

PRINCIPAIS DOMÍNIOS METALOGENÉTICOS DO OURO: REPRESENTATIVIDADE NO TEMPO GEOLÓGICO, SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Roberto Perez XAVIER*

RESUMO

A distribuição dos depósitos de ouro ao longo da coluna geológica do Arqueano ao Recente não é uniforme mas marcadamente assimétrica. Das épocas geológicas da Terra, o Arqueano se constitui no período mais favorável às mineralizações auríferas que se concentraram devido à combinação de eventos tectonometamórficos e ígneos que deram origem aos greenstone belts, podendo ser encontradas em praticamente todas as áreas do planeta. Exemplos na Província Estrutural Superior e Slave no Canadá incluem os distritos auríferos de Porcupine, Kirkland-Larder Lake, Noranda Cadillac-Malartic-Val d'Or, Long Lac, Red Lake e Yellowknife, ao passo que nos escassos terrenos pré-cambrianos dos U.S.A. a mina de Homestake figura como o depósito de ouro mais expressivo. Nos Crátons de Kaapvaal e da Rodésia da África Meridional destacam-se os distritos de Barberton, Steynsdorp e Murchison e diversos outros depósitos no Zimbábue. Na Austrália Ocidental, encontram-se concentrados preferencialmente nos greenstone belts do Cráton do Yilgarn. Finalmente, na Índia são famosos os distritos auríferos de Kolar que se situam nos greenstone belts do sistema Dharwar. As mineralizações auríferas do Proterozóico são de pequeno porte e de pouca expressividade econômica (exceto Witwatersrand), reaparecendo de forma conspícua apenas a partir do Mesozóico, com os depósitos mais jovens mostrando um teor mais alto em prata. Exemplos importantes compreendem Mother Lode em rochas jurássicas de Sierra Nevada na Califórnia (U.S.A.) e os depósitos terciários associados a cobre porfirítico (por exemplo Bingham, Utah e vários depósitos ao longo da cadeia Andina), a rochas carbonáticas (por exemplo Carlin, Nevada) e a veios polimetálicos (por exemplo Butte, Montana). O Brasil, de forma análoga a outras áreas arqueanas, tem nos greenstones belts as mais importantes fontes de ouro, quer seja diretamente na sua forma primária (por exemplo Morro Velho, Raposos, Crixás e Andorinhas), ou indiretamente associado aos pláceres atuais (garimpos oriundos da Amazônia Oriental). O Proterozóico brasileiro, em termos de mineralizações auríferas importantes, caracteriza-se principalmente pelos conglomerados do Grupo Jacobina, Formação Moeda e Chapada Diamantina, pela Mina de Passagem no Supergrupo Minas, Serra Pelada na Formação Rio Fresco e a Faixa Weber no Greenstone Belt do Rio Itapicuru (BA). Em qualquer análise metalogenética de uma província aurífera onde se pretende compreender as leis que regem suas mineralizações no espaço e tempo, deve-se levar em conta a existência de uma multitude de metalotectos reveladores, suas diversas combinações e intensidade dos processos, especialmente no caso dos depósitos de ouro em greenstone belts arqueanos.

ABSTRACT

The distribution of gold deposits in rocks of the geological column from Archaean to Recent is not uniform but is markedly asymmetrical. During the Earth's history, the Archaean was the most favourable period for the concentration of gold, due mainly to the multiple combination of tectono-metamorphic and igneous events which gave rise to greenstone belts. Important gold deposits in Archaean greenstone belts are found in almost all cratonic areas of the planet. Examples in the Superior and Slave Structural Provinces of Canada include the Porcupine, Kirkland-Larder Lake, Noranda Cadillac-Malartic-Vald'Or, Long Lac, Red Lake districts and the Yellowknife district in the North West Territories. The Homestake mine is an important early Precambrian deposit in the United States. The Kaapvaal and Rhodesian Cratons of Southern Africa con-

* Instituto de Geociências — UNICAMP — Caixa Postal 6152 — 13.100 Campinas — SP, Brasil.

