

Origem, transporte e deposição do ouro em Manica (Moçambique)

F. L. C. d'OREY

Centro de Estratigrafia e Paleobiologia da UNL, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Quinta da Torre, P-2825 Monte de Caparica, Portugal.

Ciências da Terra (UNL)	Lisboa	Nº 11	pp. 39-64 figs. 3, 4 est.	1992
-------------------------	--------	-------	------------------------------	------

RESUMO

Palavras-chave: Cratão — Zimbabwe — Moçambique — "greenstone belt" — ouro — jazigos magmáticos — filonianos e estratóides — controles estratigráficos e estruturais — tratamento mineral — prospecção.

Os vários tipos de jazigos arcaicos de ouro que ocorrem no "greenstone belt" de Manica em Moçambique são caracterizados no seu contexto geológico. Dá-se particular atenção à mineralogia e petrologia das jazidas, seus controles geológicos, sua prospecção e, também, às características que o podem tornar refractário ao tratamento mineral. A gênese dos jazigos foi controlada essencialmente por processos estratigráficos, mas a intrusão dos granitos tardios e os acontecimentos estruturais que lhe estão ligados remobilizaram e concentraram o ouro em vários ambientes geológicos.

A possibilidade de ocorrência de novos jazigos em diversos tipos de rochas é discutida, assim como orientações para a futura investigação e desenvolvimento.

RÉSUMÉ

Mots-clés: Craton — Zimbabwe — Moçambique — "greenstone belt" — or — gisements magmatiques, filoniens et stratoïdes — controles stratigraphiques et structuraux — traitement mineral — prospection.

On caractérise du point de vue géologique les différents types de gisements archaïques d'or du "greenstone belt" de

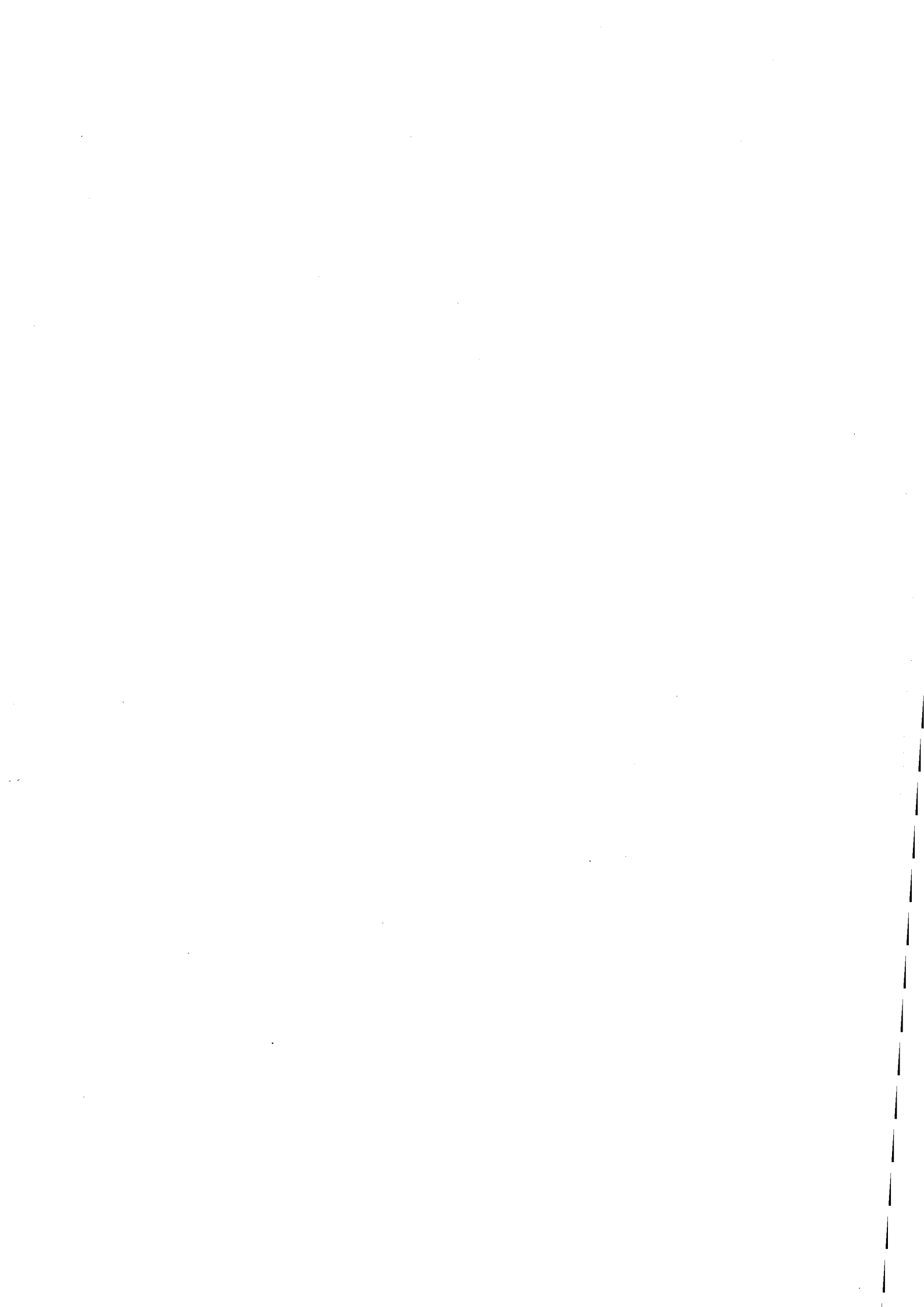
Manica, au Mozambique. Une attention particulière est consacrée à la mineralogie et à la petrologie des gisements, ainsi qu'à leurs contrôles géologiques, sa prospection, et aux caractères qui peuvent le rendre refractaire au traitement minéral. La gênese des gisements a été contrôlée essentiellement par des procédés stratigraphiques, mais l'intrusion des granites tardifs et les événements structuraux avec lesquels ils sont en rapport ont remobilisé et concentré l'or en divers environnements géologiques.

Les possibilités d'ocurrence de nouveaux gisements en divers types de roches est discutée ainsi que des guides pour de futures recherches et développements.

ABSTRACT

Key-Words: Zimbabwe craton — Mozambique — greenstone belt — gold — magmatic — vein and strata bound deposits — stratigraphic and structural controls — ore dressing — prospection.

The different types of Archean gold deposits in the Manica greenstone belt of western Mozambique are briefly described in the context of their geological setting. Particular attention is devoted to the mineralogy, petrology, geological controls, refractoriness to treatment and prospection of these gold deposits. The genesis of gold was stratigraphically controlled, but structural and metamorphic events related to the intrusion of late granites have concentrated and relocated the gold in different geological environments. The possibility of additional gold occurrences in different rocks sequences is discussed as well as possible guidelines for future research and development.



INTRODUÇÃO

Após um ligeiro declínio na última década, a produção aurífera no mundo ocidental atingiu 1373 toneladas em 1987, o que significa um aumento de 40% se comparada com a produção de 1981 (BEUNDERMAN, 1989). Se este ritmo se mantiver, o ano de 1991 poderá testemunhar uma produção que, no Ocidente, ultrapassará as 1700 toneladas.

Ignora-se quando teria começado a extracção do ouro na África austral. Parece haver indicações que sugerem que a extracção no Estado indiano de Mysore teria inspirado os antigos trabalhos mineiros no Zimbábwe, que se desenvolveram a partir do século III da nossa era (SUMMERS, 1969).

A produção do ouro no cratão do Zimbábwe é pequena em termos mundiais, mas as suas rochas arcaicas vangloriam-se de ter a maior produção mundial em termos de área e provavelmente a maior concentração de minas de qualquer cratão arcaico no mundo.

Calcula-se que a produção aurífera acumulada do cratão do Zimbábwe tenha atingido entre 65 a 70 milhões de onças. A produção de ouro nos dois cratões da África Austral (Zimbábwe e Kaapvaal) produziu por quilómetro quadrado o dobro do cratão canadiano e o quádruplo do cratão da Austrália ocidental (ANHAEUSSER, 1974).

ANHAEUSSER (1974) demonstrou que os "greenstone belts" da África Austral contêm, em relação ao Canadá e Austrália, uma proporção muito superior de rochas máficas e ultramáficas e são relativamente deficientes de rochas intermédias e félsicas. A preponderância daqueles conjuntos máficos e ultramáficos indica uma antiguidade superior para os cratões da África Austral, que são acompanhados por maior abundância de elementos siderófilos como, por exemplo, Au, Ni e Fe e elementos do grupo da platina, assim como de crómio nas rochas deficientes de sílica.

A maior parte da produção aurífera do Zimbábwe derivou de jazigos filonianos que ocorrem em zonas xistentas sulfurizadas e silicificadas, em zonas de cisalhamento e em filões de quartzo maciço em diferentes tipos de rochas. A maioria desses filões foi, em parte, ditada pela profundidade da crosta onde ocorreu a deslocação e, em parte, pela heterogeneidade litológica das sucessões vulcano-sedimentares deformadas (FOSTER, 1989).

A região de Manica, em território moçambicano, faz parte da porção mais oriental do cratão do Zimbábwe (Fig. 1). São numerosas as regiões do Distrito onde se procedeu desde finais do século passado à extracção do ouro, podendo computar-se em mais de duas centenas o número de concessões que ali existiriam (ARAÚJO & GOUVEIA, 1965). A produção de ouro atingiu o máximo em 1914 com 15.263 onças, incidindo especialmente sobre filões de quartzo aurífero e aluviões recentes (ARAÚJO & GOUVEIA, 1965). A actividade mineira quase paralizou em 1949 devido a três factores: manutenção do preço oficial do ouro em US \$35/onça, aumento dos custos de mão de obra e por a maior parte das explorações dos jazigos filonianos ter atingido o chamado nível dos sulfuretos, isto é a zona não oxidada ou protominério. Este último facto exigiria uma tecnologia completamente diferente no tratamento das mineralizações refractárias de ouro, muito mais sofisticada do que os métodos gravíticos simples, utilizados na zona superficial oxidada e alterada.

