

Congresso Brasileiro de Geologia, 28, 1974,
Porto Alegre. Anais.

O PRÉ-CAMBRIANO DO VALE DO RIO DOCE COMO FONTE ALIMENTADORA DE SEDIMENTOS COSTEIROS

JOSÉ MOACYR VIANNA COUTINHO*

ABSTRACT

In this work, macro and microscopic samples of pre-cambrian rocks of the Rio Doce valley are studied. The research intended to disclose the minerals potentially contributing to heavy fractions of tertiary and recent sediments.

Two large provinces are recognised. The east province is composed by kinzigites and smaller areas of charnockite, grafite, granodioritic gneiss, quartzite, calc-silicate rock and a few basaltic and noritic intrusions. The west province includes several types of biotite gneiss plus remains of ecinites, granite, granodiorite, tonalite, cut by a multitude of pegmatites.

In the kinzigitic province there are larger than average amounts of cordierite, garnet, orthoclase, orthopyroxene, antiperite, sillimanite which are now being added to sediments. In the biotite gneiss province, possible relevant contributors are: epidote, microcline, muscovite, plagioclase, sphene and tourmaline.

Additional attention is paid to clinopyroxenes, hypersthene, hornblende and tourmaline, in view of their importance as components of heavy residue in sediments today.

OBJETIVO

Neste trabalho apresentam-se os resultados dos estudos macro e microscópicos de todas as amostras do Cristalino pré-cambriano coletadas em janeiro de 1972 no vale do Rio Doce, entre Linhares, ES e Governador Valadares, MG.

O estudo objetivou caracterizar o Cristalino da bacia daquele rio como fonte de sedimentos costeiros. Tendo em vista este fim, e dentro das limitações impostas por amostragem necessariamente esparsa e escassa, procurou-se tanto quanto possível reconhecer os tipos litológicos dominantes, sua petrografia, mineralogia e, especialmente, os minerais potencialmente contribuintes à fração pesada de sedimentos.

TRABALHOS EFETUADOS

Foram percorridos, em veículo, 1740 km, dos quais 800 km somente em terrenos pré-cambrianos, ao longo de estradas ligando as cidades de Linhares, Bananal, Nova Venécia, São Gabriel, São Domingos, Água Branca, Barra de São Francisco, Mantena, Central, Divino, Governador Valadares, Galiléia, Conselheiro Pena, Resplendor, Itueta, Aimorés, Baixo Guandu, Itapina, Ângelo Frechiani, Colatina, João Neiva e Guaraná. A densidade de observações se aproximou de 1 para 4 km percorridos.

* IG/USP

Recolheram-se 168 amostras de rochas, das quais confeccionaram-se 69 seções delgadas e 56 preparados de rocha moída e peneirada.

21 outras amostras foram estudadas à lupa e 22 restantes não foram examinadas por motivos diversos (alterações, duplicatas, etc).

As análises modais das 146 amostras estudadas, encontram-se em Tabela anexa.

RESULTADOS OBTIDOS

Geologia. Grau de Metamorfismo. Estruturas. Morfologia.

O Pré-cambriano da área percorrida estende-se por uma faixa de 200 km na direção E-W. A leste é recoberto por sedimentos terciários da Formação Barreiras que, por sua vez, junto à costa, dão lugar às areias recentes praianas e deltaicas do Rio Doce. Desta maneira, os primeiros afloramentos do cristalino distanciam-se em mais de 40 km do Oceano Atlântico, salvo no extremo sul, onde a Formação Barreiras gradualmente se estreita.

O rápido trabalho de reconhecimento geológico permitiu-nos distinguir no Pré-cambriano da região, duas grandes unidades litológicas diferindo entre si, essencialmente no grau de metamorfismo alcançado por seus membros pelíticos.

A primeira unidade, a leste, é formada de kinzigitos (biotita granada gnaisses) ocupando provavelmente mais de 90% da área pré-cambriana do Espírito Santo. A eles se associam: charnockitos, alguns maciços graníticos, lentes de granodiorito gnaissoso, pequenas intrusões noríticas e raras faixas de quartzito. Em termos de metamorfismo, pode-se-lhes atribuir as subfacies mais altas da facies anfíbolítica (zona da sillimanita de Barrow) ou ainda a facies granulítica. Como indicadores citam-se: 1. rochas pelíticas inteiramente feldspatizadas (gnaisses); 2. ausência de microclínio, salvo em rochas cordieríticas; presença de ortoclásio ou ortoclásio microperítico; 3. plagioclásio relativamente cálcico ($\pm \text{An}_{40}$) em todos os kinzigitos normais e charnockitos; 4. em substrato de composição adequada, cristalização de cordierita (kinzigito cordierítico), hiperstênio (kinzigito charnockitoíde e charnockito), escapolita e bytownita-anortita (metaconcreções e rocha calcossilicática); 5. ausência de titanita em charnockitos, kinzigitos, granitos e granodioritos. TiO_2 forma rutilo ou é absorvido em biotita; 6. ausência completa de epidoto.

A segunda unidade, dominando a oeste da divisa Espírito Santo-Minas Gerais, compreende biotita-gnaisses de diversos tipos e restos não granitizados de ectinitos, especialmente micaxistos. Também ocorrem aqui as intrusões graníticas e, micaxistos e gnaisses são recortados por numerosos e às vezes possantes pegmatitos. Não foram encontrados anfíbolitos que estariam ausentes também na unidade kinzigítica. O fato é tanto mais estranhável quando se sabe que os sedimentos recentes derivados são excepcionalmente ricos de hornblenda. Possivelmente ocorrem anfíbolitos em corpos menores e intemperizáveis o que explicaria sua ausência entre as amostras recolhidas. (Todavia, a riqueza de hornblenda entre os pesados de sedimentos recentes e sua ausência nos sedimentos antigos (Barreiras) indicaria que as rochas fonte de hornblenda devem ser procuradas preferencialmente em Cristalino próximo da costa, anteriormente recoberto por Barreiras e atualmente descoberto e erodido. Neste caso, a região fonte de hornblenda é a unidade kinzigítica).

O grau de metamorfismo alcançado na unidade biotita-gnáissica é médio, dentro da facies anfíbolito. Estão ausentes filitos de baixo grau e granulitos ou charnockitos de alto grau, e 1. o feldspato potássico normal é microclínico; 2. os micaxistos se compõem de moscovita e biotita; 3. a granada almandina é comum, embora não abundante, nos representantes pelíticos; 4. ausência de ortopiroxênios e presença de alguma hornblenda em rochas de composição apropriada; 5. presença de titanita e ausência de rutilo; 6. plagioclásios não albiticos (oligoclásio a andesina) acompanhados de epidoto em certos micaxistos e biotita-gnaisses.