tain the deposits of the Barberton, Steynsdorp and Murchison districts as well as many districts in Zimbabwe. The important Kalgoorlie and numerous other gold districts of Western Austrália occur in Archaean greenstone belts of the Yilgarn Block. Finally, the famous Kolar goldfields of India occur in Archaean greenstones of the Dharwar system. In the Proterozoic, gold mineralization are rare, of small size and of low grade (except Witwatersrand), whereas in the Phanerozoic they again become economically important, notably from the Mesozoic onward, with the younger deposits often containing significant silver. An important Mesozoic example is the Mother Lode in Jurassic rocks of Sierra Nevada in California (U.S.A.), where as Tertiary deposits are mainly associated with porphyry coppers (e.g. Bingham, Utah and several deposits along the Andean Cordillera), carbonatic rocks (e.g. Carlin, Nevada) and polymetallic veins (e.g. Butte, Montana). In Brazil, similarly to other Archaean terranes, the greenstone belts are the most important source of either primary (e.g. Morro Velho, Raposos, Crixás and Andorinhas) or secondary (e.g. placer deposits of the Eastern Amazon) gold deposits. The Brazilian Proterozoic is represented in terms of auriferous mineralization by the conglomerates of the Jacobina Group, Moeda Formation and Chapada Diamantina as well as by Serra Pelada of the Rio Fresco Formation and the Weber Belt of the Rio Itapicuru Greenstone Belt (BA). In any metallogenic analysis of an auriferous province whose aim is the understanding of the laws which governed the mineralizations either in time or space, one must take into account the existence of a multitude of metalotects, their relationship and intensity of the processes, notably in the case of gold deposits in Archaean greenstone belts.

1 INTRODUÇÃO

O ouro é membro do Grupo IB da Tabela Periódica, juntamente com o cobre e prata, apresentando-se sob dois estados principais de oxidação, +1 (auroso) e +3 (áurico), que em soluções hidrotermais formam vários tipos de complexos com espécies químicas tais como: CO , Cl^- , Br^- , NH_3 , HS^- , S^{-2} , COS , HCN , CNS^- etc.

Nas mineralizações auríferas, o metal nativo constitui o principal mineral de minério, embora possa também ocorrer freqüentemente sob a forma de teluretos com Ag (silvanita, calaverita, petzita, krennerita e nagvágita) e de forma menos constante como antimoniato (auroestibita, AuSb_2), seleniato (fischesserita — Ag_3AuSe_2), sulfeto (uytenbogaardtita — Ag_3AuS_2) e um bismuteto (maldonita — Au_2Bi).

A abundância deste metal nas partes superiores da litosfera é de aproximadamente 0.0005 ppm sendo a razão $\text{Au/Ag} = 0.1$ (BOYLE, 1980a), ocorrendo em todos os tipos de rochas, na água do mar e mesmo em animais e plantas (BOYLE, 1980b).

Estima-se que o total de ouro explorado no planeta até 1975 foi de 80.000 t,

sendo 2% produzido anteriormente a 1492, 8% durante 1492 — 1800, 25% no intervalo de 1801 — 1900 e 65% de 1901 — 1975**.

Estes valores já nos fornecem um quadro aproximado da importância que este elemento vem adquirindo na indústria mundial devido às suas múltiplas propriedades: dureza, facilidade de formar ligas com Ag, Cu e Pt, ductibilidade, maleabilidade, condutividade termoelétrica e sua resistência à corrosão na ação de oxigênio, enxofre e ácidos comuns (BOYLE, 1980a).

Nos dias de hoje, principalmente com a sua constante valorização no mercado e suas aplicabilidades na indústria eletrônica (com o "boom" da informática), nuclear, elétrica e espacial, a importância do ouro atinge níveis ainda mais altos, impelindo conseqüentemente as empresas de mineração a darem uma ênfase maior à pesquisa e exploração deste metal.

O Brasil é atualmente o 3.º maior produtor mundial de ouro (em torno de 55 t/ano) sendo superado apenas pela África do Sul (700 t/ano) e U.R.S.S. (300 t/ano) estando na frente do Canadá, Austrália, Estados Unidos, Filipinas, Papua e Nova Guiné (Fonte: Minérios: Extração e Processamento, 1985).

** Os valores apresentados são apenas aproximações.

Dessa forma, é objetivo deste trabalho, baseando-se no volume de dados acumulados através do estudo de inúmeros depósitos de ouro, abordar a sua representatividade no tempo geológico, a distribuição areal dos principais domínios deste metal e finalmente avaliá-los em termos econômicos.

2 A DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS PRINCIPAIS DOMÍNIOS METALOGENÉTICOS DO OURO

2.1 Pré-Cambriano

2.1.1 Arqueano

Das épocas geológicas que compõem a história geológica da Terra, o Arqueano se constituiu no período mais favorável às concentrações de ouro, embora tenha também havido um aumento significativo na acumulação deste metal no Cambriano, especialmente a partir do Mesozóico (fig. 1) (WOODALL, 1979).