A Mina Bragança, abandonada no início da 1ª Guerra Mundial, atingiu a profundidade de 80 metros com um teor médio de 7,5g/t (ARAÚJO & GOUVEIA, 1965). Os concessários da mina de cobre e níquel da Mondunguara recebiam até 1975 um prémio variável dos importadores japoneses pelo ouro extraído dos concentrados nas suas refinarias, cujo teor médio não andava longe dos 0,5 g/t. (com. pess. de J. Borrowdale). Certas zonas deste jazigo magmático, particularmente as que têm baixos teores de cobre por

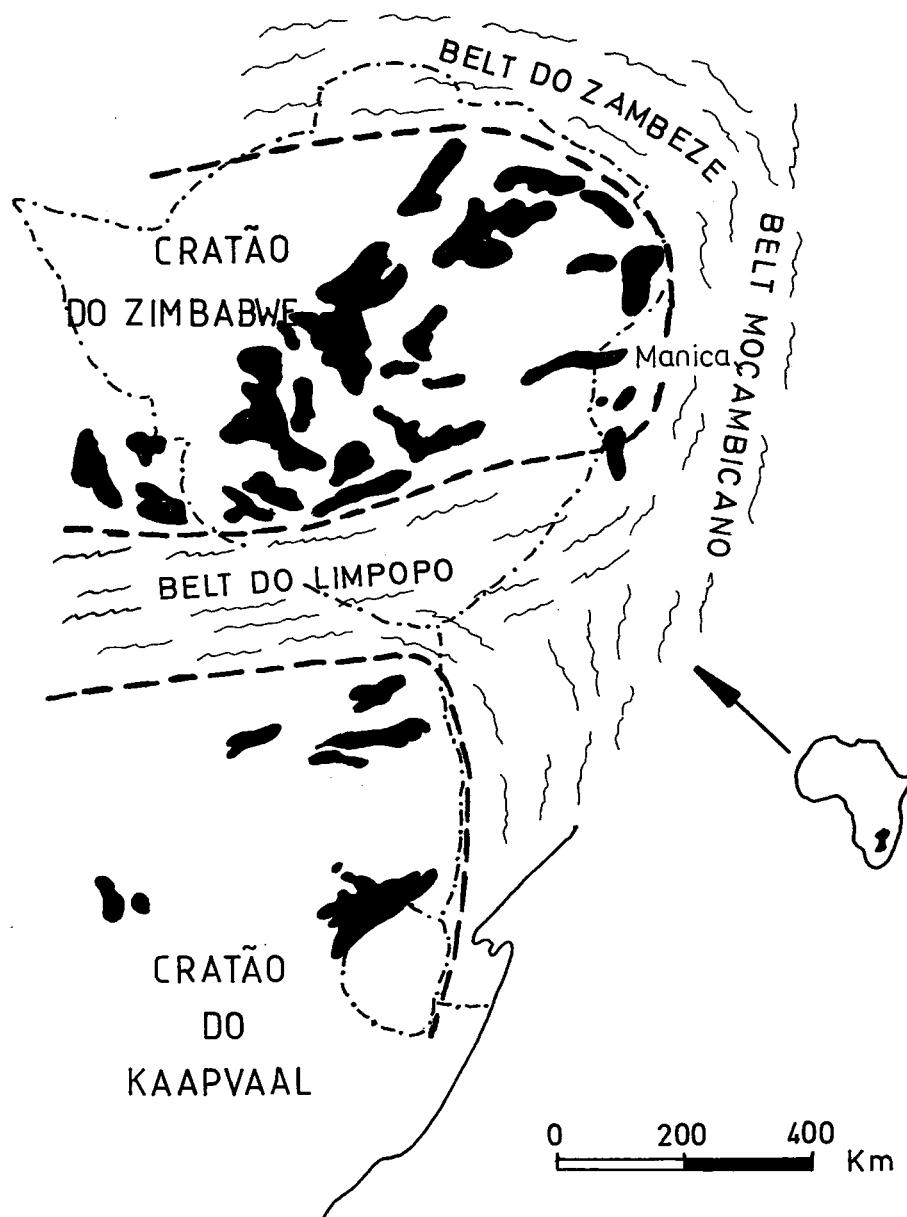


Fig. 1 — Mapa esquemático da distribuição dos “greenstone belts” nos cratões da África Austral, rodeados por “belts” móveis altamente metamorfizados.

serem enriquecidos em pirrotite hexagonal, apresentam, neste sulfureto de alta temperatura, inclusões de ouro contemporâneas, e o teor de ouro dessas zonas varia entre 27 e 121 ppm (OREY, 1989). Nas zonas de onde se extraem os concentrados de calcopirite, os teores de ouro não excedem 8 ppm, sendo a média muito próxima ou mesmo inferior a 1 ppm (OREY, 1989).

À data da independência de Moçambique (1975), a mina Mondunguara era a única em funcionamento; procedia-se a trabalhos simbólicos nas minas Monarch, Bragança, Cantão, Guy Fawkes e Two Fools. Infelizmente, a guerra civil pôs termo a essas actividades, precisamente na altura em que o preço do ouro subiu vertiginosamente.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O cratão do Zimbabwe (Fig. 1) é composto por uma grande variedade de rochas graníticas, vulcânicas e sedimentares. Dispersos nas rochas graníticas, existem vinte e cinco “greenstone belts” importantes, sendo o “greenstone belt” de Manica, que se prolonga para o Zimbabwe com os nomes de Umtali e Odzi, o que se situa na zona mais ocidental do cratão (OREY, 1989a). O cratão do Zimbabwe está envolvido por cinturões móveis altamente metamorfizados, como os do Limpopo, Moçambique e do Zambeze, que representam material cratónico arcaico remobilizado (OREY, 1989a).

As sucessões vulcânicas e sedimentares que existem nos "greenstones belts", são caracterizadas por grande variedade de metavulcanitos máficos/ultramáficos e rochas plutônicas, intercalados com vulcanitos félsicos, rochas piroclásticas e sedimentos químicos tais como formações ferríferas bandadas, chertes e rochas calco-silicatadas (OREY, 1989a; ANHAEUSSER, 1975; BLISS & STIDOLPH, 1969; WILSON, 1973).

O conjunto de metavulcanitos máficos e ultramáficos, que, no seu conjunto, é denominado Sebakwiano, foi com frequência invadido, fragmentado e granitizado pela intrusão de grande variedade de rochas granitóides. Sobre esta unidade há uma brusca mudança na natureza do vulcanismo, alternando ciclicamente vulcanismo máfico, intermédio e ácido, com intercalações de sedimentos químicos e piroclásticos entre os quais chertes, formações ferríferas bandadas, calcários e filitos, assim como de basaltos toleíticos, dacitos e riocititos. Este conjunto é denominado Bulawaiano. Sobre as sequências vulcano-sedimentares dos "greenstone belts" depositaram-se rochas de características essencialmente sedimentares, que constituem conjuntos argiláceos, grauvaques, xistos argilosos e precipitados químicos, ou conjuntos arenáceos constituídos por conglomerados, quartzitos, grés e, subordinadamente, chertes jaspilíticos e formações ferríferas bandadas. Este conjunto sedimentar é denominado Shamvaiano.

A hipótese de existirem sucessões mais antigas pré-sebakwianas no interior dos granitos (STOWE, 1971) não é de considerar, pois trata-se de equivalentes xenolíticos metamorfizados de conjuntos que se encontram no Sebakwiano (OREY, 1989a).

Os granitos, que ocupam quase oitenta e cinco por cento da área do cratão do Zimbábue, constituem dois grupos: os potássicos (granodioritos e adamelitos) e os sódicos (trondhjemitos e tonalitos). Os primeiros são predominantes na porção oriental do cratão e os segundos na porção ocidental.

OURO NO CRATÃO DO ZIMBABWE

No cratão do Zimbábue, a maioria dos jazigos de ouro ocorre no Sebakwiano. Seguem-se os que ocorrem no Bulawaiano e Shamvaiano. Só poucos jazigos se localizam no granito (ANHAEUSSER, 1976).

Embora uma grande parte dos filões de ouro ocorra no Sebakwiano, eles têm uma maior tendência para se desenvolverem nas pilhas maciças vulcânicas do Bulawaiano, pois as características físicas dos conjuntos máfico/félsicos deram origem a um maior número de sistemas de fracturas, que actuaram como locais ideais para a deposição de filões de quartzo aurífero. As soluções hidrotermais, entrando nestas fracturas, são geralmente responsáveis pela alteração do encaixante lávico (propilitização).

Distiguem-se dois tipos principais de jazigos de ouro no cratão do Zimbábue (ROBERTS, 1987):

- filões quartzicos geralmente associados a metavulcanitos;
- jazigos estratóides em sedimentos químicos.

Há provas evidentes que os dois tipos de jazigos são epigenéticos e foram introduzidos tardiamente no ciclo de formação dos "greenstone belts" durante a cratonização precâmbrica ou estabilização de segmentos da crosta.