Dado o caráter de reconhecimento rápido, pouco se pode adiantar quanto a estruturas e formas de ocorrência. De maneira geral, os kinzigitos normais são gnaisses em que finas e pouco regulares concentrações biotíticas se estendem sinuosas quando não intensamente perturbadas em dobras apertadas. Nestes casos o aspecto migmatítico é claro, acentuado às vezes por plicamentos pitgmáticos. A determinação de atitudes só tem sentido como dado para elaboração estatística. Assim, pode-se afirmar que, na unidade kinzigítica, as atitudes se aproxi-

nam de NNE com mergulhos variáveis, preferencialmente para E.

Já na unidade biotita-gnáissica parece haver mais uniformidade de atitudes em afloramento mas muita heterogeneidade em afloramentos separados. Na região de Governador Valadares observa-se ainda certa homogeneidade em biotita-gnaisses (tonalitos), próximos de NS (N20W a N20E) mergulhando levemente para E, 10 a 15°. A leste de Galiléia as atitudes não se repetem com frequência. Ainda assim haveria tendência de direções próximas a NS com numerosos desvios para NW e EW. Aqui, os mergulhos são fortes, até verticais. Subentende-se a existência de dobras ou falhas expressivas. Um exame de fotos aéreas e levantamento em pequena escala devem revelar feições estruturais de interesse.

A morfologia nas duas unidades pré-cambrianas é, tanto quanto a litologia, nitidamente contrastante. Os kinzigitos do Espírito Santo afloram frequentemente em gigantescos morros tipo Pão de Açúcar, elevando-se a mais de 200 ou 300 m sobre uma região, de outro modo, ondulada. Alguns daqueles monolitos são quase inteiramente desprovidos de vegetação, outros são denudados apenas em faces de escarpamento mais abrupto. Em certas áreas, um represamento distante permitiu o aluvionamento de vales entre os altos morros, imprimindo características morfológicas distintas na região. Talvez por efeito da morfologia muito acidentada, o manto de intemperismo no vale do Rio Doce capixaba, não é profundo. São freqüentes os matacões de rocha fresca. Alguns se apresentam profundamente canelurados no sentido do escoamento de água pluvial. O interessante fenômeno se acha relacionado à estrutura da rocha. Assim, observou-se que rochas estruturalmente isotropas como, granitos, granodioritos, noritos, fornecem matacões canelurados. Contrariamente, kinzigitos, biotita gnaisses e charnockitos, todos estruturalmente anisotrópos, durante o intemperismo decompõem-se, desintegram-se ou esfoliam-se e seus matacões são irregulares, elipsóidicos ou redondos, isentos de caneluras. Certamente a caneluração independe da susceptibilidade da rocha à dissolução pois, rochas díspares neste aspecto (granitos e noritos) apresentam-na no mesmo grau ao passo que outras, mineralógica e quimicamente equivalentes (granitos e biotita gnaisses) se comportam de maneira antagônica.

A unidade biotita gnáissica de Minas Gerais é, geomorfologicamente, bem diferente. Os grandes monolitos são raros e os escarpamentos mais importantes parecem se ligar a linhas de rejuvenescimento erosional possivelmente ativado por falhamentos. No restante, a região mostra morros irregulares ou em meia laranja, recobertos por profundos solos vermelhos. A litologia diferente dos 2 estados pode ter, de certo modo, condicionado as feições morfológicas e pedológicas atuais. Em Minas Gerais as rochas dominantes são biotita gnaisses e micaxistos ricos de minerais máficos (biotita) os últimos, e com alto teor de andesina, os primeiros. Tais rochas, se comparadas aos kinzigitos e charnockitos capixabas, são estrutural e mineralogicamente bem menos resistentes ao intemperismo o que explicaria, em parte, a formação de topografia mais abrandada e solos vermelhos profundos.

Petrografia

Kinzigito (biotita granada gnaisse)

Os kinzigitos, litologia dominante na bacia do Rio Doce no Espírito Santo, constituem os primeiros afloramentos a oeste da linha da costa, emergindo de baixo dos sedimentos Barreiras. As últimas exposições a oeste, situam-se no limite do Estado de Minas Gerais. A orientação geral estatística e os perfis percorridos indicam um corpo contínuo no rumo NS. Assim, o Pré-cambriano capixaba pode ser definido como uma faixa de kinzigitos de 60 km de largura estendendo-se paralelamente à costa.

Os kinzigitos apresentam numerosas variações mineralógicas e texturais. O tipo dominante é uma rocha cinza claro, migmatítica. São encontradas as formas nebulíticas ou bandadas (epibolito) nas quais, camadas neossomáticas quartzo-feldspáticas se intercalam a paleossoma biotítico em bandas mais finas irregulares e interrompidas. O dobramento pode ser brando ou apertado. Dobras ptigmáticas são também encontradas, especialmente em algumas das numerosas e delgadas venulações pegmatíticas que recortam ou se intercalam nos kinzigitos.

Mineralogicamente a rocha se distingue pela presença relativamente abundante de biotita e granada, associadas a quartzo e feldspatos. A granada é especialmente característica de kinzigitos. Destacando-se pela cor vermelha, abundância, e tamanho individual, emprestam

grande beleza e muitos afloramentos.

Microscopicamente os kinzigitos exibem invariavelmente textura granoblástica xenoblástica. Em particularizações micáceas a textura é lepidoblástica. A granulação é média ou grossa.

O quartzo, macroscopicamente cinza vítreo, ao microscópio forma cristais espalhados xenomórficos, arredondados ou amebóides, parecendo corroer feldspatos.

Dos feldspatos, macroscopicamente brancos ou cinza claros, o plagioclásio é certamente o mais abundante, conferindo ao kinzigito normal um caráter quartzo-diorítico. Forma cristais límpidos e bem geminados segundo a lei da Albita e raramente segundo a do Periclinio. A variação encontrada para An em diversas lâminas ou num mesmo cristal (zonas), é pequena; An₃₂₋₄₂ com moda em An₃₈, andesina. Em parte das amostras é antipertítico. A associação mirmequítica é rara e restrita a contatos com feldspato potássico. O feldspato potássico geralmente se resume à antipertita e a pequenos grãos intersticiais de ortoclásio. Adquire maior importância volumétrica em camadas mais leucocráticas da rocha, especialmente nas pegmatóides. Nestes casos é sempre um ortoclásio intensamente pertítico (pertita em lentes finas ou *cabelos*).

