, Tabela 2.6) apontaram para valores concordantes em torno de $139,3 \pm 0,5$ Ma, que são tomados como indicativos da idade de formação dessas rochas. Ainda segundo esses últimos autores, espectros Ar-Ar (Figura 2.5) forneceram idades platô de $137,9 \pm 0,3$ Ma e $139,6 \pm 0,2$ Ma, respectivamente, para uma amostra de lava do Cerro Chiriguelo e de um veio do Cerro Sarambí.

Esse episódio mais antigo acha-se também representado em território boliviano, como testemunham as rochas da Província de Velasco, aí incluído o corpo carbonatítico de Cerro Manomó. As informações sobre a região baseiam-se essencialmente nos trabalhos de mapeamento geológico conduzidos por uma missão inglesa na década dos 1980 (Litherland *et al.*, 1986) e os pouco dados geocronológicos disponíveis encontram-se listados em Darbyshire e

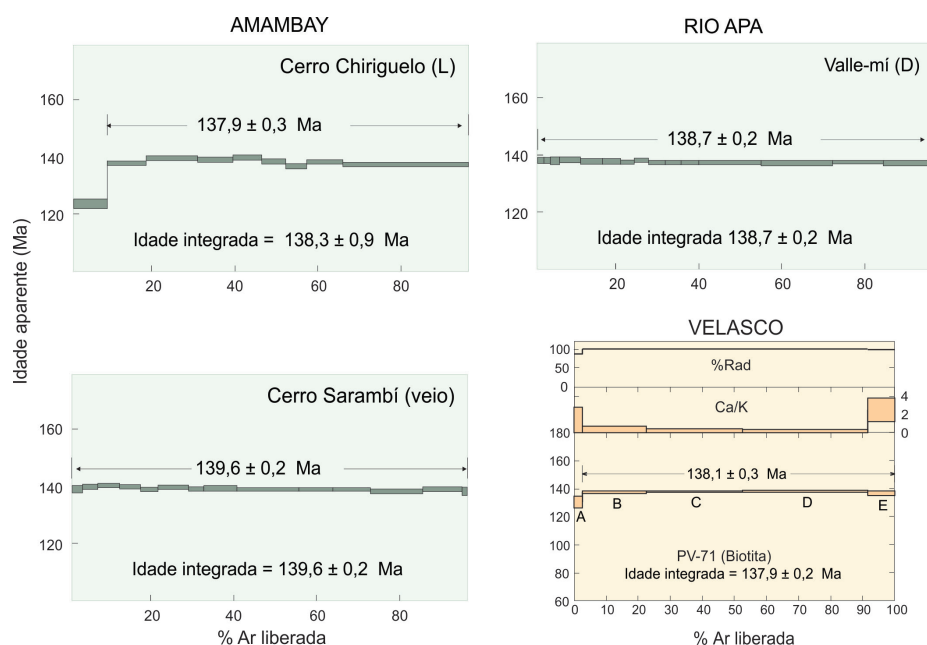


Figura 2.5. Espectro Ar-Ar para amostra de dique basanítico de Valle-mí na região do Rio Apa e espectros Ar-Ar para amostras dos complexos alcalino-carbonatitos de Cerro Chiriguelo (L, lava) e Cerro Sarambí (veio) na região de Amambay, Paraguai (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2007c). Espectro Ar-Ar para biotita de rocha sienítica da região de Velasco, Bolívia (Gomes *et al.*, 2008).

Fletcher (1979). Datações K-Ar em concentrados minerais de biotita e hornblenda produziram idades no intervalo de 142 a 134 Ma, sendo que as poucas idades Rb-Sr em RT disponíveis não se mostram muito diferentes considerando-se o erro analítico. A combinação desses dados com os obtidos posteriormente por Comin-Chiaramonti *et al.* (2005b) levou à caracterização de duas errócronas para as duas suítes presentes, 139 ± 3 Ma para as rochas insaturadas e 140 ± 1 Ma para as supersaturadas. Pouco depois, Gomes *et al.* (2008; Figura 2.5) forneceram uma idade platô Ar-Ar de $138,1 \pm 0,3$ Ma em concentrado de biotita de amostra de sienito, que é tida como indicativa da formação do complexo de Velasco.

2.3.1.2. O evento de ~130 Ma

Mais ou menos concomitante com o vulcanismo basáltico toleítico deu-se a manifestação carbonatítica do Vale do Ribeira (Barra do Itapirapuã, Itanhaém, Jacupiranga, Juquiá, Piedade), na qual os dados convergem para uma idade de referência em torno de 130 Ma, que, aparentemente, guardaria correspondência com o chamado cronogrupo de 133 Ma definido por Ulbrich *et al.* (1990). A figura 2.6, extraída de Gomes *et al.* (2018b), reúne as idades disponíveis para carbonatitos e rochas alcalinas associadas dessa e de outras regiões do país, inclusive do Paraguai.

