

11

1

P.

5

9

b

I

1

III

...

G

G

И
У

•

Journal of Management Education

[illegible]

1000

Abstract

10

1

sa. Em alguns fácies as rochas apresentam forte orientação, sobretudo planar, e o exemplo mais extremo é o dos *lujaunitos*; neles, os piroxênios aciculares se dispõem formando densas malhas de agulhas intercaladas que rodeiam como "folhas máficas" os minerais félsicos, lembrando a textura de um "augen" ou "flaserneiss".

Um corpo especial é o dos *pseudoleucita nefelina sienitos*, que possuem pseudoleucitas de tamanhos variáveis e distribuição heterogênea, em matriz foidítica.

A mineralogia essencial dos nefelina sienitos varia pouco; o feldspato potássico é o mineral dominante (40-60% modal), seguido de nefelina (20-36% modal). Dos minerais ferromagnesianos, o único importante é o piroxênio sódico (egirina-augita a egirina) em proporções que raramente ultrapassam os 15% modais, exceção feita aos *lujaunitos* que contêm 25 a 30% de piroxênio. Em quantidades não maiores que 1% encontra-se por vezes biotita nas rochas de afinidade miasquítica, ou arfvedsonita nos tipos agpaíticos ou intermediários, onde o anfibólio acompanha invariavelmente egirina.

A presença de silicatos de metais raros (SMR) como eudialita, lamprofilita, rinquita, etc., junto com os minerais máficos (anfibólio ou biotita, principalmente), permite separar os nefelina sienitos agpaíticos dos miasquíticos (ou intermediários). Entre os fácies agpaíticos, contam-se os seguintes: a) os dois corpos *lujaunitico-chibiniticos*, aflorando na região da Pedra Balão (setor A, Fig. 2), que contêm até 10% de eudialita e 4% de outros SMR; b) os *chibinitos de Botelhos* e os *orientais* (setor A, Fig. 2) com proporções variáveis de SMR; c) os *nefelina sienitos com eudialita do Serrote* (setor C, Fig. 2), que possuem 3 a 3,5% de SMR e d) os *nefelina sienitos ocidentais com eudialita* (setor D, Fig. 2), também com 3% de SMR.

Os restantes nefelina sienitos, de afinidade miasquítica ou intermediária, apresentam em geral menos de 4% de minerais acessórios, principalmente titanita, grãos opacos e fluorita. Alguns fácies exibem pequenas quantidades de anfibólio sódico e/ou giannetita; este último é um mineral reconhecido apenas nas rochas de Poços de Caldas (Guimarães, 1948; Branco, 1956) e ainda pobremente caracterizado (e.g., Fleischer, 1949).

Mineralogia

O feldspato potássico ocorre em geral como cristais subidiomórficos, não pertíticos, com geminação de Carlsbad e Baveno. O estado estrutural é muito variável; tanto as observações ópticas (ângulo 2V e presença ou ausência de geminação múltipla albíta-periclínio) como os estudos de difratometria de raios X demonstram que na maioria dos nefelina sienitos coexistem microclínio de alta triclinicidade ($\Delta_{131} = 0,75$; Goldsmith e Laves, 1954) com ortoclásio, nos mesmos grãos de feldspato, ou em diferentes cristais da mesma amostra. Em alguns fácies, o feldspato potássico é unicamente microclínio máximo ($\Delta_{131} \geq 0,86$).

A nefelina forma grãos subidiomórficos a idiomórficos e está comumente alterada em natrolita e analcima nas rochas agpaíticas, e em natrolita e/ou cancrinita nas de afinidade miasquítica.

Outros minerais félsicos de ocorrência esporádica incluem albita, sodalita e analcima, os dois últimos em parte primários. Quantidades subordinadas de albita foram reconhecidas em alguns fácies de contato, tanto em rochas agpaíticas como miasquíticas. O mineral se apresenta como cristais frescos, com geminação polissintética e hábito tabular, com bordas irregulares a onduladas. Na maioria das vezes a albita acha-se total ou parcialmente inclusa em cristais maiores de feldspato potássico; os grãos de feldspato em contato com albita são via de regra pertíticos e exibem geminação múltipla Ab-Pe. Ocasionalmente, *sodalita* e *alcima* (possivelmente primárias) aparecem também em alguns fácies, sobretudo nas rochas dos corpos *lujaunitico-chibiniticos* (Fig. 2, setor A); a analcima, entretanto, é mais comum como mineral tardio de alteração.

Na maioria dos nefelina sienitos, o piroxênio forma grãos xenomórficos zonados, variando de egirina-augita nos centros até egirina nas bordas, e também agregados fibrosos intersticiais, de evidente cristalização tardia. Nos *lujaunitos*, aparecem unicamente cristais prismáticos alongados a aciculares com fraco zoneamento. Nos *chibinitos*,

piroxênio ocorre segundo três maneiras distintas: a) escassos cristais pequenos prismáticos, b) grãos grandes (maiores que 5 mm) xenomórficos, poiquilíticos, com zoneamento setorial que se caracteriza por mudanças na cor e no pleocroísmo em diferentes setores dos cristais, c) agregados fibrosos intersticiais.