A biotita, macroscopicamente preta, forma lâminas concentradas em camadas ou homogeneamente dispersa na rocha. Trata-se de uma biotita microscopicamente parda avermelhada até alaranjada. Biaxial 2V = 0-5°, Ng = 1,64-1,65.

A granada aparece constantemente, em cristais milimétricos ou centimétricos, tanto nas camadas leucocráticas como nas biotíticas. Sua percentagem modal é variável mas a média para kinzigitos aproxima-se de 3,5%. O mineral, macroscopicamente vermelho, é incolor em lâmina, onde aparece como porfiroblastos peciloblásticos, ricos de inclusões de quartzo. Altera-se em clorita ou biotita verde ao longo de fraturas e na periferia. A associação mineral é N = 1,79-1,80 demonstram que a granada contém alto teor de molécula férica: almandina.

Dos minerais acessórios, os mais freqüentes são; apatita, zircão e opacos (ilmenita, magnetita, grafita). Seus cristais são em geral muito pequenos, esparsos e chegam a faltar completamente em vários preparados.

Foram registrados os seguintes minerais de alteração deutérica: clorita sericita, carbonatos, rutilo, pirlita e leucoxênio.

Outros minerais acidentalmente presentes em quantidade apreciáveis serão descritos adiante.

Variedades de kinzigito

a - kinzigito hololeucocrático - Em uma faixa NS, provavelmente em contato com charnockitos grosseiros a W, ocorrem, entre S. Gabriel e Colatina, diferenciações leucocráticas de kinzigito. Alguns tipos, especialmente entre S. Domingos e Angelo Frechiani, são tão claros que julgamos acertado adjetivá-los de hololeucocráticos. As superfícies em afloramento fresco são inteiramente brancas, salvo pela presença de granadas vermelhas em distribuição rarefeita. A ocorrência deste mineral e mais, a natureza dos feldspatos e existência de rochas intermediárias relacionáveis no campo, apontam para os hololeucocráticos uma derivação comum com kinzigitos, dos quais se diferenciariam pela quase ausência de Ca, Fe e Mg. Caber-lhe-iam igualmente bem as denominações de leptito e granulito ácido.

A descrição microscópica destas rochas é idêntica à dos kinzigitos normais, ressalvadas a presença de ortoclásio micropertítico em quantidades muito superiores, escassez de plagioclásio parcialmente sericitizado (oligoclásio An₁₀₋₃₀), tamanho pequeno e raridade de granadas e ausência de biotita.

b - kinzigitos leucocráticos - São rochas muito claras que ocorrem misturadas aos kinzigitos hololeucocráticos na mesma faixa atrás descrita. Exibem textura e mineralogia idênticas às anteriores com as modificações impostas pelo aumento do teor de Ca, Mg e Fe. Forma-se pequena quantidade de biotita pardo avermelhada (ao microscópio), aumentam as quantidades de granada e de plagioclásio (oligoclásio-andesina An₂₀₋₄₀) intermediário em An e teor modal, entre kinzigitos normais e hololeucocráticos.

Uma pedra em Nova Venécia é lavrada em kinzigito hololeucocrático e leucocrático contendo lentes e restos esfarrapados paleossomáticos de kinzigito charnockitóide. Aqui, é aparente uma relação *consanguínea* entre rochas claras e escuras. Provavelmente os horizontes leuco e hololeucocráticos representam frações muito enriquecidas de elementos sílicos extraídos

de substrato kinzigítico escuro. Estes, aqui e ali ainda resistem como paleossomas não digeridos (restitos).

c - kinzigito granitóide - Assim foram chamadas rochas grosseiras com composição mineral idêntica à de kinzigitos normais migmatíticos, ocorrendo em áreas espalhadas da faixa. Tanto quanto os kinzigitos normais, ou ainda mais que estes, sua composição se aproxima da de um quartzo diorito (alto teor de plagioclásio andesina em relação a feldspatos potássicos). O adjetivo escolhido apenas refere a estrutura ou aparência macroscópica de granitos. Efetivamente, nos kinzigitos granitóides não existem os leitos migmatíticos. As placas de biotita, muito comuns, se espalham homogeneamente pelo corpo rochoso e lhe imprimem (quando isorientadas) a feição de granito gnaissoso ou ainda, (quando em distribuição caótica) a de verdadeiros granitos.

Salvo pela estrutura, todas as demais feições mineralógicas e textuais dos kinzigitos normais se repetem nos granitóides.

d - kinzigito cordierítico - Kinzigitos contendo cordierita ocorrem freqüentemente no interior do corpo kinzigítico regional mas tendem a passar desapercibidos em razão da notável semelhança macroscópica de quartzo com cordierita. Ocasionalmente formam corpos possantes permitindo a lavra de pedreiras, caso das ocorrências a leste de Nova Venécia e na margem leste da Lagoa de Juparanã. Dada a posição destes 2 pontos, é de se supor que a parte oriental da unidade kinzigítica componha um nível mais argiloso da antiga seqüência sedimentar.

Por outro lado, são relativamente comuns os afloramentos cordieríticos no restante da unidade kinzigítica, mas sempre em camadas ou lentes relativamente finas. No campo sua identificação é difícil: de modo geral o kinzigito cordierítico é mais escuro que o normal, em média um cinza bastante parecido com o dos kinzigitos charnockitóides. Por vezes também, um kinzigito de aparência normal pode conter cordierita, denunciada pela presença de *quartzo* azulado ou esverdeado. De fato, os tons cinza azulados ou esverdeados de cordierita e de alguns quartzos charnockíticos, se equivalem. Além destas, a cordierita também apresenta ocasionalmente as cores; violeta, branco, fosco, cinza puro e pode ainda ser incolor, aparências também muito conhecidas em quartzo.

Nos corpos cordieríticos maiores foi possível verificar estruturas periféricas de corrosão tanto nos grãos como em agregados cordieríticos. É provável que, da mesma forma que nos charnockitóides, os kinzigitos cordieríticos, instabilizados na massa migmatítica regional, funcionem como restitos paleossomáticos em vias de digestão e desaparecimento.