A despeito da grande quantidade de análises, sobretudo de K-Ar determinadas por Amaral *et al.* (1967) e Amaral (1978) para as rochas do Vale do Ribeira e de Santa Catarina, apenas Jacupiranga conta com dados analíticos mais precisos, tendo Roden *et al.* (1985) reportado há tempos uma idade Rb-Sr de 131 ± 3 Ma para a ocorrência. Um valor de 132 ± 79 Ma foi divulgado por Basu *et al.* (1993), enquanto Wu *et al.* (2010) obtiveram poucos anos depois uma idade

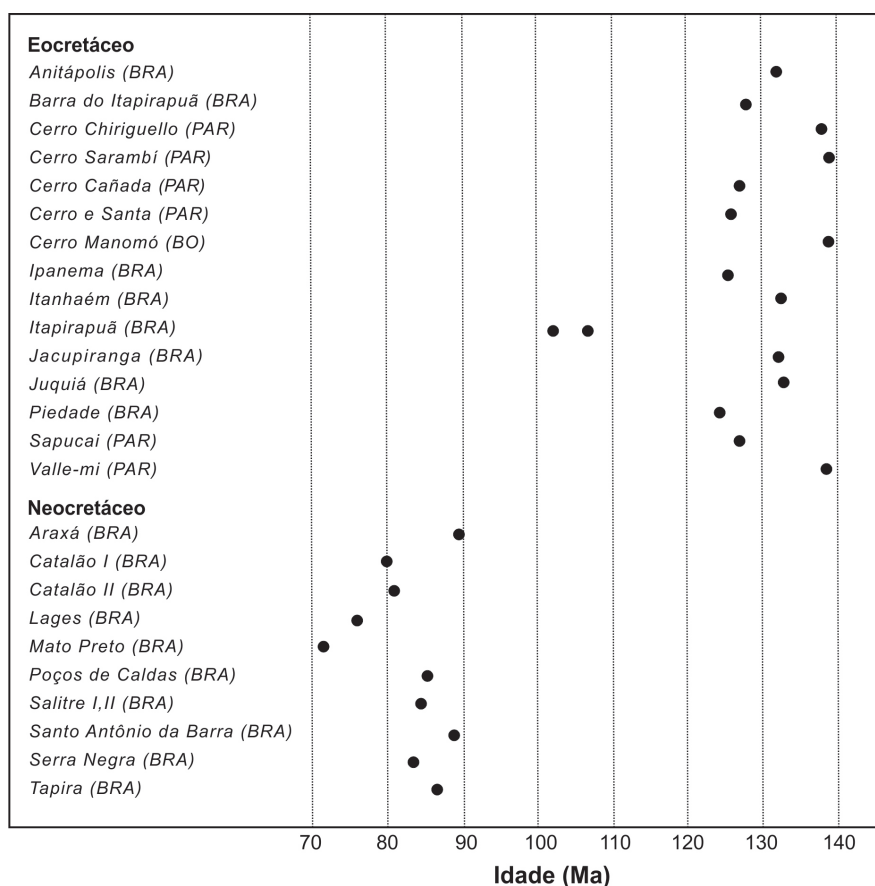


Figura 2.6. Diagrama de idades referências para ocorrências carbonatíticas da região meridional da Plataforma Brasileira (modificada de Gomes *et al.*, 2018b, que, por sua vez, utilizaram as mesmas fontes de dados citadas na Tabela 2.1).

U-Pb em zirconolita do carbonatito de 125 ± 6 Ma. Em trabalho recente, Beccaluva *et al.* (2017) admitiram para o complexo uma idade no intervalo 131-133 Ma. Investigando mais detidamente a geocronologia de diferentes tipos litológicos de Jacupiranga pelos métodos U-Pb SHRIMP e Ar-Ar (Tabela 2.3), Chmyz *et al.* (2015, 2017) determinaram uma idade concórdia U-Pb de $134,9 \pm 0,65$ Ma em cristais de zircão de monzonito. Por outro lado, os resultados de Ar-Ar para três análises de biotita em meladiorito, monzonito e lamprófito e de duas de flogopita em nefelina clinopiroxenito e apatita calciocarbonatito definiram uma idade platô que varia no intervalo de $131,9 \pm 0,5$ a $133,7 \pm 0,5$ Ma. Esses valores indicariam para o complexo uma idade contemporânea com a dos basaltos toleíticos da província magmática do Paraná.