Em alguns corpos de nefelina sienitos miasquíticos, em particular nos *nefelina sienitos da Pedreira* e *nefelina sienitos manchados* (anteriormente denominados de "híbridos" e "finos do Anel Norte", respectivamente; ver Ulbrich, 1983), os piroxênios exibem extremo zoneamento. Os cristais possuem núcleos augíticos ($\gamma_{Ac} = 35-37^\circ$), às vezes idiomórficos, mais comumente reabsorvidos, rodeados por zonas extremamente finas de egirina-augita que passa a egirina ($\alpha_{Ac} = 0-3^\circ$) nas bordas dos grãos.

Biotita amarela-marrom ocorre em algumas rochas miasquíticas como placas intersticiais aos demais minerais, ou então substituindo piroxênio. Na maioria das placas intersticiais nota-se mudanças marcantes na intensidade do pleocroísmo segundo áreas ou zonas bem definidas. Identificam-se dois casos: um deles, mais raro, mostra a passagem gradativa de uma zona com pleocroísmo intenso (α = amarelo, γ = marrom) para outra com pleocroísmo mais fraco (α = marrom-avermelhado, γ = verde-lho). Entretanto, o caso mais comum configura-se quando duas áreas com pleocroísmo diferente apresentam-se com contatos nítidos; os limites entre as duas zonas podem ser retos ou, mais comumente, interdigitados. Nas rochas estudadas encontram-se tanto biotitas zonadas, como cristais de aspecto homogêneo.

Anfibólio sódico, arfvedsonítico, é encontrado em algumas rochas agpaíticas. Aparece como duas variedades texturais distintas, a mais comum sendo um anfibólio parcial ou totalmente incluído em cristais de piroxênio, mostrando em alguns casos relações de substituição (anfíblio substituindo piroxênio). A segunda variedade, restrita aos *lujaunitos*, ocorre na forma de grandes cristais xenomórficos e poiquilíticos. Nos dois casos as propriedades ópticas são semelhantes, em particular o pleocroísmo: α = verde-azulado e γ = verde-amarelado claro. Nos grãos poiquilíticos observa-se às vezes zoneamento óptico.

Os minerais acessórios típicos dos nefelina sienitos agpaíticos (*eudialita*, *lamprofilita*, *astrofilita*, etc.) são intersticiais às fases félsicas. A titanita e os grãos opacos das rochas miasquíticas aparecem comumente associados aos piroxênios; nos *nefelina sienitos da Pedreira* em especial, são vistos titanita e grãos opacos incluídos nas zonas de egirina-augita dos cristais zonados de piroxênio.

QUÍMICA MINERAL

Os minerais mais importantes dos nefelina sienitos (feldspato potássico, nefelina, albita, piroxênio, biotita e anfibólio) foram analisados numa microsonda eletrônica ARL do Instituto de Geociências da USP (para maiores detalhes ver Ulbrich, 1983). As relações $Fe^{2+}:Fe^{3+}$ dos piroxênios foram calculadas por meio do programa SILCAL (Ulbrich e Ulbrich, 1982).

Feldspato potássico

Em geral os feldspatos são ricos em K_2O . Os teores de Na_2O raramente excedem 2% e o CaO acha-se presente em quantidades muito pequenas, por vezes aparecendo apenas como elemento traço. O ferro, provavelmente como Fe^{3+} , é encontrado na maioria dos cristais onde ocorre substituindo o alumínio. Não obstante, existe a possibilidade de que em alguns feldspatos parte do Fe detectado seja resultante da presença de partículas finíssimas de óxidos de ferro. Os dados de feldspato potássico de alguns fácies de nefelina sienitos agpaíticos e miasquíticos são fornecidos na Tabela 1. Nos *nefelina sienitos da Pedreira*, o mineral exibe por um lado, zonalidade marcante e, por outro, composição química pouco comum (Tabela 1) devida principalmente aos teores elevados de Sr. Em termos de composição, os núcleos dos cristais são mais ricos em Na, Sr e Ca que as bordas. Ba está presente em quantidades semelhantes às do Ca; contudo, como os dados sobre o elemento são erráticos, eles não foram incluídos na Tabela 1.

Análises de nefelina são dadas na Tabela 1. Além dos elementos nela listados, fizeram-se testes para determinar a presença de Mg, Ca, Sr e Ba, com os dois últimos não detectados em quaisquer das amostras estudadas. As nefelinas dos *nefelina sienitos da Pedreira* não contêm Sr, conquanto esse elemento seja abundante nos feldspatos coexistentes. Já Mg e Ca estão presentes apenas em algumas amostras, porém em quantidades muito pequenas, dentro dos limites de detecção da microsonda. As nefelinas possuem teores moderados de K_2O e quantidades menores, ainda que significativas, de ferro, que, em geral, variam inversamente com o conteúdo de alumínio. Contudo, não foi reconhecido qualquer padrão particular de substituição de Al por Fe^{3+} . O Fe^{3+} pode ser mais abundante nos núcleos ou nas bordas dos cristais, ou mesmo mostrar variações em zonas alternantes; analogamente, diferentes amostras do mesmo corpo podem exibir teores variáveis de Fe^{3+} . A característica química mais marcante das nefelinas dos vários fácies litológicos refere-se ao excesso de sílica (Qz), que é elevado nos fácies de granulação fina (geralmente fácies de contato) e baixo, ou muito baixo, nos fácies de granulação grossa.