OURO NO GREENSTONE BELT DE MANICA

O "greenstone belt" de Manica (Fig. 2) compreende uma grande sequência vulcânica basal a que se sobrepõem sucessões sedimentares (OREY, 1989a). A história tectónica desenvolveu-se em duas fases distintas. A primeira envolveu "slumping" e "downfolding" sobre uma crosta muito fina e instável. Durante esta deformação, induzida essencialmente por fenómenos gravíticos, formaram-se dobras isoclinais, um sinclínio, falhas verticais ou muito inclinadas e escorregamentos. A fusão das zonas de raiz dobradas do "greenstone belt" produziu plutões diapíricos de tonalitos/trondhjemitos e de peridotitos, intruídos nas zonas marginais do "greenstone belt". Este diapirismo foi responsável por nova deformação, seguindo-se novos períodos de deformação sobreposta envolvendo dobramento, falhamento, fracturação, cisalhamento e, finalmente, arqueamento do "greenstone belt" (OREY, 1989a) (Fig.3).

a) - Classificação dos jazigos de ouro

As estruturas associadas com os jazigos auríferos magmáticos, filonianos e estratóides de Manica parecem claramente posteriores ao vulcanismo e sedimentação, assim como à maior parte dos acontecimentos magmáticos e metamórficos. No Zimbábue, tanto os dados de campo como os geocronológicos demonstram que a formação dos jazigos auríferos filonianos e estratóides é, mesmo, posterior à intrusão dos plutões graníticos pós-tectónicos nas sequências supracrustais dobradas e inclinadas dos vários "greenstone belts" (ANHAEUSSER, 1976).

Os mais importantes tipos de ocorrências auríferas conhecidos em Manica são os seguintes:

- intrusões magmáticas de sulfuretos de cobre e níquel com algum cobalto em rochas sebakwianas, associados a intrusões de peridotitos de idade claramente pós Bulawaiano e possivelmente pós Shamvaiano, na margem sul do "greenstone belt" (Mina Mondunguara).

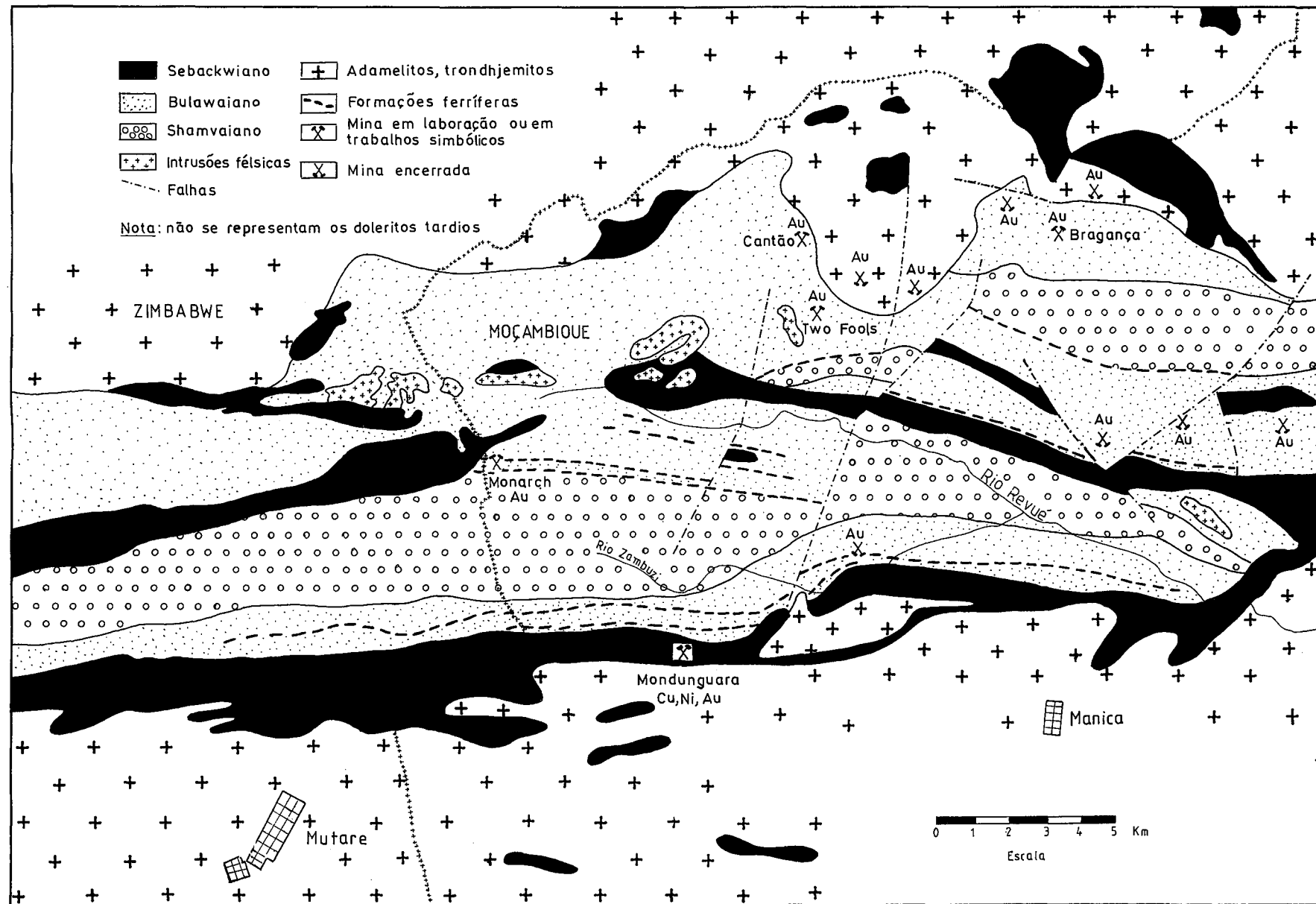


Fig. 2 — Esboço geológico do sinclinal de Manica.

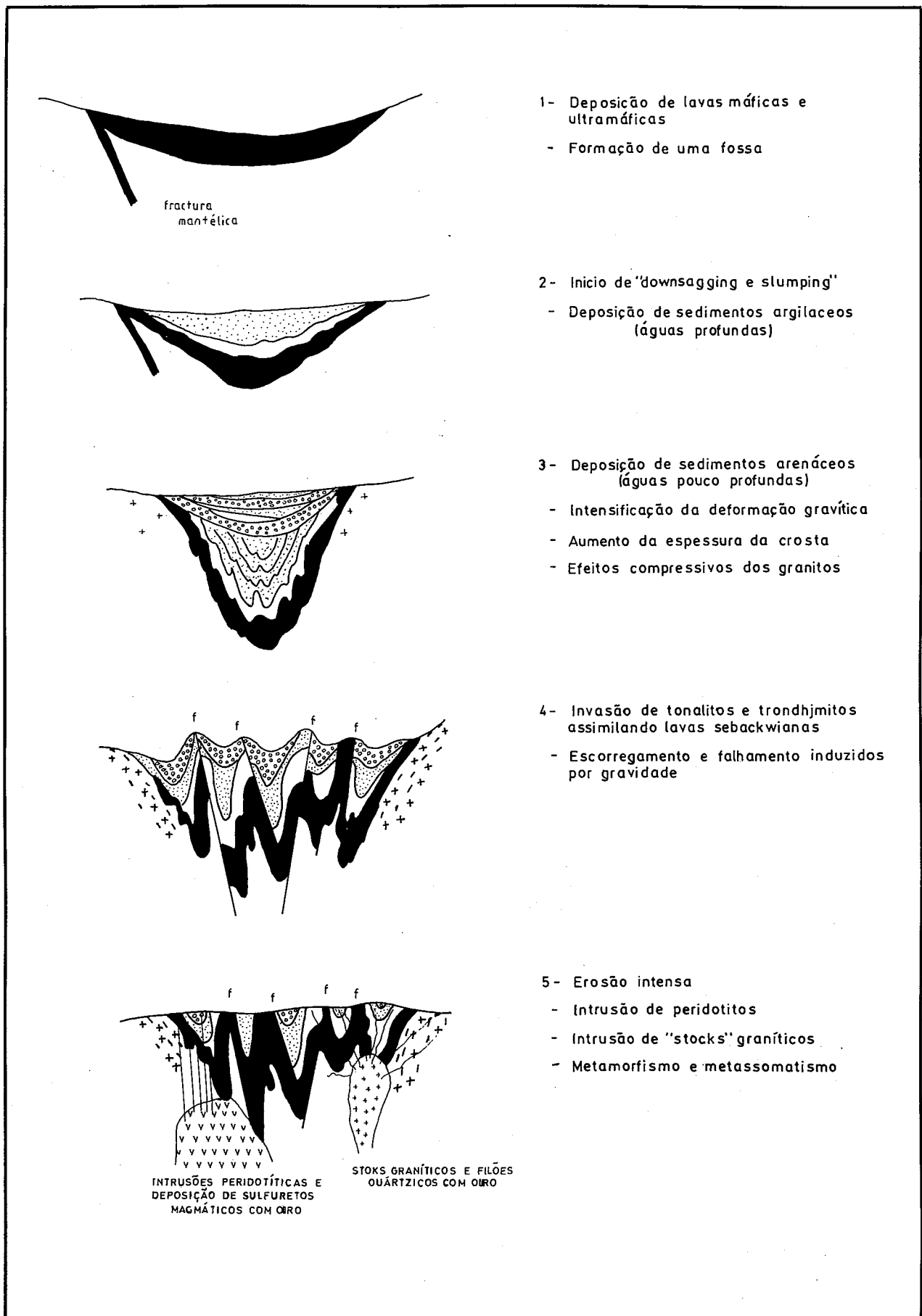


Fig. 3 — Modelo diagramático da evolução do "Greenstone Belt" de Manica e formação dos jazigos auríferos.