Apesar de os terrenos arqueanos aflorantes compreenderem uma pequena porção da superfície do planeta, têm contribuído com aproximadamente a metade da produção mundial de ouro, da qual 20% são provenientes de seqüência vulcano-sedimentares do tipo greenstone belt.

Estes terrenos arqueanos desenvolveram-se nas bordas de áreas cratônicas e caracterizaram-se por um estilo deformacional complexo, acompanhado de um metamorfismo geralmente de fácies xisto verde e plutonismo granítico de escala regional.

Os greenstone belts apresentam relações estratigráficas de difícil esclarecimento, embora classicamente considere-se que da base para o topo sejam compostos por uma ampla diversidade de rochas vulcânicas, variando em composição de ultramáficas a félsicas e rochas sedimentares de origem vulcanoclástica, clástica e química (ANHAEUSSER, 1980; HUTCHINSON & BURLINGTON, 1982).

Embora apareçam mais freqüentemente associados às seqüências de rochas vulcânicas máficas (mesmo de diferentes ciclos na seqüência estratigráfica),

as mineralizações auríferas podem ocorrer comumente ao longo de todo o perfil destes terrenos vulcano-sedimentares (ANHAEUSSER, 1980; HUTCHINSON & BURLINGTON, 1982).

Concentram-se, geralmente após as intrusões graníticas, eventos deformacionais e metamorfismo, sob a forma de veios, stockworks ou ao longo de zonas de rupturas, sugerindo assim uma origem epigenética para estes tipos de depósitos, ou seja, a remobilização do metal de sua fonte primária para se alojar em sítios estruturais favoráveis.

Secundariamente, mineralizações auríferas em terrenos vulcano-sedimentares arqueanos associam-se sin geneticamente às fácies sulfeto ou carbonato de formações ferríferas bandadas, que são consideradas como representativas de precipitados químicos subaquosos de origem exalativa.

Finalmente, o ouro ainda dentro do contexto dos greenstone belts arqueanos pode ser muitas vezes extraído em quantidades econômicas como subproduto dos depósitos de sulfetos maciços de metais-base (Pb, Zn, Cu) (por ex. Depósito de Corbet no Distrito de Noranda, Canadá, onde o teor de ouro alcança 0.93 g/t) (KNUCKEY & WATKINS, 1982).

Em distritos onde ambos os tipos de depósitos ocorrem juntos, apesar de alguma superposição, as concentrações auríferas situam-se em níveis estratigráficos mais inferiores e associadas às rochas vulcânicas ultramáficas e máficas, ao passo que os sulfetos de metais-bases aparecem em níveis mais superiores e com rochas vulcânicas félsicas (HUTCHINSON & BURLINGTON, 1982).

Depósitos de ouro em terrenos vulcano-sedimentares arqueanos são encontrados em praticamente todas as áreas cratônicas do planeta (fig. 2) embora no Fanerozóico ainda se observam sucessões eugeossinclinais comparáveis, portadoras de tais mineralizações (por ex. Mother Lode, U.S.A.) (HUTCHINSON & BURLINGTON, 1982):

América do Norte — A Província Superior do Escudo Canadense figura como a maior área produtora de ouro proveniente de terrenos granito-greenstone do mundo, com uma produ-