Albita

Em todas as rochas portadoras de albita tabular, o mineral aparece quimicamente homogêneo e com composição correspondente a 98-100% Ab.

Piroxênio

Em conjunto, os piroxênios pertencem à série soda-augita-egirina-augita-egirina. As variações químicas mais marcantes consistem, em todos os casos, do aumento nos teores de Fe^{3+} e Na (do centro para a borda dos grãos) e a consequente diminuição de Ca, Mg e Fe^{2+} ; essas variações se fazem acompanhar de mudanças correspondentes nos teores de Si, Al, Ti, Zr e Mn. Embora os piroxênios de cada fácies ou corpo de nefelina sienitos destaquem-se por mostrar, em detalhe, uma tendência de evolução típica, ou até única, é possível mencionar-se algumas características gerais:

a) os piroxênios de alguns fácies miasquíticos (*nefelina sienitos da Pedreira* e *nefelina sienitos manchados*) possuem zoneamento químico contínuo; o zoneamento é dado pela presença de núcleos de soda-augita e uma zona externa de egirina-augita e egirina (Tabela 2), passando por uma "zona de transição" de pouca expressão volumétrica, porém, com rápidas mudanças químicas (Fig. 3);

b) nos fácies agpaiticos, e em outros fácies miasquíticos ou intermediários, o zoneamento é mais fraco (Tabela 2 e Fig. 3); os centros dos cristais são de egirina-augita ou egirina, com teores de Na maiores nas bordas;

c) em geral, o teor de Si dos piroxênios estudados acompanha o aumento de Na, com Al mostrando relação inversa. Como consequência, as bordas egirínicas dos grãos são mais ricas em Si e mais pobres em Al que os centros de egirina-augita. Às vezes, as quantidades de Si+Al mostram-se insuficientes para preencher as posições tetraédricas do mineral; nestes casos, é possível que tais posições sejam ocupadas por Fe^{3+} ;

d) os teores de Ti, Zr e Mn dos piroxênios são moderados a baixos; nas rochas miasquíticas, observa-se uma tendência ao enriquecimento em Ti e Zr nas bordas egirínicas dos grãos, o que não ocorre nas agpaiticas (Tabela 2). O Mn é em geral covariante com o Fe^{2+} , à exceção das bordas de alguns cristais ou em agregados fibrosos de piroxênio egirínico, que são relativamente ricos no elemento.

Biotita

As micas analisadas pertencem à série flogopita-annita-oxianita (Wones e Eugster, 1965). As modificações na relação Mg:Fe são diferentes para cada corpo de nefelina sienitos; em conjunto, abrangem um campo composicional que vai de annita₃₀ a annita₉₆ (o teor de annita

sendo equivalente à relação $(Fe+Mn)/(Fe+Mn+Mg)$, com $Fe(total) = Fe^{2+}$. Em apenas um corpo, o de *nefelina sienitos cinzas do Anel Norte*, as micas passam de annita₃₅ a annita₉₄ (Tabela 3). Em geral as micas que substituem o piroxênio são homogêneas e ricas em annita.

As variações na relação Mg:Fe acham-se acompanhadas por mudanças nos demais elementos, em particular Si, Al, Ti, Mn e F; Cl e Ba não foram detectados nas biotitas. Via de regra, o Si diminui e o Al aumenta à medida que se eleva o teor de annita. O teor médio de Al é baixo nessas micas, sendo mesmo possível inferir-se que parte das posições tetraédricas estejam preenchidas por Fe^{3+} . Os teores de Ti são moderados e os de Mn relativamente elevados. Os dados apresentados mostram que a substituição de OH por F encontra-se diretamente relacionada com o teor de Mg das micas (Rosenberg e Foit, 1977).

Anfibólio sódico

O mineral apresenta quimismo semelhante nos diferentes nefelina sienitos, exibindo zoneamento químico apenas nos *lujauritos*. Trata-se de um anfibólio arfvedsonítico com mais de 6,5% de Na_2O e mais de 2,0 de K_2O , além de teores muito baixos de CaO e Al_2O_3 (Tabela 3). A variedade presente pode ser classificada como magnésio-arfvedsonita manganésifera, com base nos teores elevados de álcalis, Mg e Mn, além da pobreza em Ca e Al (Leake, 1978). Não contém Cl detectável sendo, porém, relativamente rica em F (Rosenberg e Foit, 1977).

CONSIDERAÇÕES PETROLÓGICAS

Nas regiões setentrional e central do maciço de Poços de Caldas ocorre um número relativamente elevado de corpos de nefelina sienitos, a maioria deles constituído por vários fácies petrográficos com características texturais e estruturais próprias. Observações de detalhe, feitas no Anel Norte e no Morro do Serrote, indicam uma possível sequência que começa com nefelina sienitos miasquíticos ou intermediários e culmina com a invasão de magmas de nefelina sienitos agpaiticos (Ulbrich *et al.*, 1979). Os trabalhos de campo e o quimismo dos minerais, principalmente dos máficos, sugere que um mesmo tipo de magma se dispõe na forma de vários corpos discretos, em geral muito separados entre si, e a profundidades que não devem exceder alguns poucos quilômetros. Cada corpo de nefelina sienitos constitui uma unidade geológica perfeitamente definida; por outro lado, é evidente que o número de corpos individuais excede notavelmente o dos tipos magmáticos. Concebe-se a existência de pelo menos dois tipos de magmas na região, o agpaitico e o miasquítico (ou menos agpaitico) relacionados entre si por processos de diferenciação (H.H. Ulbrich, em preparação).