- impregnações estratóides de sulfuretos em formações ferríferas bandadas do Bulawaiano (Mina Monarch).
- filões de quartzo aurífero de idade nitidamente pós-Shamvaiano (Minas Two Fools, Cantão, Guy Fawkes e Bragança).
- aluviões arcaicos no Shamvaiano, que, no final do século passado, foram muito prospectados, embora nada se saiba sobre a sua produção. Contudo, no vale do Rio Zambuzi observei disseminações muito irregulares de sulfuretos em formações conglomeráticas e quártzicas, potencialmente portadoras de ouro.
- aluviões recentes (especialmente os do Rio Revué).

b) - Mineralogia

Nas intrusões magmáticas da Mondunguara (OREY, 1989), o ouro ocorre essencialmente associado a elementos do grupo da platina em corpos de sulfuretos maciços tabulares e verticais, directamente associados com intrusões de composição peridotítica. O ouro localiza-se no interior de pirrotite hexagonal de alta temperatura (Fig.4), associada a cobaltopentlandite e pirite cobaltífera euédricas, atingindo concentrações da ordem dos 126 ppm. A pirrotite hexagonal maciça constitui precisamente a parte proximal dos filões, isto é, situa-se na zona de contacto com a rocha mãe peridotítica. Nas zonas intermédias dos corpos tabulares mineralizados, a paragénese é constituída por calcopirite, pirrotite monoclinica com exsoluções de pentlandite comum e rara esfalerite. Nas zonas distais observam-se fenómenos de alteração hidrotermal e propilitização, ocorrendo o ouro sob a forma de electro associado a teluretos vários e prata nativa, sendo um mineral nitidamente tardio. Os teores de ouro destas duas últimas zonas são extremamente baixos e irregulares.

Os jazigos quártzicos filonianos têm mineralogia muito simples. Pirite e galena são sempre os minerais predominantes. Por vezes pode existir alguma calcopirite e tetraedrite (Bragança e Cantão). Com frequência, a pirrotite pode ser importante (Cantão, Guy Fawkes e Two Fools). Em nenhuma das amostras destes jazigos filonianos foi detectada arsenopirite, o que é de acentuar, pois utilizava-se muito o arsénico no Zimbabwe para a prospecção geoquímica deste tipo de filões. Em todos os jazigos filonianos observam-se dois tipos de pirite: pirite euédrica primária e pirite com texturas relíquia de pirrotite, devidas à sulfurização deste mineral. O ouro ocorre, essencialmente, sob a forma de glóbulos arredondados microscópicos (Fig.5) no interior da pirite euédrica. Parece ter sido depositado simultaneamente com a pirite euédrica, embora por vezes essas inclusões

apresentem texturas que revelam a sua nítida ulterioridade (Fig.6) acompanhando a sulfurização da pirrotite. Texturas preenchendo fracturas na pirite ou, mesmo, substituindo este sulfureto são em geral raras (Fig. 7 e 8). Algumas análises químicas efectuadas nas mineralizações da Mina de Bragança, em 1973, revelaram que as zonas onde a galena era mineral predominante eram particularmente ricas de ouro. Na realidade ele ocorre primordialmente no interior do quartzo tardio, o que tornará o minério ainda mais refractário ao tratamento. Na mina Cantão observou-se electro no interior de calcopirite; é ainda mais rara a sua associação a tetraedrite, que é, aliás, um mineral muito pouco comum.

Nas formações ferríferas bandadas, os sulfuretos ocorrem como impregnações nas bancadas ferríferas. Nesta classe de jazigos, a mina Monarch era a única onde se procedia a trabalhos simbólicos. As mineralizações estão intimamente associadas a rochas basálticas e rochas argiláceas, interestratificadas com as bancadas ferríferas. Ao contrário das mineralizações filonianas a galena é aqui inexistente, a pirite é o mineral predominante, a pirrotite e a calcopirite são comuns, e a arsenopirite tem distribuição irregular, podendo, por vezes, ser comum, mas nunca abundante. No interior de um cristal de olivina do encaixante basáltico da mina Monarch observou-se um grão de ouro (Fig.9).

Nos conglomerados do Shamvaiano, os sulfuretos associam-se a rochas conglomeráticas onde se observam pirite euédrica de contornos arredondados e alguma galena. Nos finais do século passado, foram concedidos "claims" nestes tipos de formações conglomeráticas e, embora nenhum tenha produzido quantidades importantes de ouro, também é duvidoso que tenham sido adequadamente prospectados. No Shamvaiano do Zimbabwe existem explorações rentáveis nos conglomerados dos "greenstone belts" de Victoria, Salisbury/Shamva e Sinoia (ANHAEUSSER, 1976).

GÉNESE

Com exclusão dos grandes jazigos sedimentares de tipo "placer", a maior parte do ouro extraído no nosso planeta proviria de jazigos epigenéticos de natureza hidrotermal (EMMONS, 1937).

A associação espacial de filões auríferos e rochas intrusivas ácidas levou EMMONS (1937) a concluir que existiria uma afinidade muito grande entre granitos e ouro.

McGREGOR (1951), baseado na sua grande experiência da geologia da então Rodésia, sugeriu que o ouro se teria originado no SIMA e teria sido transportado para a superfície do planeta em lavas basálticas. Após esse transporte, a instalação dos granitos forneceria água e outros fluxos necessários para a extracção do ouro das lavas e sua redistribuição

em filões hidrotermais no interior de porções do granito já cristalizado, ou nas rochas adjacentes dos "greenstone belts".

BOYLE (1959), após estudos geológicos e geoquímicos, sugeriu que o ouro no distrito de Yellowknife no Canadá teria origem em rochas supracrustais vulcânicas de composição máfico/ultramáfica, e não nos granitos intrusivos que se lhe associam.

Outros autores, como RIDLER (1970) e VILJOEN *et al.* (1970), aceitam que os granitos intrusivos tiveram um papel importante na produção de calor e ambientes estruturais necessários para a migração e redeposição de ouro de modo a formarem pseudo-jazigos hidrotermais. Estes últimos autores acentuaram que as rochas vulcânicas que estão na origem do ouro foram, nalguns casos, modificadas a um tal grau que as relações das mineralizações auríferas com as rochas vulcânicas se apagaram, e que os granitos são aparentemente responsáveis pelas mineralizações auríferas.

Os dados geoquímicos sobre a distribuição de elementos em rochas magmáticas indicam que o teor de ouro das rochas básicas e ultrabásicas é cerca de três a quatro vezes superior ao teor de ouro das rochas ácidas (SHERBAKOV & PEREZHOGIN, 1963; GASS, 1974; BOYLE, 1979; ROCK & GROVES, 1988; PERRAULT, 1989).

A rocha mãe das mineralizações cupro-niquelíferas com ouro e platinóides na mina Mondunguara é um diferenciado máfico/ultramáfico, intrusivo em komatiitos basálticos e peridotíticos. A análise química destes komatiitos colhidos no interior da mina e, portanto, aparentemente não meteorizados, indicam que as rochas sofreram grande hidratação com teores de H₂O da ordem dos 5,1 a 11,6 por cento, o que também é indicado pela presença de abundantes actinolite e antigorite. Esta hidratação poderia ser acompanhada pela extracção de metais como o ouro.

Os dados experimentais sobre a solubilidade do ouro foram revistos por ANHAEUSSER (1976). Segundo este autor, o ouro em soluções hidrotermais alcalinas seria solúvel num intervalo de 100 a 200 ppm a temperaturas da ordem dos 150 a 280°C devido à formação de complexos de ouro estáveis envolvendo H₂S e HS. Em soluções aquosas de sulfuretos com pH igual a 6, a solubilidade do ouro sob a forma de tio complexos entre temperaturas de 160 e 300°C varia de 40 a 230 ppm.

Durante o Arcaico, os líquidos komatiíticos possuem maior capacidade para dissolver tanto o ouro como o enxofre que os sistemas magmáticos mais recentes de menor temperatura; transferiram esses elementos do manto para a crosta durante a fase extensional de formação das bacias (KEAYS, 1984). Uma ulterior remobilização e enriquecimento de ouro e sulfuretos teria ocorrido em interacções água-rocha entre as lavas quentes e a água do mar (KEAYS & SCOTT, 1976). O ouro extraído dos basaltos

oceânicos fixou-se nos sulfuretos existentes nos sedimentos inter-escoadas, produzindo, assim, elevadas concentrações estratóides de ouro e sulfuretos. Este é o caso da Mina Monarch.

Um enriquecimento adicional de ouro e sulfuretos ocorreu durante a fase de compressão da bacia, que resultou no levantamento, erosão e redeposição de sedimentos turbidíticos e conglomerados, especialmente em estruturas lineares associadas com importantes cavalgamentos. Os fluidos foram expelidos para zonas de cisalhamento de deformação frágil e dúctil. Parece evidente que a presença do ferro influencia esta deposição do ouro, pois em muitas das jazidas ocorrem litologias ricas de ferro tais como toleitos vulcânicos, sedimentos ricos em silicatos de ferro e sedimentos químicos ricos de magnetite.

As intrusões graníticas tardias são conhecidas por serem particularmente favoráveis ao desenvolvimento de mineralizações auríferas hidrotermais, visto que, em primeiro lugar, intersectam sedimentos ricos de ouro e sulfuretos e, em segundo lugar, a interacção de fluidos com sedimentos ricos de ferro promovem a decomposição dos tiocomplexos de ouro e a redeposição do ouro e sulfuretos de ferro.