Os kinzigitos cordieríticos, normalmente pardos e cinzentos, podem ocorrer em cores pardo clara ou média (Nova Venécia) ou cinza azulado (Juparanã). São sempre bem orientados por gnaissificação devida a micas ou lentes cordieríticas. A granulação é média, perceptivelmente mais fina que a de kinzigitos normais. Destes ainda diferem pelas seguintes características evidenciadas ao microscópio; pobreza de quartzo, que chega a faltar nas camadas milimétricas mais ricas de cordierita; feldspato potássico geralmente abundante (ortoclásio ou microclínio de baixa triclinicidade); plagioclásio (oligoclásio ou andesina sódica) relativamente raro; granada almandina, componente habitual de pequenas ocorrências, pode se restringir apenas a faixas pegmatóides nos corpos maiores de Nova Venécia e Juparanã; biotita, em tons pardo alaranjado ou vermelho muito vivo se concentra em particularizações xistosas ou se distribui escassamente pelo corpo.

Os cristais de cordierita geralmente se agrupam em formas lenticulares ou camadas. Quando macroscopicamente azuis ou violetas, os grãos são frescos e com poucas inclusões. Finas camadas periféricas de alteração pinítica devem conferir cor verde ao mineral macroscópico. A cor cinza parece se relacionar à formação, internamente, de substância de alteração, amorfa (opala?), observada ao microscópio entrando no cristal em linhas ou tubos curvos. A cor branco-opaca identifica cordieritas de agregados finos ou de cristais maiores cravejados de inclusões, das quais, as mais abundantes são pequenos prismas de sillimanita reunidos em ondas sinuosas. Outras inclusões podem ser de zircão, fornecendo ou não, halos pleocróicos amarelos, grafita, ilmenita, etc.

Dos acessórios, foram encontrados, embora dispersos e em grãos pequenos: zircão, grafita, ilmenita, rutilo, sulfetos. A apatita geralmente falta por completo. A magnetita forma localmente importantes concentrações, especialmente nas ocorrências de Nova Venécia e Juparanã. Trata-se provavelmente de variedade aluminosa e magnésiana como atestam freqüentes associações (ex-solução?) íntimas, ou inclusões de: espinélio verde, córindon incolor e hoegbomita parda.

São comuns os intercrescimentos periféricos entre diversos minerais: cordierita + quartzo; plagioclásio + quartzo; cordierita + ortoclásio; biotita + quartzo.

e - kinzigitos charnockitídeos - Assim foram denominadas rochas cinzentos-esverdeadas, granulação média e estrutura gnaissosa em evidência variável. A espessura dos corpos oscila entre centímetros até, talvez, dezenas de m. Formam provavelmente lentes e são encontradas intercaladas em kinzigito migmatítico normal, espalhadas por toda a área kinzigítica, especialmente em sua parte oriental.

Dada a forma de ocorrência, presença de biotita e certas feições microscópicas (como alterações retrógradas de hiperstênio), acredita-se que os kinzigitos charnockitídeos representem restitos paleossomáticos ainda não totalmente digeridos no migmatito kinzigítico regional.

A rocha é mineralógica e texturalmente semelhante aos kinzigitos regionais. Anotaram-se as seguintes peculiaridades: quartzo arredondado e amebóide, macroscopicamente verde ou azul em alguns locais. O plagioclásio, habitualmente anti-peritítico, é uma andesina cálcica (An₃₈₋₅₀) por vezes com zonas internas labradoríticas. Prepondera inteiramente entre os feldspatos, motivo pelo qual seria correto classificar tais rochas como enderbitos. Biotita e granada, relativamente abundantes, com as mesmas características microscópicas observadas em Kinzigitos normais. O ortopiroxênio é um hiperstênio pleocróico ($2V(-) = 60^\circ$, $N_g = 1,715$), formando grãos equidimensionais esparsos e, variavelmente alterados em minerais secundários, biotíticos serpentinosos e carbonáticos.

Os acessórios incluem a apatita, quase sempre abundante, e magnetita. Zircão pode faltar ou formar cristais raros e pequenos, inclusos em biotita. Pirita e grafita são ocasionais.

Em relação ao que chamamos charnockitos normais, e através do estudo microscópico, nota-se que os kinzigitos charnockitídeos devem ser calco-ferromagnesianos enquanto os primeiros seriam mais silico-alcalinos (mais ferruginosos também na fração de máficos). Considerados como membros de família magmática, os kinzigitos charnockitídeos seriam menos, e os charnockitos mais, diferenciados.

Charnockito (grossoiro)

A partir de duas secções inferiu-se a ocorrência de uma faixa com vários km de espessura, correndo NS desde Barra de S. Francisco até Itapina, formada exclusivamente de rochas extremamente grosseiras (cristais centimétricos). Quando fresca exhibe cor verde médio a escuro, raramente cinzento puro. A forma de ocorrência, características morfológicas e presença de hiperstênio (var. ferrohiperstênio ou eulita) modal permite classificar tais rochas como charnockitos, *sensu strictu* (Heinrich).

Tais rochas são aqui descritas como sub-unidade, destacada dos chamados kinzigitos charnockitídeos, por constituírem um grande corpo relativamente uniforme em textura e composição. Em relação aos últimos, são muito mais grosseiros (raras sombras mais finas) e mostram tonalidades verdes mais acentuadas. Em afloramento, são bastante homogêneos não tendo sido possível verificar transições para kinzigitos típicos. Em um afloramento observa-se passagem para rochas regionais através de tipos gnaissicos grosseiros gradualmente mais claros (até róseo) e menos ricos de hiperstênio. Este, altera-se em agregados serpentinosos e desaparece.

Também ao microscópio é possível verificar certas diferenças com os kinzigitos charnockitídeos. A maior dessas é a escassez ou ausência de granada. A biotita, (pardo em geral esverdeado, $N_g = 1,670-1,685$), outro mineral característico de kinzigitos, ainda comparece discretamente, conferindo caráter gnaissico aos charnockitos do perfil norte. Entretanto praticamente desaparece no perfil sul, onde a leve gnaissificação é provocada por isorientação de feldspatos maiores ou por concentrações alongadas de minerais máficos (hornblenda, ortopiroxênio). Nos charnockitos grosseiros ainda aumentam substancialmente as quantidades modais de feldspato potássico, os quais constituem cristais mais avantajados em tamanho (até 10 cm em uma exposição). Nos charnockitos do norte o feldspato potássico é um ortoclásio micropertítico localmente - em bordas, inclusões, fraturas-desenvolvendo geminação gradeada: o microclínio podendo também aparecer em discretos cristais isolados intersticiais. Sendo as rochas microclínicas também biotíticas, sugere-se que as mesmas só encontradas ao norte, estiveram sujeitas às deformações e atividades metassomatizantes potássicas de uma fase tardia de metamorfismo.