As rochas constituintes dos corpos *lujaurítico-chibiníticos* são os tipos mais fortemente agpaiticos da região, a julgar pelo elevado teor de SMR. As evidências texturais mostram que nessas rochas, e em outras agpaiticas de Poços de Caldas, os feldspatos potássicos e/ou as nefelinas representam as primeiras fases de cristalização (fases "liquidus"), formando-se em seguida os piroxênios. Nos *lujauritos* em particular, os piroxênios egirínicos aparecem como cristais prismáticos-co-aciculares idiomórficos; entretanto, as texturas sugerem que esse hábito é uma característica que guarda relação com a cinética de cristalização, uma vez que os cristais de piroxênio ocorrem intersticialmente aos grãos maiores de feldspato e nefelina, aos quais rodeiam fluidalmente. Respeita-se assim a "ordem agpaitica de cristalização", presente em rochas agpaiticas do mundo inteiro (Sørensen, 1974a; Kogarko e Romanchev, 1977).

Os *nefelina sienitos da Pedreira* são, por outro lado, rochas tipicamente miasquíticas. Nelas, o piroxênio contém núcleos de soda-augita, comumente reabsorvidos, exibindo por vezes contornos idiomórficos; as bordas egirínicas dos grãos apresentam-se descontínuas e irregulares. Portanto, a textura indica que os núcleos de soda-augita se formaram muito antes que as bordas egirínicas e que são anteriores, ou em parte contemporâneas, aos minerais fêlsicos (especialmente a nefelina). Nessas rochas, os núcleos de piroxênio representam a fase "liquidus", seguida posteriormente pelos minerais fêlsicos.

O conteúdo de alguns elementos menores, em especial de Zr e

Ti, nos piroxênios está diretamente relacionado com o caráter mais ou menos peralcalino dos magmas. Nos magmas apgaíticos, o Zr concentra-se nos líquidos residuais forma, juntamente com outros cations, os silicatos de metais raros, principalmente eudialita e, em consequência, as bordas egrinicas dos cristais de piroxênio mostram-se empobrecidas em Zr (Tabela 2). Observações semelhantes foram descritas para o maciço Illímaussaq (Larsen, 1976). O comportamento é diferente em magmas miasquíticos, com o Zr enriquecido nos líquidos residuais se concentrando preferencialmente nas bordas externas dos piroxênios. Conclui-se assim que egrinas relativamente enriquecidas em Zr devem ser características de magmas miasquíticos.

Idêntico raciocínio aplica-se na interpretação do comportamento do Ti. Nos magmas miasquíticos, o Ti pode concentrar-se nos líquidos finais e, dessa forma, ingressar nas bordas dos cristais de piroxênio ou em outros minerais ferromagnesianos, uma vez formadas as fases titaníferas como titanita, ilmenita, magnetita, etc., que são comumente de cristalização precoce; ao contrário, nos magmas apgaíticos, o Ti aparece nos silicatos de metais raros de cristalização tardia. Exemplos desse comportamento observam-se nos piroxênios de *lujaunitos*, *nefelina sienitos* da Pedreira e *nefelina sienitos manchados* (Tabela 2).

A composição química dos feldspatos potássicos, que constituem mais de 50% das rochas, sugere cristalização a partir de magmas ricos em K. Por outro lado, o mineral apresenta grande complexidade estrutural, mostrando na maioria das fácies a coexistência de ortoclásio e microclínio de alta triclinicidade num mesmo cristal ou em diferentes grãos da amostra. Estas características dos feldspatos, raramente mencionadas nas rochas calco-alcalinas, são comuns em nefelina sienitos, a julgar pelos dados de literatura (Mackenzie, 1954; Retief, 1962; Czygan, 1969, entre outros) e não podem ser interpretados no sentido clássico, considerando que o estado estrutural do feldspato depende exclusivamente da história de resfriamento do corpo ígneo.

Confirmando as sugestões dadas por Parsons e Boyd (1971) e Parsons (1978), considera-se aqui que a transformação ortoclásio-microclínio depende não só da velocidade de resfriamento das rochas, mas, principalmente, da influência dos líquidos magmáticos ou residuais, ricos em álcalis e voláteis, que promovem ou aceleram o processo de ordenamento.

Do mesmo modo, sugere-se que a albita tabular, presente apenas em alguns fácies de contato de rochas apgaíticas e miasquíticas, possui origem metassomática com a sua formação se dando a partir das soluções residuais que percolaram as rochas. Note-se que os feldspatos potássicos vizinhos são pertíticos e contêm invariavelmente geminação múltipla, indicando que o ordenamento estrutural, e a eventual exsolução da fase sódica, são fenômenos de reequilíbrio e demonstram, ainda que em escala reduzida, a importância da recristalização sob condições pós-magmáticas nas rochas alcalinas.