Embora no jazigo magmático da Mondunguara o ouro esteja predominantemente associado a sulfuretos de alta temperatura, nomeadamente pirrotite hexagonal, cobaltopentlandite e pirite cobaltífera, a análise dos jazigos filonianos tardios indica que as mineralizações auríferas estão mais associadas com sulfuretos de baixa temperatura, como galena e calcopirite, do que com sulfuretos de alta temperatura, como pirrotite, arsenopirite e esfalerite. Esta diferença radical da sequência hidrotermal típica apoia a tese de que a mineralização filoniana em Manica não é produto directo da génese e instalação dos plutões graníticos que envolvem o "greenstone belt". Os granitos actuaram então unicamente como fornecedores de água e calor para a extracção de ouro dos sedimentos e lavas, e sua redistribuição em filões pseudo-hidrotermais (Cantão, Two Fools, Bragança e Guy Fawkes). Estes jazigos filonianos encontram-se unicamente no interior do "greenstone belt", sendo raros no granito circundante (Fig.2). Neste último caso, os jazigos filonianos restringem-se a uma faixa envolvente que não ultrapassa um quilómetro. Se os granitos fossem responsáveis pela génese do ouro, era natural que existissem jazigos filonianos nos grandes espaços graníticos entre os "greenstone belts" do cratão do Zimbábue, o que nunca é o caso.

Quanto às formações ferríferas bandadas, de que é exemplo o jazigo Monarch, os corpos auríferos parecem ser essencialmente controlados pela estrutura, sendo as dimensões e teores dos jazigos definidos de forma complexa pelo comportamento frágil e dúctil dos metassedimentos, juntamente com a actividade hidrotermal. A sulfurização das unidades ferruginosas, especialmente da magnetite, constitui

um importante mecanismo deposicional. A pirrotização da magnetite durante os movimentos de cisalhamento, poderá influir positivamente na ductilidade, aumentando o potencial para grandes deslocamentos e, daqui, gerar jazigos significativos.

TRATAMENTO DO OURO

Nas amostras não alteradas colhidas nas minas Cantão, Guy Fawkes, Two Fools, Bragança e Monarch o ouro ocorre sob a forma de inclusões microscópicas, da ordem de poucas micras, geralmente no interior da pirrite. Na mina Mondunguara, o ouro ocorre em maior abundância no interior de pirrotite hexagonal de alta temperatura. É muito possível que, em qualquer destes jazigos, o ouro ocorra em solução sólida nos diversos sulfuretos, óxidos e silicatos, embora não haja provas concretas de que isto aconteça.

A granularidade destas ocorrências exige moagem extremamente fina, que poderá inviabilizar economicamente jazigos de tão baixo teor. O método de tratamento destes minérios refractários de ouro, seguido tanto no Zimbabwe como na África do Sul, consiste em calcinar o minério de modo a oxidar os sulfuretos, obtendo-se uma hematite porosa, para expor ou libertar as inclusões de ouro, preparando-o assim para a cianidação (LIEBENBERG, 1972).

Com muita frequência, alguns produtos de decomposição dos sulfuretos na solução de cianetos podem tornar o ouro mais refractário, nomeadamente pela formação de tiocianatos e cianetos complexos de cobre, o que poderá acontecer unicamente nas minas Monarch e Mondunguara, onde a calcopirite pode ser abundante.

Nas restantes minas, muito em especial nas de Bragança e Guy Fawkes, onde a galena é abundante, há perigo de formação de "coated gold" com compostos de chumbo ou pior ainda, na formação de uma liga insolúvel de ouro/chumbo.

Para a mina Mondunguara, há ainda o problema da abundância de pirrotite. Aqui o ouro ocorre fundamentalmente no interior da pirrotite hexagonal, a qual interfere muito negativamente com os processos de cianidação.

Nos últimos anos têm sido obtidos resultados excelentes com oxidação a pressão em autoclaves (ANÓNIMO, 1988). Outro processo que está presentemente a ser desenvolvido, embora ainda não tenha passado dos testes piloto, consiste numa biodegradação, na qual os sulfuretos são destruídos pela acção de bactérias, expondo o ouro à acção lixiviante do cianeto (STEWART, 1989).

As minas de Bragança e Guy Fawkes apresentam um problema particularmente difícil, pois, nas zonas onde a galena é mineral predominante, o ouro ocorre fundamentalmente sob a forma de inclusões microscópicas em quartzo e silicatos. Estas zonas enriquecidas de galena apresentam teores particularmente elevados de ouro, o que levou em

1973 a administração da mina a seleccionar zonas galeníferas numa exploração um pouco artesanal e a obter um "matte" enriquecido de chumbo pois, admitia-se erradamente que o ouro ocorreria preferencialmente no interior da galena. Nestas mineralizações de ouro, a moagem do quartzo para o aproveitamento integral do metal precioso deverá ser extremamente fina, possivelmente pouco económica.

PROSPECÇÃO DO OURO

O teor médio dos minérios de ouro do Zimbabwe é em geral baixo, variando entre 3,5 e 35 g/t. Pouco se sabe sobre os teores das minas outrora exploradas no "greenstone belt" de Manica. ARAÚJO & GOUVEIA (1965) afirmam que a Mina Bragança teria teores da ordem dos 7,5 g/t, enquanto que, para a Mina Mondunguara, os seus concessionários lhe atribuíam teores médios da ordem de 0,5 g/t. Aqui, o ouro distribui-se de uma forma zonada, chegando, nas zonas mais ricas em pirrotite hexagonal, a atingir 126 ppm (OREY, 1989).

Nos jazigos filonianos, o ouro visível megascopicamente só se observou na zona oxidada, onde se deu um enriquecimento supergénico. Na totalidade das minas de Manica, as operações mineiras começaram na zona dos minérios oxidados; cessaram a produção no início deste século, quando se atingiu a zona dos sulfuretos, isto é, o minério primário.

Considerando a sequência da deposição tal como postulada por EMMONS (1924), é de esperar que a fineza do ouro aumente em profundidade, visto que o ouro tende a depositar-se a maior profundidade do que a prata. Em termos gerais, pode-se afirmar que isto se passa assim nos cratões do Kaapvaal e Zimbabwe (GAY, 1964; EALES, 1961).

No cratão do Zimbabwe tem sido dada importância exagerada aos controles estruturais das mineralizações filonianas, sem atender à importância muito significativa que os controles estratigráficos poderão ter na deposição dos jazigos auríferos. Como o ouro ocorre com muita frequência em vários tipos de fissuras, e como estas são controladas por modelos estruturais, a importância da rocha hospedeira foi, na generalidade, ignorada.

PHAUP (1964) cita alguns exemplos da importância estratigráfica na deposição do ouro, tal como a acção dos serpentinitos que, actuando como barreiras impermeáveis aos fluidos, tiveram uma importância fundamental na deposição deste metal. Também certas rochas, tais como os quartzitos, facilmente sujeitas a deformação frágil, originaram inúmeras fracturas. Estão neste caso as formações ferríferas bandadas, deformadas desta forma, e que são excelentes rochas hospedeiras para o desenvolvimento de jazigos de substituição de sulfuretos contendo ouro. A Mina Monarch, é um exemplo deste tipo de jazigo em Manica. Segundo

FRIPP (1979), vinte e cinco por cento do ouro do Zimbabwe provém de formações ferríferas bandadas, ocorrendo o ouro sob a forma de inclusões e filonetes substituindo sulfuretos maciços. A Mina Monarch em território moçambicano, constitui o prolongamento de mineralização semelhante do outro lado da fronteira. Pouca atenção foi dada em Manica à prospecção sistemática destas formações ferríferas bandadas, que são potencialmente locais ideais para a ocorrência de ouro. As formações ferríferas bandadas são abundantes em Manica, não só no Bulawaiano como no Shamvaiano; são, além disso, excelentes “marcadores estratigráficos”. Os mais importantes têm possanças superiores a 20 metros e há inúmeros com possanças que não atingem 1 metro. No Bulawaiano ocorrem interestratificados com andesitos, basaltos, vulcanitos félsicos e rochas piroclásticas, enquanto que no Shamvaiano estão predominantemente interestratificados com rochas argiláceas e arenáceas.

PHAUP (1964) afirma que a pirrite se encontra por todo o lado nos filões quartzicos do cratão do Zimbabwe e que a pirrotite chega a ser importante na sua parte ocidental, sendo inexistente na zona oriental. As secções polidas na Mina Bragança e Guy Fawkes revelam texturas que indicam a existência de alguma pirrotite inicial que posteriormente foi sulfurizada, originando pirrite secundária. As texturas relíquias globulares indicam muito claramente que se trata de uma sulfurização da pirrotite (Fig.6). O chumbo e o zinco são muito importantes na vizinha região zimbabweana de Mutare, especialmente nas minas Penhalonga, Clutha & Old West (PHAUP, 1964). O chumbo é particularmente abundante em todas as minas filonianas de Manica, chegando a galena, em certos pontos, a ser o mineral predominante (Mina Bragança). O arsénico, que tem grande importância nas minas filonianas da zona norte do cratão do Zimbabwe, é praticamente inexistente em Manica, onde só se observou rara arsenopirrite na Mina Monarch. Assim, e ao contrário do norte do cratão, o arsénico não deve ser utilizado para a prospecção do ouro, pois em Manica ele não é elemento indicador.

Há hoje uma tendência bem clara de desvio das teorias clássicas da génese dos minérios, e muitos geólogos afirmam que, em grande parte os jazigos se devem ligar geneticamente ao ambiente das rochas hospedeiras. Assim, para a futura prospecção dos jazigos e para estabelecer os controlos estratigráficos, os jazigos potenciais para fins de prospecção devem ser classificados do seguinte modo:

- jazigos em granitos
- jazigos em rochas intrusivas ultrabásicas
- jazigos em rochas félsicas
- jazigos em formações ferríferas do Bulawaiano
- jazigos em lavas do Bulawaiano
- jazigos em formações ferríferas do Shamvaiano
- jazigos em formações conglomeráticas do Shamvaiano.