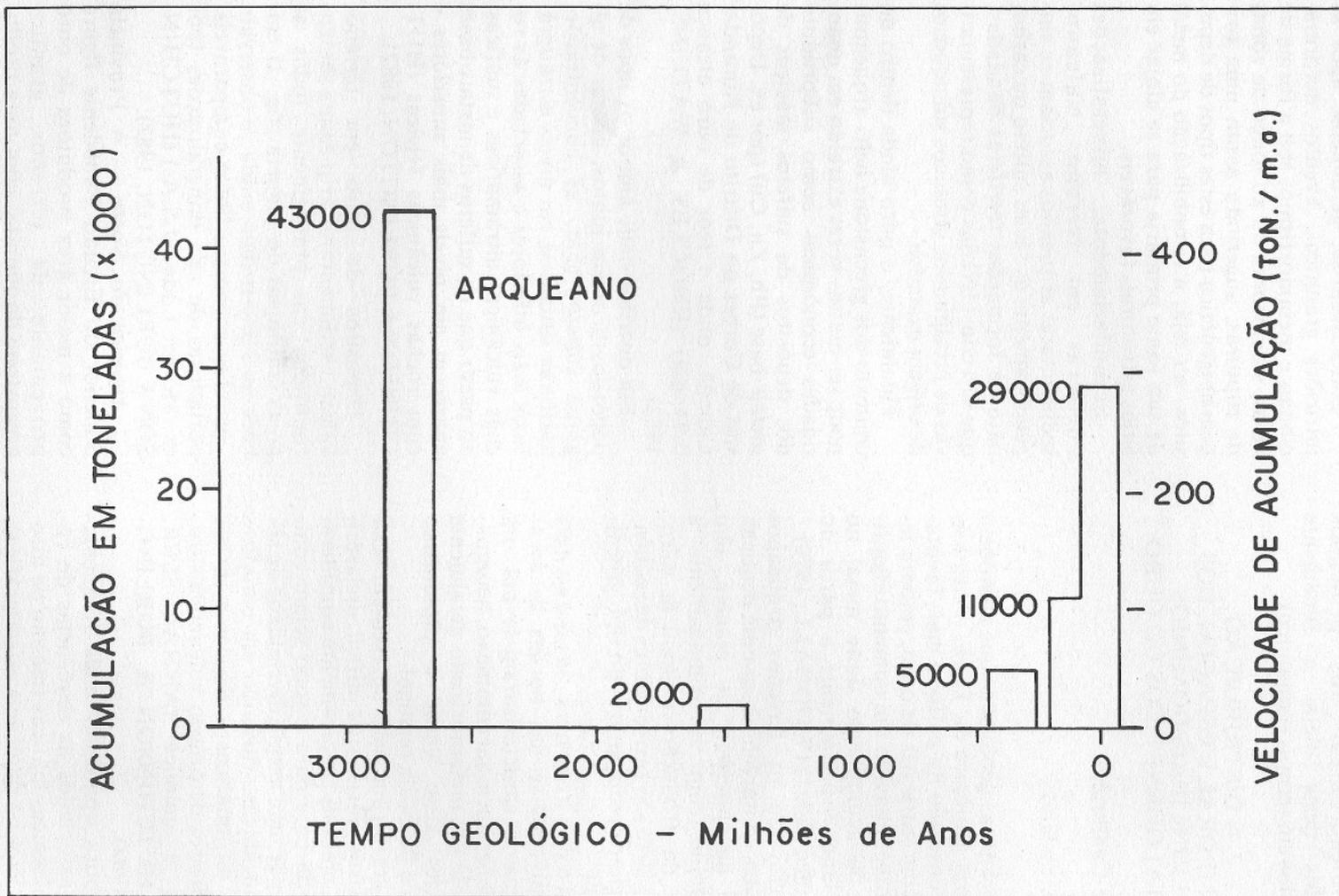


FIGURA 1 — A distribuição do ouro através do tempo geológico (WOODALL, 1979).