As nefelinas encontradas em nefelina sienitos miasquíticos de granulação fina possuem elevado excesso de sílica (Qz), a sugerir, segundo estudos experimentais (Hamilton e Mackenzie, 1960; Hamilton, 1961), elevada temperatura de cristalização (superiores a 750°C; Fig. 4). Em algumas rochas apgaíticas de granulação média, as evidências texturais indicam cristalização simultânea de nefelina e feldspato potássico; os dados químicos dos dois minerais, aplicando-se o geotermômetro de Powell e Powell (1977), fornecem temperaturas de cristalização em torno de 600°C. Nas rochas de granulação grossa, tanto apgaíticas como miasquíticas, a composição da nefelina contém pouco excesso de sílica e se concentra no "campo de convergência" de Morozewicz-Buerger (localizado entre Ne_{75}, Ks_{20}, Qz_{4} e Ne_{73}, Ks_{27}); essas composições apontam para temperaturas de cristalização inferiores a 500°C, provavelmente como resultado de reequilíbrio submagmático. Paralelamente, sabe-se que as rochas de granulação grossa são também aquelas onde predomina feldspato ordenado (microclínio).

Os minerais máficos, quimicamente mais complexos que os félsicos, possibilitam o aparecimento de nítidas tendências evolutivas (Fig. 3) que permitem caracterizar, por um lado, a composição dos magmas e, por outro, as próprias condições de cristalização dos minerais. A relação Fe:Mg das arfvedsonitas depende essencialmente dos líquidos dos quais o mineral cristaliza (Ernst, 1962); no entanto, admite-se que

tanto o conteúdo como as variações de Fe^{3+} nos minerais máficos são predominantemente controladas por mudanças na fO_2 . Em geral, a ausência de faialita e enigmatita nas rochas faneríticas de Poços de Caldas, como também o teor de acmita dos piroxênios precoces dos *nefelina sienitos* da Pedreira e *nefelina sienitos manchados* (9-14% de Ac nos núcleos de soda-augita), sugere que a cristalização das rochas processou-se sob condições de fO_2 elevadas, superiores às do buffer FMQ (Nash e Wilkinson, 1970; Marsh, 1975; Larsen, 1976).

Evidências de mudanças na fO_2 (e/ou PH_2O) durante a cristalização das rochas são observadas em piroxênios e biotitas. A reabsorção dos núcleos de soda-augita nos piroxênios de alguns fácies miasquíticas e a consequente cristalização de piroxênio progressivamente mais rico em Fe^{3+} e Na, acompanhado de titanita e magnetita, sugere elevação da fO_2 nos estágios iniciais de cristalização dessas rochas (Carmichael e Nicholls, 1967; Stephenson e Upton, 1982). Por outro lado, o zoneamento peculiar das placas intersticiais de biotita em outros nefelina sienitos miasquíticos caracteriza também mudanças bruscas nas variações intensivas (fO_2 ou PH_2O).

AGRADECIMENTOS

São devidos principalmente às agências de pesquisa (FINEP, Proc. 3.3.82.0381.00, beneficiário C.B. Gomes) e FAPESP (H.H.G.J. Ulbrich), que deram o apoio financeiro indispensável à realização deste trabalho e às pessoas que colaboraram na sua elaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G., BUSHEE, J., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H. - 1967 - Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 31: 117-142.
- ARTUR, A.C. - 1980 - Rochas metamórficas dos arredores de Itapira, SP. Dissertação de Mestrado, Inst. Geoc., USP: 192 p.
- BJÖRNBERG, A.J.S. - 1959 - Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. *Fac. Fil. Ciênc. Let.*, USP, Bol. 237: 65-122.
- BRANCO, J.J.R. - 1956 - Notas sobre a geologia e petrografia do planalto de Poços de Caldas, MG. *Esc. Eng., Univ. Minas Gerais, Inst. Pesq. Radioativas*, Publ. 5: 72 p.
- BUSHEE, J. - 1974 - *Geology and petrography of the lujaunitite and nearby rocks, Poços de Caldas, Brazil*. Ph.D. thesis, Dept. of Geol. and Geophys., Univ. California, Berkeley: 137 p.
- CARMICHAEL, I.S.E. e NICHOLLS, J. - 1967 - Iron-titanium oxides and oxygen fugacities in volcanic rocks. *J. Geophys. Res.*, 72: 4665-4687.
- CZYGAN, W. - 1969 - Petrographie und alkali-verteilung im foyait der Serra de Monchique, Süd-Portugal. *Neues Jb. Miner. Abh.* 111: 32-73.
- ELLERT, R. - 1959 - Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Fac. Fil. Ciênc. Let.*, USP, 237: 5-63.
- ELLERT, R., BJÖRNBERG, A.J.S. e COUTINHO, J.M.V. - 1959 - Mapa geológico do maciço alcalino de Poços de Caldas, Brasil. Escala 1:75.000. *Fac. Fil. Ciênc. Let.*, USP.
- ERNST, W.G. - 1962 - Synthesis, stability relations and occurrence of riebeckite-arfvedsonite solid solutions. *J. Geol.*, 70: 951-980.
- FLEISHER, M. - 1949 - New mineral names. Pennaite, giannetite. *Amer. Miner.*, 34: 770.
- GOLDSMITH, J.R. e LAVES, F. - 1954 - The microcline-sanidine stability relations. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 5: 1-19.
- GUIMARÃES, D. - 1948 - Os depósitos zincoferos do Planalto de Poços de Caldas e o geoquimismo do Zr. *Inst. Tecnol. Ind.*, Bol. 6: 3-40.
- HAMILTON, D.L. - 1961 - Nephelines as crystallization temperature indicators. *J. Geol.*, 69: 321-329.
- HAMILTON, D.L. e MACKENZIE, W.S. - 1960 - Nepheline solid solution in the system $NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - SiO_2 . *J. Petrol.*, 1: 56-72.
- JOHANNSEN, A. - 1931 - A descriptive petrography of the igneous rocks. Vol. I - Introduction, textures, classifications and glossary. Univ. Chicago Press, Chicago, 318 p.
- KOGARKO, L.N. e ROMANCHEV, B.P. - 1977 - Temperature, pressure, redox conditions and mineral equilibria in apgaitic nepheline syenites and apatite-nepheline rocks. Trad. de Geokhimiya, 1977. *Geoch.*