2.3.1.3. O evento de ~126 Ma

Esse episódio é de presença restrita à região do Rife de Assunção na porção centro-oriental do território paraguaio. O magmatismo carbonatítico ali é pouco expressivo, com o derrame de lava beforsítica de Sapucaí (Comin-Chiaramonti *et al.*, 1992a) se constituindo na única ocorrência. Análises Ar-Ar, recentes, numerosas e mais precisas, para as diversas intrusões alcalinas que afloram na área do rife (Milan, 2003; Gomes *et al.*, 2003; Comin-Chiaramonti *et al.*, 2007c; Tabela 2.6) permitiram situar a idade do pico da atividade do magmatismo em $126,4 \pm 0,4$ Ma, valor esse não muito discrepante dos resultados por Rb-Sr determinados por Bitschene (1987) e Velázquez *et al.* (1992). Espectros Ar-Ar de concentrados de biotita para a ocorrência de Sapucaí (rochas silicáticas do Cerro Verde) e para a intrusão do Cerro Cañada (ijolitos contendo *ocelli* de material carbonático) indicaram idades platô, respectivamente, de $126,3 \pm 0,2$ Ma e $124,6 \pm 0,7$ Ma (Gomes e Comin-Chiaramonti, 2017). Por sua vez, Gibson *et al.* (2006) relataram idades de $127,91 \pm 0,79$ Ma e $127,66 \pm 0,79$ Ma para concentrados de flogopita do dique de Cerro Santo Tomás e de $127,12 \pm 0,78$ para o *stock* de Cerro Cañada.

2.3.1.4. O evento de 100-110 Ma

Idades K-Ar remontando à fase inicial do laboratório de geocronologia de São Paulo (Gomes e Cordani, 1965) colocaram o maciço de Itapirapuã como originado no intervalo de 100-110 Ma. Dados recém-obtidos por Gomes *et al.* (2018b) confirmaram esse período de formação, com valores K-Ar de 102 Ma e U-Pb SHRIMP de ~106 Ma (Figura 2.6).

2.3.2. Neocretáceo

2.3.2.1. O evento de 80-90 Ma

Esse episódio é exclusivo das ocorrências do Brasil. Na região Sul-Sudeste do País, ele está representado pelos complexos, aparentemente, de idade cretácica de Joca Tavares e Porteira, no Rio Grande do Sul; de Lages, em Santa Catarina (Scheibe *et al.*, 1985); e de Mato Preto, no Vale do Ribeira (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2001). Na porção Centro-Oeste, por vários distritos alcalinos, alguns de grande importância econômica, caso de Araxá, Catalão I e II e Tapira. Como já referido, o conjunto das últimas ocorrências inclui também Salitre (Salitre I, II e III) e Serra Negra, em Minas Gerais, além de Caiapó, Morro do Engenho e Santo Antônio da Barra, em Goiás. A formação das rochas alcalinas associadas com os carbonatitos de ambas as regiões se deu predominantemente no intervalo acima, a julgar pelos dados analíticos produzidos por diversas metodologias (Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar, U-Pb SHRIMP, U-Pb SIMS, U-Pb ID TIMS). Embora mais antigo,

o gráfico de Gibson *et al.* (1995b) mostrado na figura 2.7 confirma claramente essa tendência. Idades U-Pb mais recentes fornecidas por Guarino *et al.* (2013) e Guarino *et al.* (2017) para rochas kamafugíticas, kimberlíticas, picríticas e carbonatíticas da região do Alto Paranaíba situam-se igualmente nesse intervalo acima, como indicado na tabela 2.3.

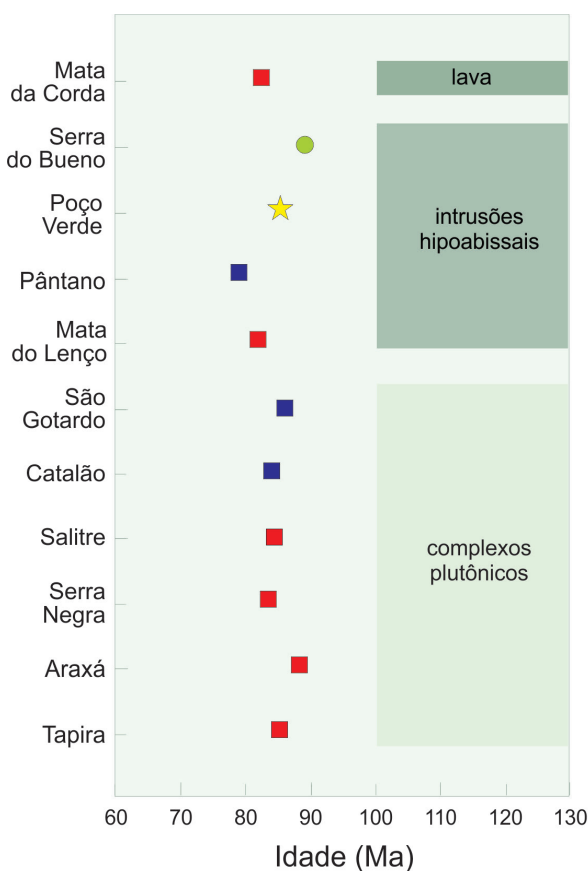


Figura 2.7. Diagrama mostrando a distribuição de idades no intervalo de 80 a 90 Ma obtidas por diferentes métodos para distritos alcalinos com ou sem rochas carbonatíticas da região do Alto Paranaíba (Gibson *et al.*, 1995b). *Legenda:* quadrado vermelho, K-Ar, mica; quadrado azul, K-Ar, rocha total; círculo verde, laser rocha total; estrela amarela, U-Pb, zircão.