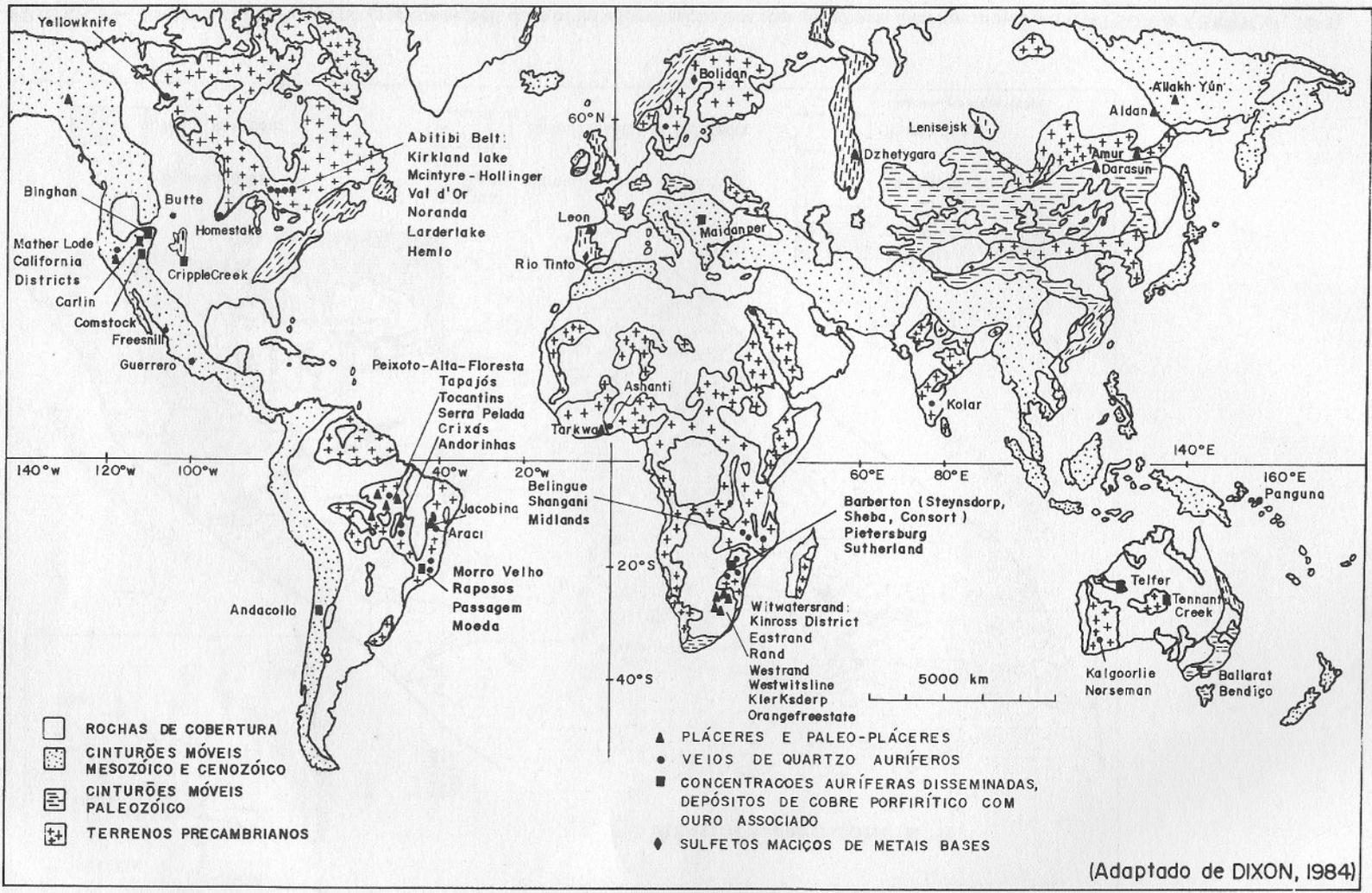


FIGURA 2 — Distribuição mundial dos principais depósitos de ouro.