Tabela 1 - Análises químicas por microsonda de feldspatos potássicos e nefelinas de alguns nefelina sienitos de Poços de Caldas

a - zonas com teores diferentes de Fe_2O_3
b - Fe (total) calculado como Fe_2O_3
c - "An" inclui Ca e Sr

Tabela 2 - Análises químicas por microsonda de piroxênios de alguns nefelina sienitos de Poços de Caldas.

| | Lujauritos | | Nefelina Sienitos da Pedreira | | | | | Ne Si manchados | | Ne Si finos | |
|---|------------|-------|-------------------------------|--------|-------------------|--------|-------|-----------------|-------|-------------|--------|
| Amostra | 505 | | 238 | | 452 | | | 540 | | 530 | |
| | centro | borda | centro | borda | zona ^a | bordas | | centro | borda | centro | borda |
| SiO ₂ | 51,2 | 51,8 | 50,1 | 51,5 | 49,0 | 50,2 | 51,2 | 49,1 | 50,3 | 50,8 | 51,2 |
| TiO ₂ | 1,48 | 1,19 | 1,26 | 4,02 | 0,84 | 4,96 | 3,00 | 0,77 | 2,38 | 0,69 | 1,67 |
| Al ₂ O ₃ | 0,79 | 0,80 | 2,45 | 1,28 | 1,10 | 0,93 | 0,65 | 2,58 | 1,08 | 0,94 | 0,76 |
| Fe ₂ O ₃ ^b | 23,6 | 30,2 | 3,28 | 21,2 | 7,94 | 21,8 | 28,6 | 6,52 | 28,0 | 12,9 | 23,4 |
| FeO ^b | 5,31 | | 11,8 | 6,8 | 10,7 | 4,89 | | 5,87 | 1,32 | 11,6 | 7,0 |
| MnO | 0,83 | 0,89 | 1,16 | 0,99 | 2,00 | 1,20 | 2,41 | 1,52 | 2,27 | 1,60 | 1,0 |
| MgO | 1,39 | 0,79 | 8,04 | 0,54 | 6,90 | 0,50 | 0,18 | 11,0 | 0,20 | 2,58 | 0,59 |
| CaO | 4,49 | 0,70 | 19,2 | 3,13 | 18,7 | 3,15 | 0,35 | 20,4 | 0,98 | 11,7 | 4,16 |
| Na ₂ O | 10,3 | 12,7 | 1,90 | 11,3 | 2,10 | 11,5 | 13,1 | 1,32 | 12,37 | 6,32 | 10,40 |
| ZrO ₂ | 0,10 | 0,10 | | | 0,09 | 0,40 | 0,03 | 0,07 | 0,60 | 0,18 | 0,22 |
| Total | 99,49 | 99,17 | 99,19 | 100,76 | 99,37 | 99,53 | 99,52 | 99,15 | 99,50 | 99,31 | 100,40 |
| FeO ^c | 26,5 | 27,2 | 14,7 | 25,9 | 17,9 | 24,5 | 25,7 | 11,7 | 26,5 | 23,2 | 28,1 |
| Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,986 | 1,993 | 1,934 | 1,967 | 1,919 | 1,950 | 1,973 | 1,877 | 1,959 | 2,000 | 1,984 |
| Al ^{IV} | 0,014 | 0,007 | 0,066 | 0,033 | 0,051 | 0,043 | 0,027 | 0,116 | 0,041 | | 0,016 |
| Fe ³⁺ | | | | | 0,030 | 0,008 | | 0,007 | | | |
| Al ^{VI} | 0,022 | 0,029 | 0,045 | 0,025 | | | 0,003 | | 0,009 | 0,044 | 0,019 |
| Ti | 0,043 | 0,034 | 0,037 | 0,116 | 0,025 | 0,145 | 0,087 | 0,022 | 0,070 | 0,020 | 0,049 |
| Fe ³⁺ | 0,689 | 0,875 | 0,095 | 0,621 | 0,204 | 0,628 | 0,828 | 0,181 | 0,820 | 0,382 | 0,683 |
| Fe ²⁺ | 0,172 | | 0,381 | 0,207 | 0,351 | 0,159 | | 0,188 | 0,043 | 0,382 | 0,228 |
| Mn | 0,027 | 0,029 | 0,038 | 0,032 | 0,066 | 0,040 | 0,079 | 0,049 | 0,075 | 0,053 | 0,033 |
| Mg | 0,080 | 0,045 | 0,463 | 0,031 | 0,403 | 0,029 | 0,010 | 0,625 | 0,012 | 0,152 | 0,034 |
| Ca | 0,187 | 0,029 | 0,796 | 0,128 | 0,785 | 0,131 | 0,015 | 0,836 | 0,041 | 0,494 | 0,173 |
| Na | 0,075 | 0,948 | 0,142 | 0,837 | 0,160 | 0,868 | 0,979 | 0,098 | 0,934 | 0,483 | 0,781 |
| Mg | 7,6 | 4,4 | 45,2 | 2,8 | 41,1 | 2,7 | 1,0 | 65,1 | 1,1 | 14,2 | 3,2 |
| Fe ²⁺ +Mn | 18,9 | 2,9 | 40,9 | 21,6 | 42,6 | 18,1 | 7,4 | 24,7 | 11,1 | 40,7 | 24,2 |
| Na | 73,5 | 92,7 | 13,9 | 75,6 | 16,3 | 79,2 | 91,6 | 10,2 | 87,8 | 45,1 | 72,6 |