No perfil sul o feldspato é inteiramente ortoclásio micropertítico (*cabelos*), não se observando quase biotita.

O plagioclásio, sempre anti-peritítico, é menos abundante e mais sódico (An₃₂₋₄₀) que o dos kinzigitos charnockitídeos. Apenas em uma amostra mostrou-se nitidamente em quantidades superiores ao ortoclásio e conferindo à rocha um caráter enderbítico.

Quartzo aparece em grão arredondados ou amebóides como em kinzigitos.

Hornblenda hastingsítica, verde escura, é freqüente nos charnockitos do sul, onde assume as funções modais da biotita. Os grãos se cristalizam independentemente dos demais máficos.

Alum clinopiroxênio (diopsídico) foi observado em charnockitos do sul. O piroxênio dominante entretanto é ortorômbico, em percentagens modais pequenas. O mineral é relativamente ferroso (ferrohiperstênio) chegando em duas amostras a atingir $N_g = 1,760$, próprio da eulita. Encontra-se freqüentemente alterado parcial ou totalmente em agregados contendo biotita secundária (nontronita?), carbonatos, serpentina.

Atribui-se a cor verde ou cinza esverdeado de grande parte dos charnockitos, à liberação de óxidos de Ferro do ortopiroxênio em alteração. Tais óxidos se mobilizam para interstícios, preenchem-nos e impregnam fraturas e clivagens de quartzo e feldspatos, corando-os macroscopicamente de verde. São comumente observados nestes charnockitos, em lâmina, grãos de quartzo e feldspato atravessados por fraturas sinuosas preenchidas de moscovita e pigmento verde, tanto mais abundantes e tanto mais verdes quanto mais próximos de um ortopiroxênio alterado. É sugestivo também o fato de que são mais verdes as rochas félsicas da faixa charnockítica (especialmente norte) e menos verdes (mais cinzentas) as amostras de kinzigito charnockitídeo, mais básico. Nasquelas o ortopiroxênio (eulita) é bem mais ferroso que nos últimos, onde o ortopiroxênio é hiperstênio.

Apatita e magnetita são acessórios freqüentes. Zircão é mais raro.

Granodiorito gnaissoso

Foram assim denominados alguns corpos de rocha aparentemente intrusiva sintectônica, muito homogênea em visão macro e microscópica. Afloramentos separados por dezenas de km, são muito parecidos. Encontram-se exclusivamente dentro da unidade kinzigítica e parecem constituir corpos lensóides, mais concentrados na borda leste da mesma. Os corpos não parecem muito grandes; seus afloramentos não persistem por mais de uma ou duas centenas de metros na direção do *trend* regional.

São rochas macroscopicamente cinzentas, de granulação média, recortadas por pegmatitos de cor creme e aparência sienítica (pouco quartzo). A gnaissificação é vaga, planar ou linear, imprimida por biotitas e hornblendas suborientadas e separadas.

Apesar de sua distribuição geográfica, os granodiorito-gnaisses não mostram afinidades com kinzigitos, dos pontos de vista estrutural, textural e mineralógico. Não se exclui porém a possibilidade de uma derivação contemporânea, talvez antigos horizontes margosos bem diferenciados na coluna sedimentar. A possibilidade de intrusões ígneas granodioríticas é mais favorecida pela petrografia mas não explica a forma, relacionamento paralelo e a distribuição preferencial dos corpos em determinados horizontes, exclusivamente na unidade kinzigítica.

A textura da rocha é equigranular parecendo metamórfica (granolepidoblástica).

Entre os feldspatos, o plagioclásio aparece em quantidades equivalentes ou pouco superiores às de feldspato potássico. O plagioclásio (andesina An₃₀₋₄₀), aparece em grãos frescos, geminados em Ab ou Ab-Cb, algo sericitizados. O ortoclásio é normal, raramente peritítico. A biotita é pardo suja esverdeada. A hornblenda é possivelmente uma femagstingsita (X amarelo, Y verde pardacento, Z verde: $2V_x = 60^\circ$; $Z/c = 14^\circ$, $N_z = 1,695$, $N_z - N_x = 0,015-0,020$). Altera-se retrometamórficamente em biotita e, hidrotermalmente em carbonatos, clorita, anfibólio roxo, etc. Dos acessórios, os mais comuns são apatita e magnetita (com sulfetos). Zircão é raro. Allanita registrada por vezes. Granada é muito rara, vista em cristais esparsos em apenas um afloramento.

Granitos, Adamellitos, Granodioritos

Formam um grupo de rochas claras, com estrutura isótropa ou levemente orientada

por gnaissificação incipiente e composição variável entre granitos alaskíticos e granodioritos. Parecem corresponder a intrusões tarditectônicas e formam, na unidade kinzigítica, por vezes, grandes monolitos tipo *Pão de Açúcar*, da mesma forma que os kinzigitos migmatíticos. Com exceção dos alaskitos, foram também encontrados intrusivos na sequência biotita gnaissica de Minas Gerais.

Diferenciaram-se no campo os seguintes tipos: biotita-granito porfiróide, biotita-granito equigranular gnaissoso, granito leucocrático (creme) grosseiro e granito alaskítico róseo. Ao microscópio parte é tipicamente adamelítica.

A textura na maioria é caracteristicamente hipidiomórfica granular mas em alguns observou-se maior similaridade com a granoblástica xenomórfica de kinzigitos.

O quartzo é arredondado ou intersticial xenomórfico. O feldspato potássico é normalmente um microclínio *high*, em alaskito e em intrusões dentro ou próximas da unidade biotita-gnaissica. Em tipos comuns da unidade kinzigítica parece predominar ortoclásio. A pertita fina é rara; ou está ausente ou aparece em manchas. O plagioclásio é geralmente oligoclásio ou andesina (observados desde An₇ até An₃₅), bastante sericitizados. Os máficos compreendem biotita pardo suja ou alaranjada, parcialmente cloritizada. Hornblenda (Mg- ou Fe-hastingsita) é muito rara, bem como a granada. Alguns granitos contêm moscovita. Os acessórios compreendem; apatita, zircão, ilmenita, magnetita e allanita.