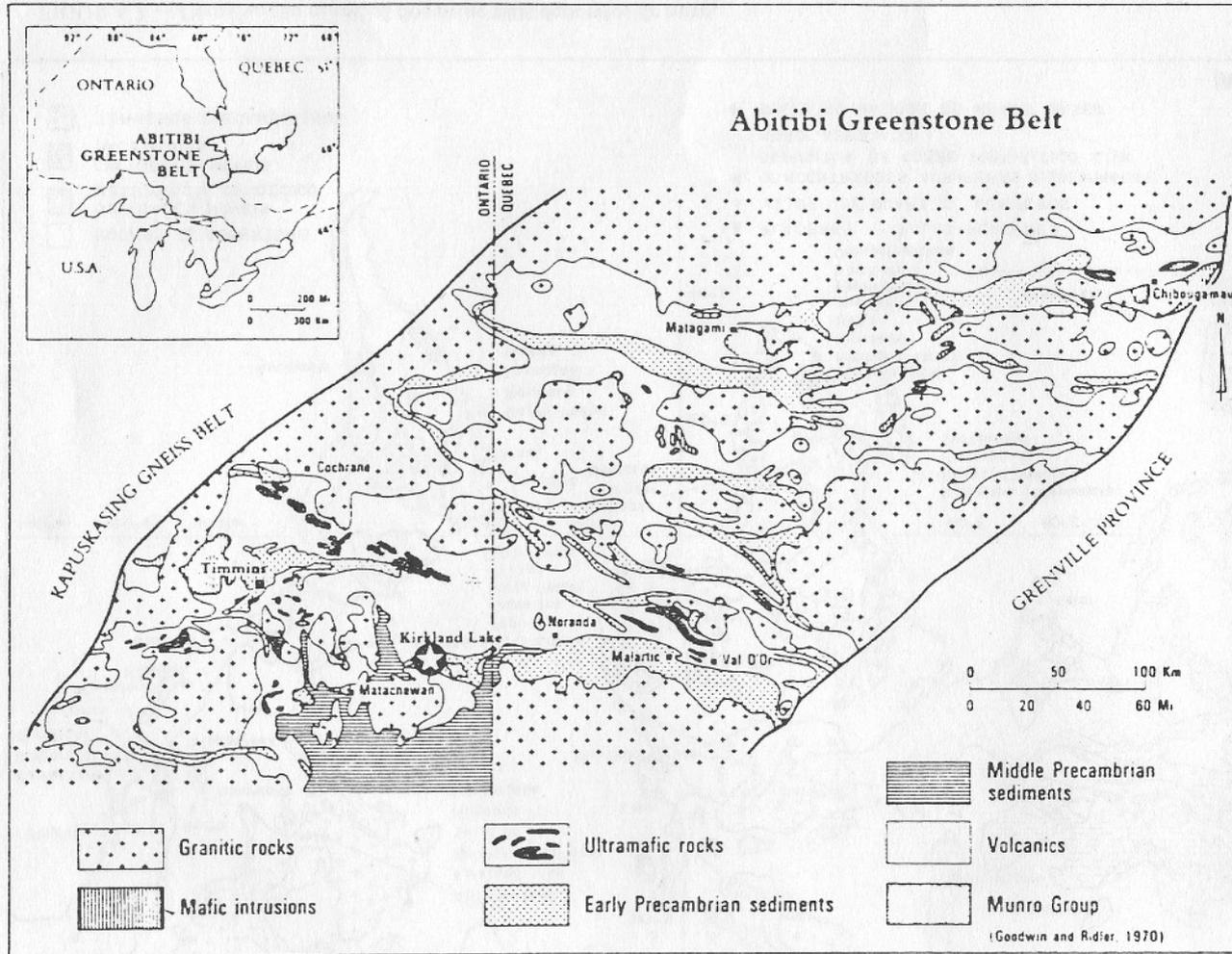


FIGURA 3 — Geologia simplificada do greenstone belt do Abitibi e localização dos seus principais distritos mineiros (WATSON & KERRICH, 1983).