a - início da "zona de transição", amostra com poucos núcleos pequenos de soda-augita.

b - Fe₂O₃ e FeO calculados por meio de programa SILCAL (Ulbrich e Ulbrich, 1982).

c - Fe (total) calculado como FeO.

Tabela 3 - Análises químicas por microsonda de biotitas e anfibólios de alguns nefelina sienitos de Poços de Caldas

| Amostra | Biotita | | | Anfibólio | | |
|--------------------------------|--|-----------------------|-------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | Nefelina Sienitos cinzas do Anel Norte | | | Lujaurito | | Ne Si com eudialita do Serrote |
| | zona ^a 222 | zona ^a 131 | | zona ^a 46 | zona ^a 159 | |
| SiO ₂ | 44,5 | 40,3 | 35,6 | 52,6 | 54,1 | 52,7 |
| TiO ₂ | 2,65 | 2,77 | 4,06 | 0,70 | 0,46 | 0,58 |
| Al ₂ O ₃ | 8,75 | 8,97 | 8,65 | 0,77 | 0,58 | 1,04 |
| FeO ^b | 10,4 | 16,9 | 30,7 | 17,6 | 12,9 | 17,3 |
| MnO | 3,60 | 5,02 | 3,34 | 5,26 | 5,94 | 2,98 |
| MgO | 14,4 | 11,2 | 3,53 | 8,31 | 11,0 | 10,2 |
| CaO | 0,07 | 0,08 | 0,05 | 0,96 | 0,70 | 1,92 |
| Na ₂ O | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 7,23 | 7,05 | 6,21 |
| K ₂ O | 10,02 | 9,87 | 9,11 | 2,82 | 3,64 | 3,07 |
| F | 2,25 | 1,32 | 0,20 | 1,61 | 1,93 | 1,53 |
| Total | 96,71 | 96,53 | 95,27 | 97,86 | 93,30 | 97,53 |
| O≡F | -0,94 | -0,55 | -0,08 | -0,68 | -0,81 | -0,64 |
| Fórmula estrutural | | | | | | |
| | na base de 22 oxigênios | | | na base de 23 oxigênios | | |
| Si | 6,605 | 6,238 | 5,918 | 8,114 | 8,187 | 8,062 |
| Al | 1,395 | 1,635 | 1,697 | | | |
| Al | 0,134 | | | 0,140 | 0,104 | 0,188 |
| Ti | 0,295 | 0,322 | 0,508 | 0,082 | 0,052 | 0,067 |
| Fe | 1,292 | 2,192 | 4,275 | 2,277 | 1,627 | 2,218 |
| Mn | 0,452 | 0,658 | 0,471 | 0,688 | 0,761 | 0,386 |
| Mg | 3,193 | 2,573 | 0,876 | 1,913 | 2,480 | 2,321 |
| Ca | 0,011 | 0,013 | 0,009 | 0,158 | 0,113 | 0,315 |
| Na | 0,019 | 0,031 | 0,011 | 2,164 | 2,068 | 1,845 |
| K | 1,896 | 1,948 | 1,935 | 0,556 | 0,703 | 0,600 |
| Fe+Mn | 0,35 | 0,53 | 0,84 | | | |
| Fe+Mn+Mg | | | | | | |

a - cristais zonados (ver texto)