A maior parte do terreno em Manica é montanhoso ou, pelo menos, tem relevo bastante acentuado. A exposição geológica varia de excelente a muito má. Contudo, a rede fluvial é muito boa, o que permite que, pelo menos, parte da geologia seja vista em cortes junto dos cursos de água. Assim, num programa de prospecção, teríamos os seguintes passos:

- utilização da bateia em sedimentos fluviais para obtenção de ouro visível e análise dos concentrados. A fineza do ouro aumenta para juzante do curso de água; isto é importante para determinar o seu ponto de entrada na rede fluvial;
- geoquímica dos sedimentos fluviais, não só para o ouro como para os elementos indicadores. O As não deve ser usado, mas sim o Pb, Cu e, talvez, o Zn;
- geoquímica de solos no seguimento das anomalias dos sedimentos fluviais;
- geoquímica de vegetação em folhas de solos florestados e geoquímica de ninhos de térmitas (OREY, 1975);
- Geoquímica de cobertura profunda;
- amostragem de rochas numa fase de reconhecimento que se segue à investigação de anomalias geoquímicas. Nesta fase é por vezes necessário cavar trincheiras e poços.

A experiência recente no Zimbabwe e África do Sul indica que a prospecção geofísica destes jazigos, tal como utilização de polarização induzida, resistividade e electromagnetismo, teve resultados decepcionantes. As técnicas mais interessantes são a utilização da bateia e a análise geoquímica, conjugados com a análise dos controlos estratigráficos e estruturais.

CONCLUSÕES

O estudo das rochas basálticas e komatiíticas do campo filoniano de ouro de Steynsdorp, no Arcaico da África do Sul, revelou que estas rochas conteriam até 20 ppb deste elemento (SAAGER, 1973). Esta associação é também apoiada pela presença de uma inclusão de ouro nos basaltos que ocorrem interestratificados com as formações ferríferas adjacentes à Mina Monarch (Fig.9).

O modelo proposto por BOYLE (1959), atribuindo a origem primária do ouro no “greenstone belt” de Yellowknife no Canadá às rochas supracrustais de composição máfico/ultramáfica, foi apoiado por inúmeros estudos posteriores realizados tanto no Canadá como na África do Sul. Os granitos tiveram como papel fundamental fornecer água e calor necessários para a redeposição do ouro sob a

forma de jazigos pseudo-hidrotermais. Como foi acentuado por VILJOEN *et al.*, (1970) as rochas vulcânicas foram, em muitos casos, de tal modo modificadas e assimiladas que as relações das mineralizações auríferas com as rochas vulcânicas se apagaram e, por vezes, os granitos parecem ser responsáveis pela génese dessas mineralizações auríferas. Este é o caso dos jazigos que ocorrem nos tonalitos de contacto norte do "greenstone belt" de Manica, que contém inúmeros xenólitos de rochas máficas e ultramáficas do Sebakwiano.

Dos estudos de distribuição de modelos estatísticos levados a cabo por PRETORIUS & HEMP KINS (1967) no cratão do Zimbabwe, conclui-se que as mineralizações auríferas nos granitos, greenstones e rochas xistentas pertencem a uma população, e que as das formações ferríferas bandadas pertencem a outra população. O ouro estaria primariamente contido nas rochas máficas e ultramáficas; teria sido redistribuído através dos granitos, xistos e greenstones, por processos metassomáticos associados primordialmente à instalação dos granitos. Este ouro teria sido retransportado para formações sedimentares estratigraficamente superiores por processos mecânicos ou químicos, e foi depois redistribuído nestas rochas por novos processos ligados à actividade granítica tardia (Fig.3).

As paragénese típicas dos sulfuretos associados ao ouro dos jazigos filonianos indicam muito claramente que as mineralizações mais ricas estão predominantemente associadas a minerais de temperaturas relativamente baixas, como a galena, e não a minerais de alta temperatura, como a arsenopirite, pirrotite e esfalerite. Esta diferença radical da sequência hidrotermal típica apoia a tese de que as mineralizações auríferas em Manica não são o produto directo da génese e instalação dos plutões graníticos que envolvem o "greenstone belt".

Assim, no modelo da evolução do sinclinal de Manica (Fig.3) teríamos, após a deposição dos sedimentos gresosos de tipo molasso, a intrusão de rochas ultramáficas, por refusão de rochas komatiíticas a que estão associados jazigos magmáticos de sulfuretos de alta temperatura, sendo o ouro um dos minerais iniciais incluído em pirrotite hexagonal. Intrusões de rochas félsicas (rio-dacíticas) e "stocks" graníticos, teriam estado na origem da remobilização

do ouro e sua redeposição em "greenstones", xistos, sedimentos e nos próprios granitos, sob a forma de filões quartzicos. Fenómenos exalativos vulcano-génicos estariam na origem da mineralização do ouro e sulfuretos associada às formações ferríferas bandadas. Durante a deposição dos conglomerados do Shamvaiano, a erosão foi intensa e houve deposição sedimentar de ouro e sulfuretos de forma muito semelhante à do Witwatersrand. Embora sem a importância destes jazigos, a distribuição do ouro nos conglomerados será certamente influenciada por controles sedimentológicos. Os conglomerados não são uniformemente mineralizados e, sem a compreensão do estilo de sedimentação, não é possível delimitar as zonas pagantes.

Sem o aumento dramático dos preços do ouro nas duas últimas décadas, a recente corrida ao ouro nunca teria tido lugar. Os custos médios de extracção na Austrália, Canadá e Estados Unidos excedem ligeiramente os \$200/onça, o que, a preços actuais, dá considerável margem de lucro e constitui um grande incentivo à prospecção (BEUNDERMAN, 1989).

A zona de Manica, bem servida de infraestruturas e onde a mão de obra é relativamente abundante, tem todas as condições para voltar a ser produtiva. A prospecção do ouro nas últimas décadas da dominação portuguesa nunca foi incentivada devido ao congelamento artificial do preço do ouro. A mudança deste factor criou um grande incentivo que, conjugado com as novas teorias sobre a génese do ouro e factores que controlam a sua distribuição, permitirão aplicar com sucesso as técnicas de prospecção mais adequadas, que levarão à descoberta de novos jazigos e reavaliação dos existentes. As ocorrências até agora conhecidas caracterizam-se pela sua pequena granularidade no interior de piritite e também no interior de silicatos, o que poderá tornar problemática a extracção do ouro. Sem o conhecimento pormenorizado da mineralogia dos diferentes jazigos nunca será possível estabelecer um bom diagrama de tratamento de minérios.

Ninguém poderá prever durante quanto tempo se manterá a grande procura de ouro e durante quanto tempo se manterá o seu preço aos níveis correntes. Nestas circunstâncias de dúvida, a melhor política será desenvolver em Manica somente os projectos cujos custos operacionais se situem abaixo da média da indústria.