Noritos

Foram encontrados 2 pequenos corpos intrusivos deste tipo de rocha. Um deles, em Baunilha, SE de Colatina, faz contatos com kinzigito e é parcialmente recoberto por sedimentos, não se conhecendo sua forma no plano horizontal. O segundo, aflora em depressão circular, ao norte de Baixo Guandu, rodeado de altos morros biotito-gnaissicos e kinzigíticos.

As amostras exibem geralmente cor cinza ou cinza pardacenta, granulacão grosseira e feldspatos em placas cinzentas ou pardas. Placas maiores e brilhantes são de biotita. Alguns afloramentos em Baixo Guandu, de rocha mais diferenciada são pardo esverdeados.

A textura é hipidiomórfica granular, tendendo à subofítica traquitóide.

O plagioclásio em ripas grossas é intensamente geminado em Ab, Ab-Cb, periclínio e Manebach. Trata-se de labradorita An₅₀₋₆₀. O piroxênio comum em Baunilha é um hiperstênio apresentando internamente plaquetas pardas. Parte menor é formada por augita em cristais grandes ou pequenos, parecendo substituir hiperstênio nas bordas. Em Baixo Guandu, no tipo normal, o hiperstênio forma poucos cristais maiores que incluem olivina. Em geral faz parte de intercrescimentos e coroas de reação. No tipo diferenciado forma prismas grossos algo arredondados ex-solvendo internamente fitas de augita ou pigeonita. A augita, no tipo normal forma cristais grandes, ramificados e intersticiais, contendo às vezes, plaquetas pardas; no tipo diferenciado, só ocorre em cristais minúsculos, intercrescida ou misturada com quartzo. Olivina (2V_x = 80°), levemente alterada em serpentina e cercada por minerais de reação ocorre apenas no tipo não diferenciado de Baixo Guandu. A biotita, forma em todas as amostras examinadas, placas maiores de cor macroscópica pardo laranja vivo. Normalmente é poiquilítica. Apatita e magnetita, por vezes ramificados e intersticiais são acessórios comuns. Pirita ocorre raramente. Quartzo aparece por vezes intersticialmente em quantidades mínimas ou intercrescido com biotita em bordas de reação.

Biotita gnaiss

Foram denominados biotita gnaisses quaisquer tipos litológicos bem orientados por acamamento migmatítico ou gnaissificação uniforme e, caracterizados pela associação quartzo-feldspato-biotita, com pouca ou nenhuma granada.

É este o tipo litológico predominante na bacia do Rio Doce em Minas Gerais desde Governador Valadares até a divisa com o Espírito Santo. Neste Estado a rocha é muito rara havendo porém a possibilidade de se classificar como biotita gnaisses certos kinzigitos menos ricos de granada ou certos granitos gnaissificados.

Os pegmatitos, por vezes possantes (mais de 10 m) recortam o corpo biotito-gnaissico, freqüentemente de maneira discordante, verticais ou inclinados e sinuosos.

Como migmatito é uma rocha cinzenta, rica de camadas paleossomáticas biotíticas,

intercaladas com neossoma leucocrático quartzo feldspático. Tipos não migmatíticos incluem principalmente biotita gnaisses tonalíticos de aparência grauváquica, abundantes na região imediatamente a leste de Governador Valadares.

Sua textura é granolepidoblástica e a mineralogia é simples, composta essencialmente de quartzo, feldspato e biotita.

O quartzo é componente obrigatório, em grãos arredondados. Em uma amostra (156), aparece em corpos poligonais, juntamente com feldspatos idem.

O feldspato potássico é normalmente um microclínio pouco pertítico, mas pode ocorrer como ortoclásio pertítico em rochas próximas ou dentro da unidade kinzigítica. É abundante nas camadas claras de biotita gnaiss migmatítico e ausente no biotita gnaiss tonalítico.

O plagioclásio nos tipos migmatíticos é comumente um oligoclásio-andesina (An₂₈) com variação possível de An₁₂₋₃₈. Já nos tipos tonalíticos é andesina, em média An₄₆, variando entre An₃₆ e An₅₂, com poucas mas nitidas traves de geminação e restrito zoneamento.

A biotita não apresenta os tons avermelhados de kinzigitos, sendo comuns as tonalidades pardo escuro, amarelado ou esverdeado (Ng = 1,650).

Moscovita e granada são minerais encontrados acidentalmente, em especial no tipos não tonalíticos, esta mais rara que aquela. Já a hornblenda comum verde (Ng = 1,680-1,695) é mineral freqüente, em quantidades pequenas, em qualquer tipo.

Epidoto, allanita, turmalina (em camadas mais biotíticas), apatita, zircão, titanita, rutilo, ilmenita, magnetita e grafita, são acessórios de freqüência variável.

Leucocênio, clorita, pirita são produtos de alteração deutérica.

Micaxisto

Intrusivos em biotita gnaisses, ocorrem uma certa freqüência entre Conselheiro Pena e Colatina, restos não granitizados de extintos micáceos classificáveis como micaxistos. A rocha normalmente lepidoblástica, marcadamente xistosa, com a estrutura ditada por paralelismo de placas micáceas miúdas. Em zonas granitizadas a mica é relativamente grosseira.

Seu componente mais abundante é uma biotita pardo amarelado, acompanhada em geral por certas quantidades de biotita e menores, de quartzo. Foram encontrados porfiroblastos de biotita, granada e clorita (alteração de biotita ?) em uma exposição, e de plagioclásio em outra; nas duas os megacristais se desenvolveram em estágio pós-cinemático. Nas mesmas condições, e em outros afloramentos, é provável a ocorrência de cianita, turmalina, cloritóide ou estauroлита.

Em cristais miúdos, na matriz micácea, foram identificados; turmalina, zircão, ilmenita, grafita, titanita, allanita, apatita, rutilo. Sillimanita em agulhas ou pequenos prismas é hospede habitual de quartzo, biotita ou moscovita. Ocorre também sob a forma de agulhas (fibrolita) semi-divergentes ou convergentes em fusos.

Ortoclásio ou microclínio e plagioclásio sódico são raros ou restritos a finas línguas quartzo-feldspáticas concordantes.