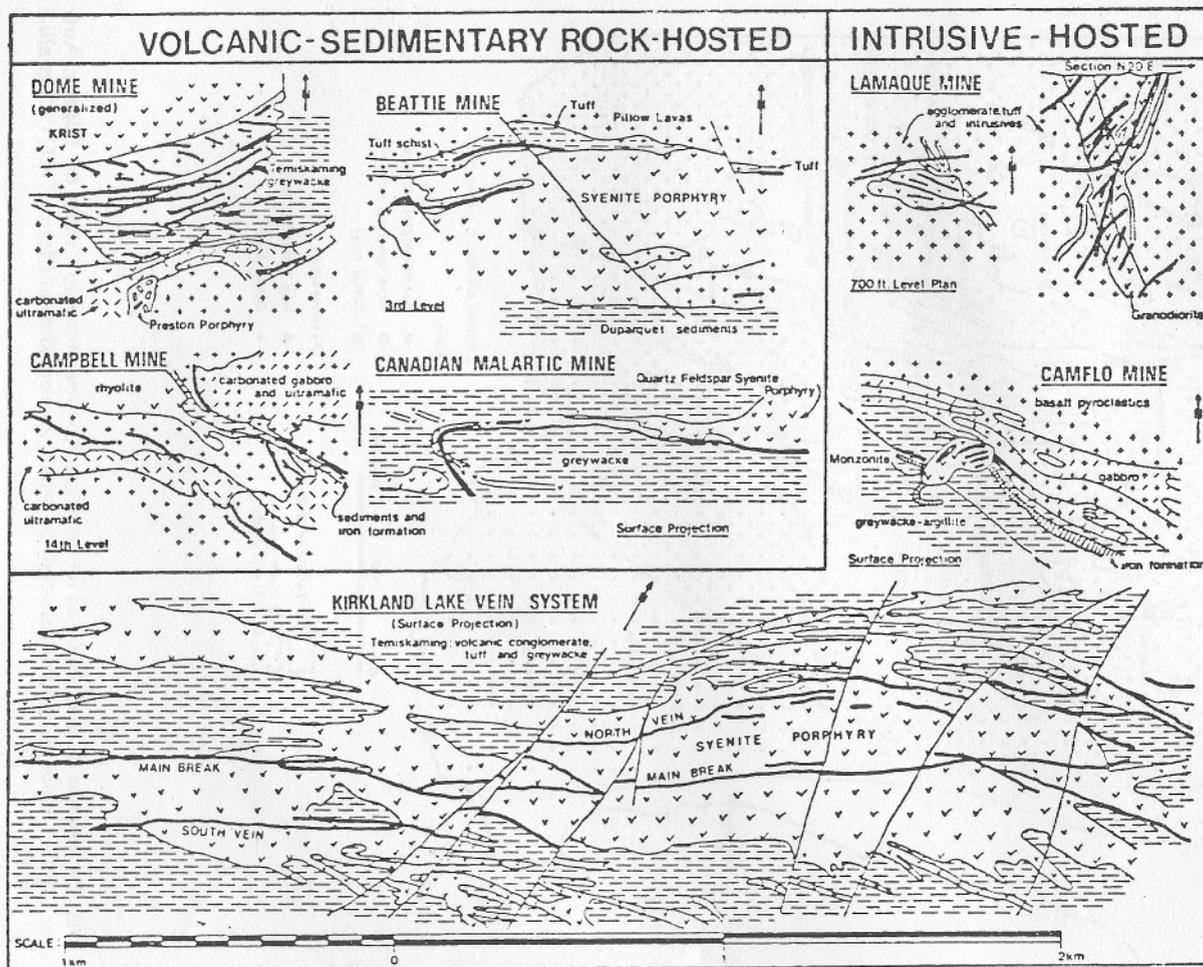


FIGURA 4 — Mapas geológicos simplificados de alguns depósitos de ouro da Província Superior do Canadá: Dome Mine, Blattie Mine, Canadian Malartic Mine, Lamaque Mine, sistemas de veios de Kirkland Lake e Camflo Mine (HODGSON & MEGEEHAN, 1980).