BIBLIOGRAFIA

- ANÓNIMO (1988) — Mercur starts up its pressure oxidation autoclave plant. *Engineer. and Mining Journal*, June, pp. 26-31.
- ANHAEUSSER, C. R. (1974) — Archaean metallogeny in southern Africa. *Economic Geology Research Unit, Univ. of Witwatersrand. Information Circular n° 91*, 38p.
- ANHAEUSSER, C. R. (1975) — The geological evolution of the primitive earth: evidence from the Barbeton Mountain Land. *Economic Geology Research Unit, Univ. of Witwatersrand. Information circular n° 98*, 22p.
- ANHAEUSSER, C. R. (1976) — The nature and distribution of archaean gold mineralization in southern Africa. *Min.Sci. and Eng.*, n° 8, pp. 46-84.
- ARAÚJO, J. R. & GOUVEIA, J. C. (1965) — Contribuição para o estudo da geologia do Distrito de Manica e Sofala - Formações precâmblicas. *Bol.Serv.Geol.Minas de Moçambique*, n° 33, pp. 45-60.
- BEUNDERMAN, W. F. (1989) — Recent developments in the gold market. *Transactions IMM*, 98, (B), pp. 38-39.
- BLISS, N. W. & STIDOLPH, P. A. (1969) — The Rhodesian basement complex. *Spec.Publ.Geol.Soc.of South Africa*, n°2, pp. 305-333.
- BOYLE, R. W. (1959) — The geochemistry, origin and role of carbon dioxide, boron, water and sulphur in the Yellowknife gold deposits, Northwest Territories, Canada. *Econ.Geol.*, 54, 1506-1524.
- BOYLE, R. W. (1979) — The geochemistry of gold and its deposits. *Bull.Geol.Survey of Canada*, n° 280, 584 p.
- EALLES, H. V. (1961) — Fineness of gold in some Southern Rhodesia gold mines. *Trans. IMM*, n° 71, pp. 49-73.
- EMMONS, W. H. (1924) — Primary downward changes in ore deposits. *Trans.Am.Inst.Min.Metall. Engs.*, n° 70, pp. 964-997.
- EMMONS, W. H. (1937) — Gold deposits of the world. *McGraw Hill Book Co.* New York.
- FOSTER, R. P. (1989) — Archaean gold metallogeny, crustal evolution and mineral exploration in Zimbabwe. *Trans.IMM*, n° 98, (B), p. 41.
- FRIPP, R. E. P. (1979) — Gold metallogeny in the Archaean of Rhodesia in "The early history of the earth". B.F.Windley ed., *John Wiley and Sons*. N.York.
- GASS, I. (1974) — The earth physical resources. *The Open University Press*. Milton Keynes.
- GAY, N. C. (1964) — The composition of gold from the Barbeton Mountain Land. *Inf. Circ. Econ.Geol. Res.Unit.Univ.Witwatersrand*, 141 p.
- KEAYS, R. P. (1984) — Archaean gold deposits and their source rocks: the upper mantle connection in "Gold 82": the geology, geochemistry and genesis of gold deposits. Foster,R.P.ed.. *Balkema*, Rotterdam, pp. 17-51.
- KEAYS, R. P. & SCOTT, R. B. (1976) — Precious metals in oceanic basalts: implications for basalts as source rocks for gold mineralization. *Econ.Geol.*, n° 71, pp. 705-720.
- LIEBENBERG, W. R. (1972) — Mineralogical features of gold ores in South Africa in *Gold Metallurgy in South Africa. Chamber of Mines of South Africa*, pp. 352-446.
- McGREGOR, A. M. (1951) — The primary source of gold. *South African Journal of Science*, n° 47, pp. 157-161.
- OREY, F. L. C. d' (1975) — Contribution of termite mounds to locating hidden copper deposits. *Trans.IMM*, n° 84 (B), pp. 149-151.
- OREY, F. L. C. d' (1989) — Zonal distribution of precious metals in the Mondunguara Copper/Nickel Deposits, Western Mozambique. *ICAM III (Montreal, Canada)*, A 116.
- OREY, F. L. C. d' (1989a) — A ocorrência de komatiitos e a evolução do greenstone belt de Manica. *Garcia de Orta (em publicação)*.
- PERRAULT, G. (1989) — Gold litho-geochemistry in NW Quebec. The source rock problem. *GAC/MAC Abstracts*, Montreal, vol. 14, p.A92.
- PHAUP, A. E. (1964) — Gold Mines in Southern Rhodesia in "The geology of some deposits in southern Africa. S.H.Haughton ed. - *Geol.Soc. of S. Africa*, volume 2, pp. 1-7.
- PRETORIUS, D. A. & HEMPKINS, W. B. (1967) — Statistical moments of the frequency distribution of Rhodesian gold mineralization in time and space: a preliminary analysis. *Geol.Soc. of S.Africa. Annexure to vol. LXXI*, pp. 9-20.
- RIDLER, R. H. (1970) — Relationship of mineralization to volcanic stratigraphy in the Kirkland-Larder Lakes area, Ontario. *Proc.Geol.Assoc. of Canada*, n° 21, pp. 32-42.
- ROBERTS, R. G. (1987) — Ore deposits models n°11: Archaean lode gold deposits. *Geos.Canada*, n° 14, pp. 37-52.
- ROCK, N. M. S. & GROVES, D. I. (1988) — Do lamprophyres carry gold as well as diamonds? *Nature*, London, n° 332, pp. 253-255.
- SAAGER, R. (1973) — Metallogenese präkambrischer Goldvorkommen in der vulcano-sedimentären Gesteinskomplexen der Swaziland-Sequenz in Sud Afrika. *Geol.Rundschau*, n° 62, pp. 888-901.
- SHERBAKOV, Y. G. & PEREZHOGIN, G. A. (1963) — Geochemical relations between gold mineralization, intrusives and enclosing rocks. *Geochemistry*, n° 9, pp. 882-890.
- STEWART, A. L. (1989) — Developments in gold processing. *International Mining*, July, pp. 8-11.
- STOWE, C. W. (1971) — Summary of the tectonic development of the Rhodesian Archaean craton. *Geol.Soc. of Australia*, Special Pub. n°3, pp. 377-383.
- SUMMERS, R. (1969) — Ancient Mining in Rhodesia. *National Museum of Rhodesia*, Salisbury, Memoir n°3.
- VILJOEN, R. P.; SAAGER, R. & VILJOEN, M. J. (1970) — Some thoughts on the origin and processes responsible for the concentration of gold in the early precambrian of southern Africa. *Mineralia Deposita*, n° 5, pp. 164-180.
- WILSON, J. F. (1973) — The Rhodesian Archaean Craton - an essay on cratonic evolution. *Phil.Trans. Royal Society of London*, vol.A, n° 273, pp. 389-411.



**DOCUMENTAÇÃO
FOTOGRAFICA**

ESTAMPA 1

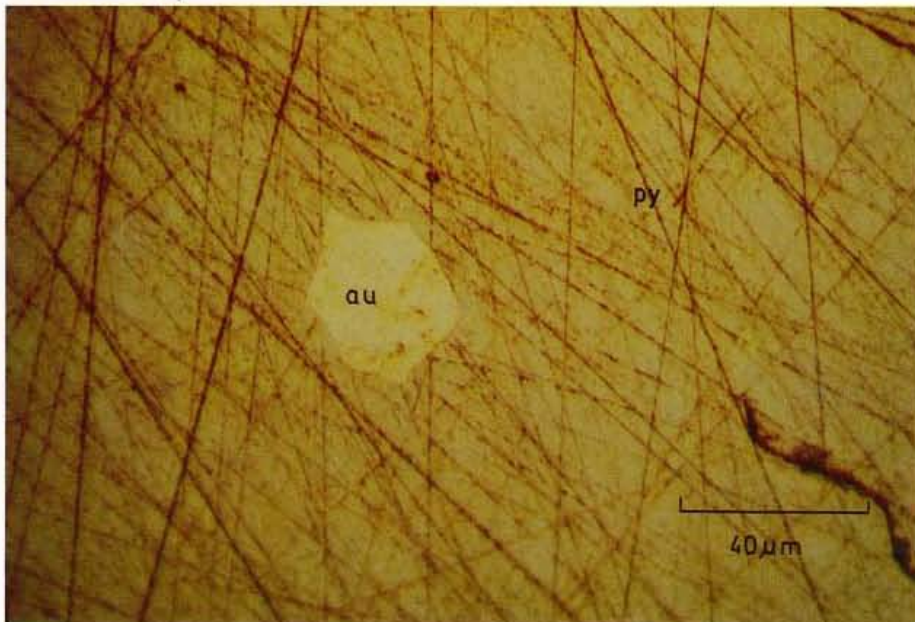
Fig. 4 — Inclusão de ouro em pirrotite hexagonal. Mina Mondunguara..

Fig. 5 — Inclusão de ouro (au) em pirrotite (py), apresentando uma textura poligonal convexa. Ouro e pirite são possivelmente contemporâneos. Mina Bragança.

ESTAMPA 1



4



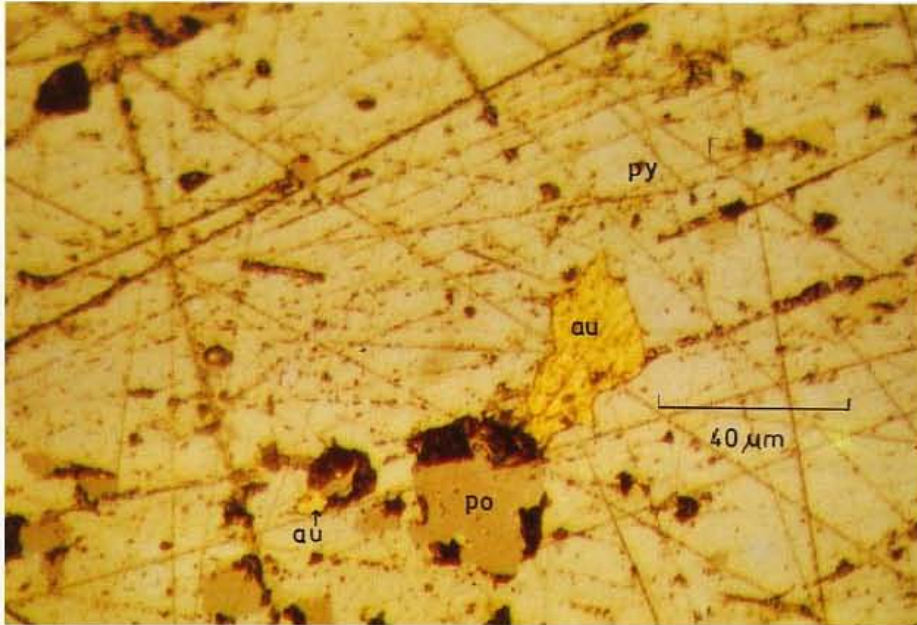
5

ESTAMPA 2

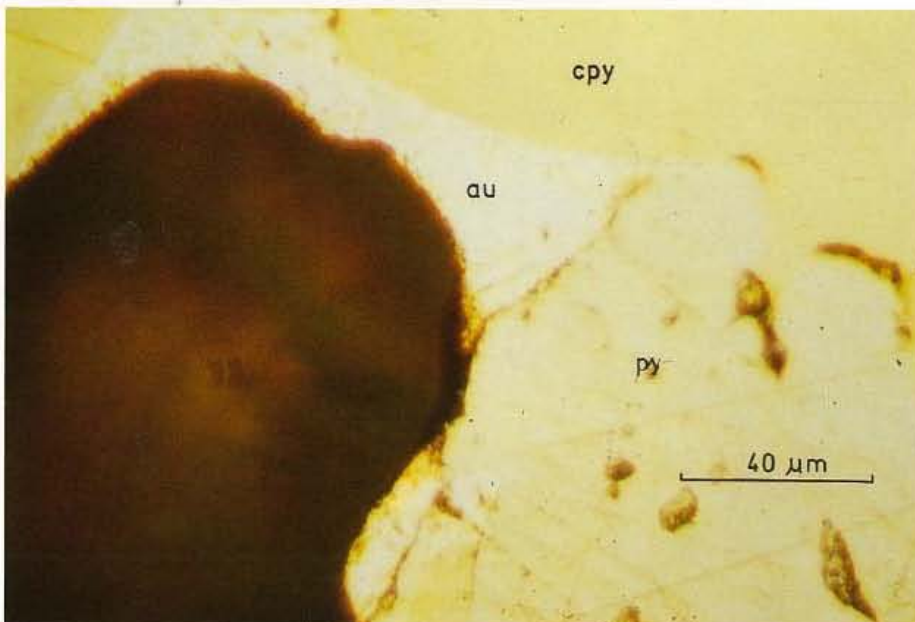
Fig. 6 — Sulfurização de pirrotite (po) acompanhada de ouro (au) tardio no interior de pirite (py). Mina Guy Fawkes.