Quartzito

Formam raros e delgados corpos rochosos preferencialmente associados a micaxistos. Um corpo mais possante entretanto, ocorre como cunha (tectônica ?) em plena zona de charnokitos grosseiros, ao norte de Itapina.

Trata-se de uma rocha branca, grosseira, exibindo nitido acamamento e xistosidade incipiente, desenvolvida por moscovita. A rocha é essencialmente quartzo (mais de 90%) e pouca moscovita. Um resíduo pesado de separação da amostra 154, mostrou também; ilmenita, zircão, granada e diopsídio; mais raros; biotita, titanita, hornblenda e turmalina.

Rochas de afloramento em pequena escala

Basalto - Durante a coleta de amostras foi encontrado apenas um dique com 50 cm de espessura, cortando kinzigitos junto ao contato deste com nititos (Baunilha). A associação com pluton básico parece casual pois é problemática sua derivação consanguínea. A mineralogia da rocha de dique nada esclarece.

A amostra é de cor cinza escuro, afanítica, compacta e densa.

A textura é intergranular a intersertal. Dominam, como de hábito, os seguintes componentes; plagioclásios (ripas de labradorita) e piroxênios (grânulos de augita). Há grande quantidade de ilmenita (+magnetita ?) e mesóstasis microcristalina formada por micrólitos de ilmenita, feldspatos (zeolitos ?), quartzo, carbonatos, etc. Não foram encontrados ortopiroxênios e biotita, obrigatórios no norito da região.

Pegmatito - Tanto em kinzigitos como em biotita gnaisses, granodioritos gnaissosos e micaxistos, ocorrem numerosos corpos de pegmatito, tendendo a concordantes e pouco espessos na província kinzigítica e a discordantes e variáveis (até muitos espessos; dezenas de metros) na unidade biotita-gnáissica.

A mineralogia é a conhecida para pegmatitos. Sendo eles produtos de *filtragem* de hiperfusíveis das rochas regionais, admitem uma composição mais rica de quartzo e feldspato potássico, este, ortoclásio pertítico na província kinzigítica e microclínio na província biotito-gnáissica. Plagioclásio é pouco abundante e relativamente sódico (oligoclásio em pegmatitos de biotita gnaisses e andesina sódica em pegmatitos kinzigíticos). Na província kinzigítica estas rochas costumam ser carregadas de granada não tendo sido reconhecida turmalina em lâmina. Outros minerais que aqui podem aparecer são: sillimanita, cordierita, magnetita e biotita. Na província biotito-gnáissica são numerosos os afloramentos mostrando turmalina macroscopicamente preta. Aqui ainda podem ser vistos; moscovita e granada (pouca). A região é conhecida como produtora de pedras coradas; turmalinas verde e rosea, berilo, água marinha, topázio, crisoberilo, brasilianita, entre outras.

Rocha calcossilicática - Foi amostrada uma camada relativamente fina (2 m) desta rocha, intercalada em kinzigitos, a leste de Itapina. Em afloramento é uma rocha cinza amarelada de grão médio, com acamamento inferível por ótima separação tabular.

A textura é tipicamente granoblástica e sua composição variável de acordo com as camadas. Predominam os minerais; microclínio *baixo* ou ortoclásio com sombras de geminado em grade, escapolita (mizzonita) e diopsídio em parte uralitizado e carbonatizado. Em menores quantidades; quartzo, titanita e calcita. São acessórios: flogopita, plagioclásio (associado a escapolita), zircão arredondado, magnetita, pirita e grafita.

Meta-concreção - Em muitos afloramentos kinzigíticos ocorrem, inclusos ao longo de faixas migmatíticas, pequenos corpos, geralmente com formas externas arredondadas, compostas de rocha cinza muito fina, compacta e tenaz. Lembra muito certos quartzitos finos, com os quais ainda se confunde mais por aparecer ocasionalmente com algumas finas.

A textura microscópica é caracteristicamente granoblástica fina.

A rocha compõe-se essencialmente de quartzo e feldspato poligonais sendo este, exclusivamente plagioclásio, geralmente muito cálcico (bytownita-anortita, Ang_0), com rara geminação periclínica e mais rara albitica. Em maiores ou menores quantidades, conforme camadas, ocorrem grãos equidimensionais de outros minerais cálcicos ou ferromagnesianos; calcita, granada, tremolita, apatita, diopsídio, hiperstênio, titanita. (Grafita é opaco freqüente).

O acamamento é geralmente críptico, só evidenciado em algumas seções delgadas pela distribuição diferencial de certos minerais coloridos ou opacos.

Este fato, aliado à forma de ocorrência e associações minerais, permitem supor que tais formações tenham sido inicialmente camadas arenosas transformadas em concreções por cimentação calcária e, posteriormente, metamorfozeadas na condição atual, juntamente com os sedimentos pelíticos envolventes (atuais kinzigitos).

OCORRÊNCIA, FREQUÊNCIA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE MINERAIS PESADOS

(Referência; médias finais, última coluna da tabela de análises modais)

São fornecidas no local indicado, percentagens modais para cada mineral encontrado em preparados de rochas do cristalino pré-cambriano do Vale do Rio Doce. Em consequência da

amostragem esparsa e irregular, os valores médios obtidos, têm significação muito restrita, permitindo apenas avaliações comparativas. Tendo em vista este fim, os próprios minerais acessórios (% menor que 1), são representados por números decimais sendo-lhes atribuído, para fins de cálculo um valor de 0,3 quando presentes (pr.) na lâmina. Ao zircão, por seu tamanho individual menor, foi atribuído o valor 0,2 quando presente. De várias amostras de um mesmo afloramento (mesmo número, diferentes coeficientes em letras ou algarismos) foi tomado um só valor médio para os minerais.

A composição média total do cristalino corresponde a um biotita adamellito. Não foram calculados separadamente as porcentagens para as duas unidades pré-cambrianas mas o exame microscópico permite registrar que:

1 - Na unidade kinzigítica são superiores à média, os valores para; cordierita, granada, ortoclásio, ortopiroxênio, plagioclásio antipertítico, sillimanita e ortoclásio pertítico.

2 - Na unidade biotita gnáissica são superiores à média os valores para; epidoto, microclínio, moscovita, plagioclásio, titanita e turmalina.

Alguns minerais merecem consideração especial em vista de sua importância como componentes de resíduo pesado de sedimentos derivados. São aqui arrolados, juntamente com outros ocorrendo apenas em sedimentos:

A - Opacos, semiopacos e agregados.