b - Fe (total) calculado como FeO

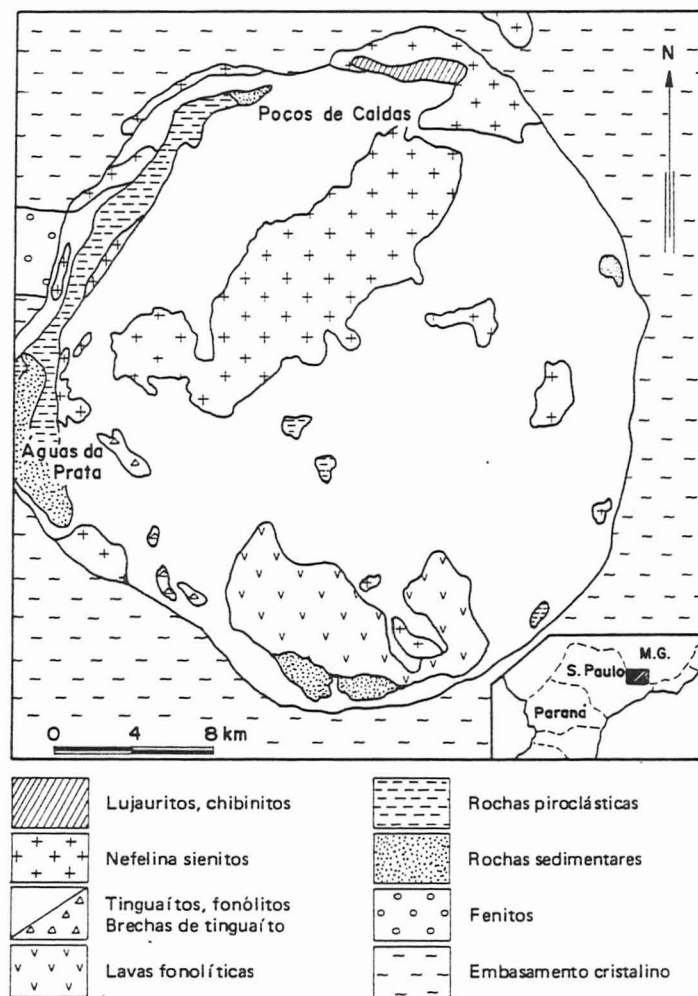


Fig. 1 - Mapa do maciço alcalino de Poços de Caldas (Ellert *et al.*, 1959), simplificado.

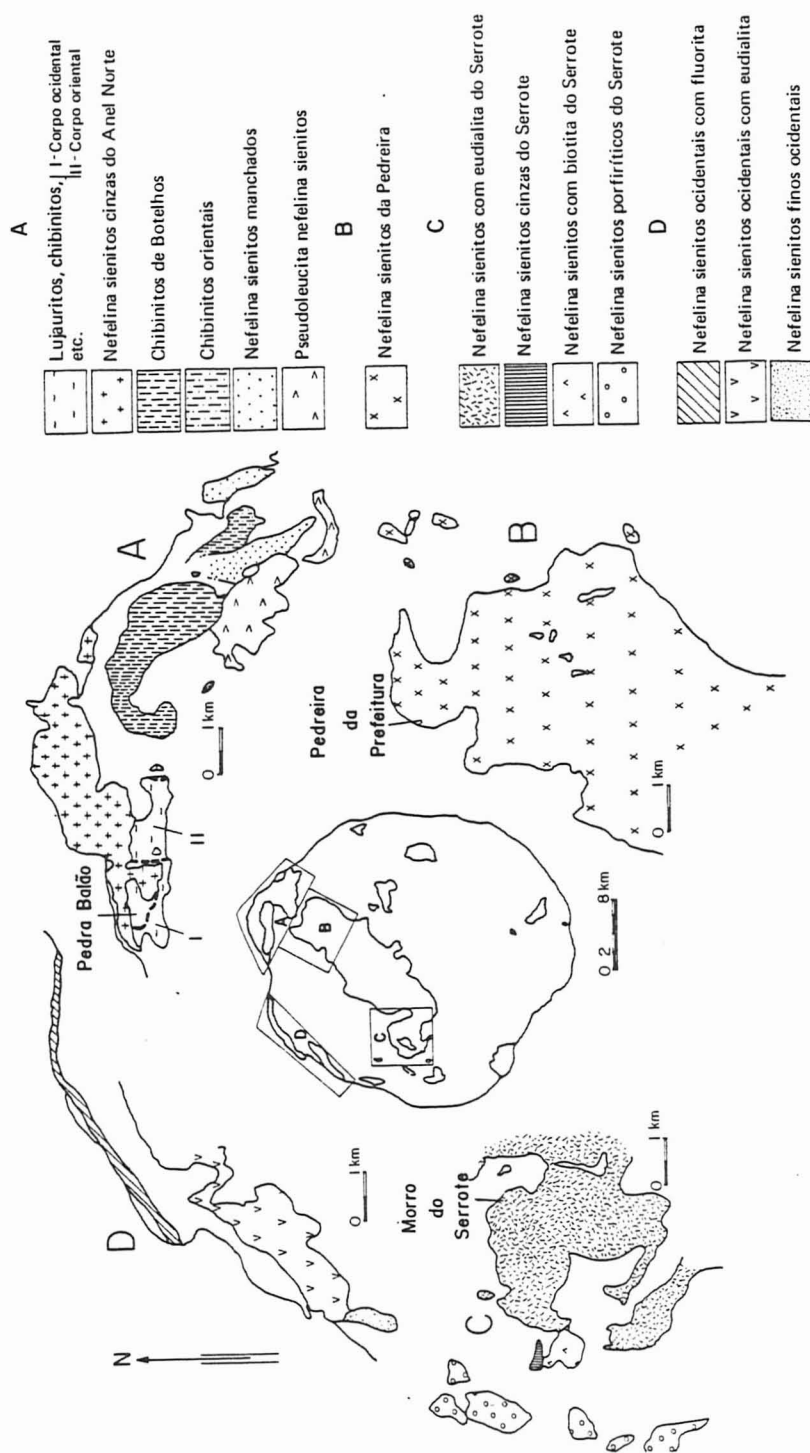


Fig. 2 - Geologia dos corpos de nefelina sienitos (H.H. Ulbrich, em preparação). As quatro áreas estudadas aparecem ampliadas separadamente. O mapa base central é o de Ellert *et al.* (1959).