Fig. 7 — Ouro tardio (au) no contacto de pirite (py), calcopirite (cpy) e olivina (negro). A olivina é o mineral inicial, os sulfuretos substituem-na e o ouro com textura de lados c[^]ncavos foi o último mineral a precipitar. Mina Monarch.


ESTAMPA 2



6



7

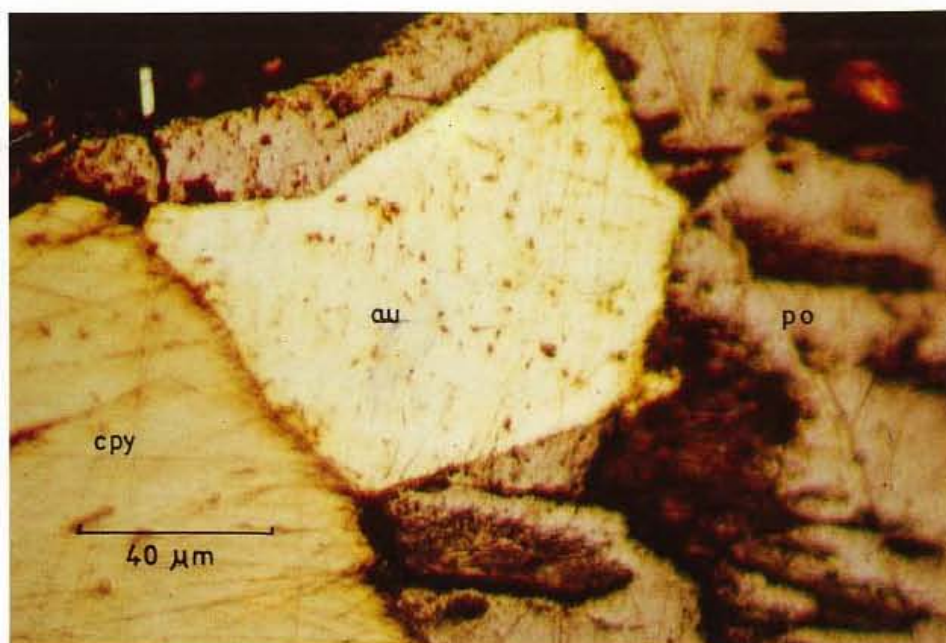


ESTAMPA 3

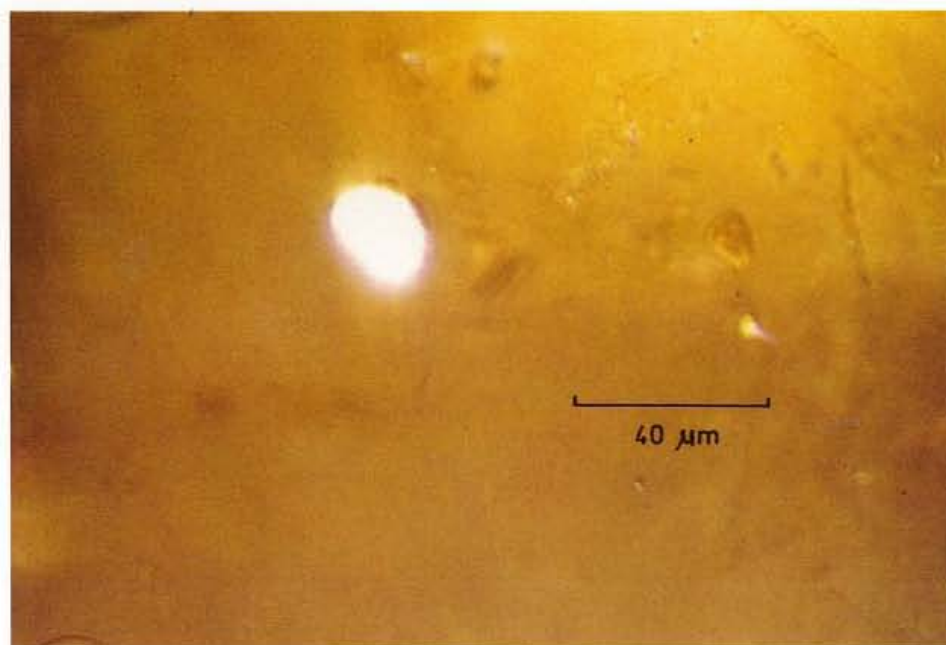
Fig. 8 — Ouro (au) no contacto de pirrotite (po) ligeiramente alterada e pirite (py). O ouro é claramente posterior aos sulfuretos. Mina Cantão.

Fig. 9 — Inclusão de ouro em Olivina nos basaltos do encaixante da Mina Monarch.


ESTAMPA 3



8



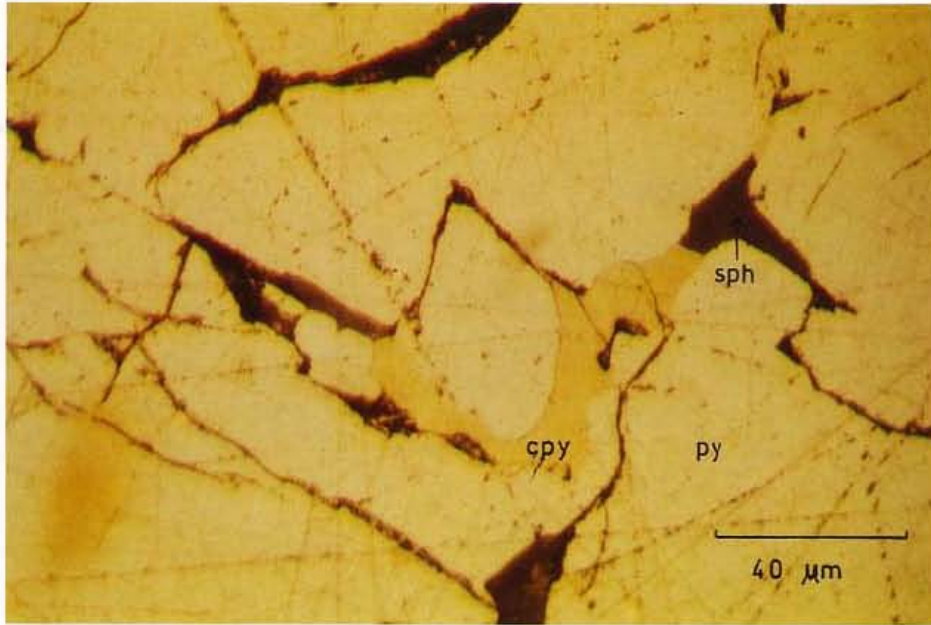
9



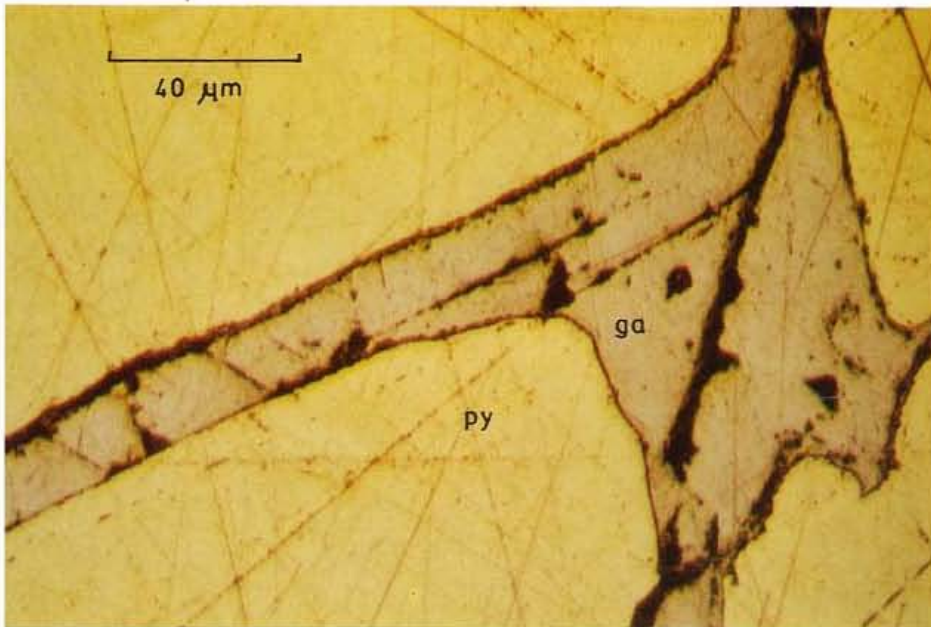
ESTAMPA 4

Fig. 10 — Esfalerite (sph) e calcopirite (cpy) tardios, preenchendo fracturas e substituindo piritee (py). Mina Fawkes.

Fig. 11 — Galena (ga) tardia substituindo pirite (py). Mina Two Fools.



10



11