Magnetita, ilmenita, hematita, limonita, pirita, pirrotita e grafita podem ser encontrados em quantidades de acessório em qualquer tipo litológico do Cristalino. Magnetita e ilmenita, especialmente em corpos básicos (norito, basalto).

B - Transparentes.

1 - Anatósio Possivelmente constitui parte de agregados leucoxênicos. Em sedimentos é claramente autógeno.

2 - Andaluzita. Não foi encontrada em qualquer rocha coletada no Cristalino mas há informações de sua ocorrência aluvionar em diversos pontos próximos ao limite dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, portanto na unidade biotito-gnáissica. Presumivelmente formou-se primariamente em auréolas de granitos intrusivos ou se incorporaram aos mesmos, e seus pegmatitos.

3 - Apatita. Acessório normal e comum em qualquer rocha do Cristalino. Em grãos macroscopicamente amarelos ou verdes, em kinzigitos e pegmatitos. Ao microscópio é incolor, isenta de inclusões. Prismas curtos e arredondados ou agulhas, as últimas, em noritos e basaltos.

4 - Biotita. Mineral espalhado por todo o Cristalino em concentrações relativamente elevadas. A variedade pardo vermelha ou alaranjada é comum na unidade kinzigítica e a pardo esverdeada, nos biotita gnaisses.

5 - Brookita. Não encontrado do Cristalino, onde sua presença é inserta.

6 - Cianita. Este importante mineral de resíduos pesados de sedimentos não foi encontrado em qualquer preparado de amostras do Cristalino mas deve ser encontrada em gnaisses e, especialmente micaxistos da unidade biotito-gnáissica.

7 - Clinopiroxênio (diopsídio-hedembergita e augita). Os clinopiroxênios são encontrados na forma de augita, em dique básico e noritos. Membros da série diopsídio-hedembergita ocorrem em diversos tipos de rocha da unidade kinzigítica; charnockitos, metaconcreções, rochas calcossilicáticas e até mesmo em quartzitos. Microscopicamente incolor e levemente esverdeado (diopsídio) em grãos equidimensionais com raras inclusões.

8 - Clorita. Mineral comum em pequena quantidade em qualquer rocha do Cristalino. Em lâminas levemente esverdeadas, ao microscópio.

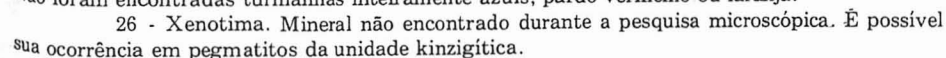
9 - Cloritóide. Não foi detectada em preparados de rochas pré-cambrianas.

10 - Corindon. Algumas lâminas de kinzigitos cordieríticos apresentam grãos de corindon incolor, associado a espinélio verde e hoegbomita parda, incrustados em magnetita.

11 - Dumortierita. Mineral de ocorrência conhecida no sul da Bahia (Serra Azul) e Minas Gerais. Não foi encontrado na pesquisa atual mas pode ser esperado em quartzitos e pegmatitos da unidade biotito-gnáissica.

12 - Espinélio. Em minúsculos grãos lípidos e verdes (ver corindon).

25 - Turmalina. A turmalina foi cuidadosamente procurada na unidade kinzigítica, especialmente nas camadas pegmatóides. Jamais foi encontrada, embora não se deva excluir definitivamente a possibilidade de sua ocorrência. Neste caso sera acessório raro. Longe da costa entretanto, foi verificada sua presença comum em pegmatitos e micaxistos da unidade biotito-



27 - Zircão. Mineral acessório comum em todo o Cristalino. Forma geralmente cristais prismáticos incolores pequenos demais para a observação de estruturas internas. Os maiores permitem visão de zoneamento. Em um granito alaskítico, aparecem cristais milimétricos contendo numerosas inclusões desarranjadas de quartzo. Em rocha calcossilicática, é nitidamente arredondado por abrasão.

Tabela de análises modais para rochas do Pré-cambriano. Vale do Rio Doce

Símbolos e abreviações usadas

Tipo de rocha:

Ad.	— Adamellito
B.Gn.	— Biotita gnaiss
B.Gn.Ki.	— Biotita gnaiss transicional para kinzigito
B.Gn.P.	— Biotita gnaiss piroxênico
B.Gn.T.	— Biotita gnaiss tonalítico
Bs.	— Basalto
Ch. C	— Charnockito
Ch. B. Gn.	— Charnockito transicional para biotita gnaiss
Ch. Gro.	— Charnockito grosseiro
Gd.	— Granodionito
Gd.Gn.	— Granodionito gnaissoso
Gr.	— Granito
Ki.	— Kinzigito normal (migmático)
Ki.Cd.	— Kinzigito cordierítico
Ki.Ch.	— Kinzigito charnockitóide
Ki.Gr.	— Kinzigito granitóide
Ki.Hl.	— Kinzigito hololeucocrático
Ki.Le.	— Kinzigito leucocrático
M.Cr.	— Metaconcreção
Mx.	— Micaxisto
No.	— Norito
Pg.Gr.	— Pegmatito de granito
Pg. Ki.	— Pegmatito de kinzigito (+ Cd. = cordierítico)
Pg.Qd.	— Pegmatito quartzo diorítico
Qzto.	— Quartzito
R.Cs.	— Rocha calcossilicática
Mat. exam.	— Material examinado:

b. — resíduo de batéia

m. — macroscópico; exame à lupa

p. — pó; rocha pulverizada

s. — seção delgada

N.^o da ocor. — Número da ocorrência. Registrada em mapa ou caderneta de campo. Algarismos e letras minúsculas posteriores; amostras de uma mesma exposição.

() — Valores modais estimados a olho nu, sujeitos a erros maiores

? — Presença possível mas não verificada

pr^a — Na forma de flogopita

pr^b — Na forma de allanita

pr^c — Inclui também alguma allanita

5d — Inclui 3% de zeólitos

pr — presença em quantidades inferiores a 1%

Minerais:

Clinopirox	— Clinopiroxênios (augita, diopsídio-hedbergita)
Clor. Serp. etc.	— Minerais secundários ferromagnesianos; clorita, serpentina, nontronita
Ilm. Mgt.	— Ilmenita e ou magnetita
Plag. anti-pert.	— Plagioclásio anti-pertítico
Ort. pert.	— Ortoclásio micropertítico
Ortopirox.	— Ortopiroxênio; hiperstênio, ferro-hiperstênio, eulita.