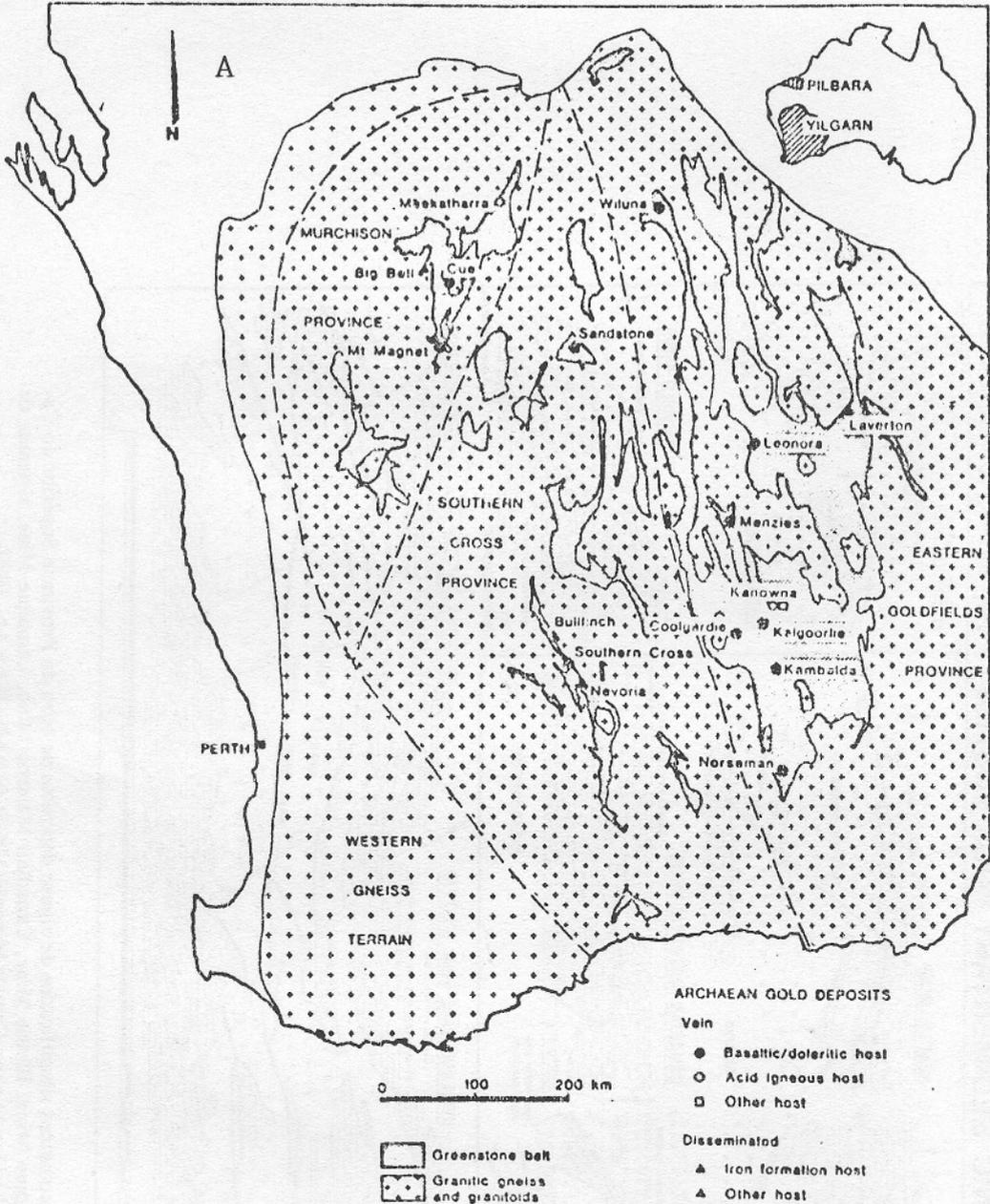
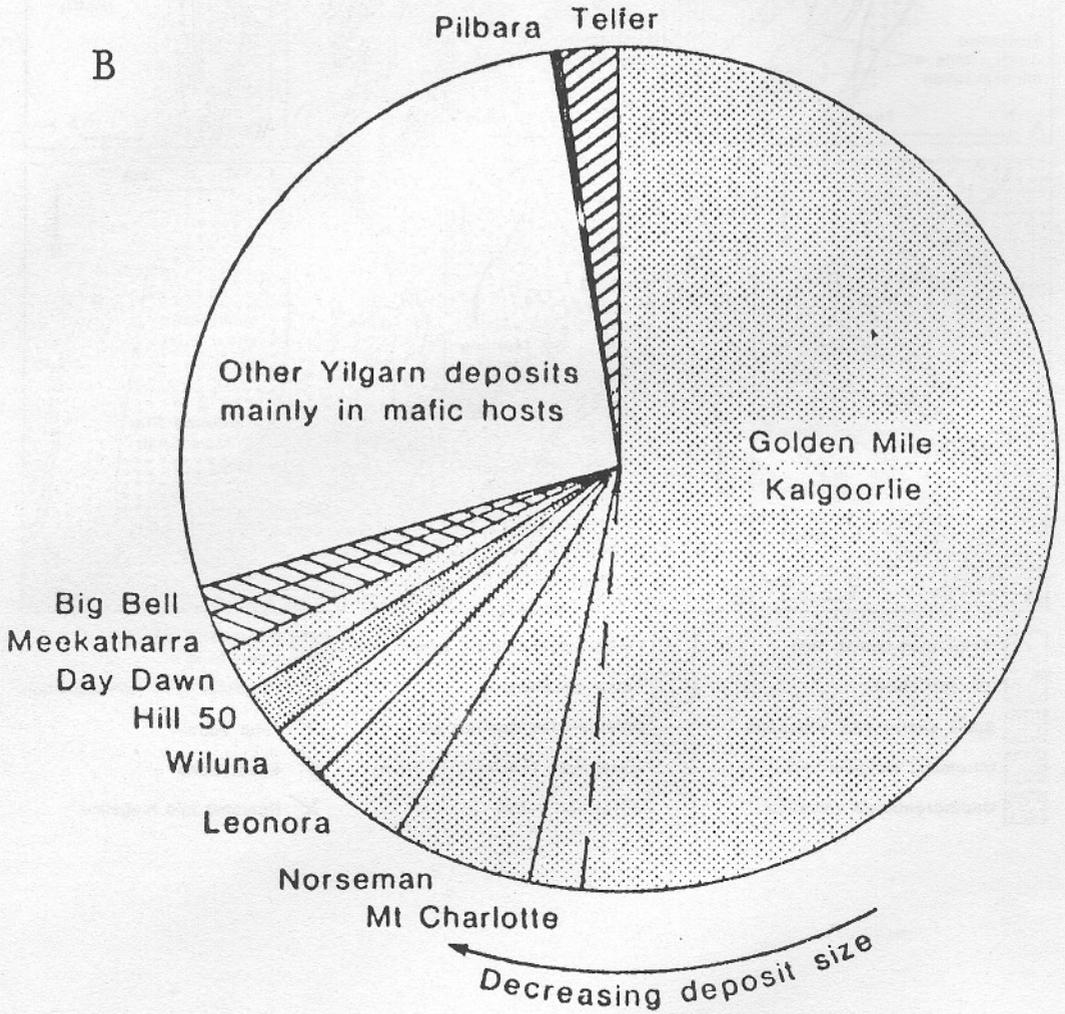


FIGURA 5 — (A) Os terrenos de alto grau e os terrenos granito-greenstone do Cráton do Yilgarn, Austrália Ocidental, juntamente com os principais depósitos auríferos (GROVES et alli., 1982).



(B) Contribuição em termos de produção dos principais depósitos de ouro do Cráton do Yilgarn em relação aos do Cráton do Pilbara e dos terrenos Proterozóicos (Telfer) (GROVES et alli., 1982).

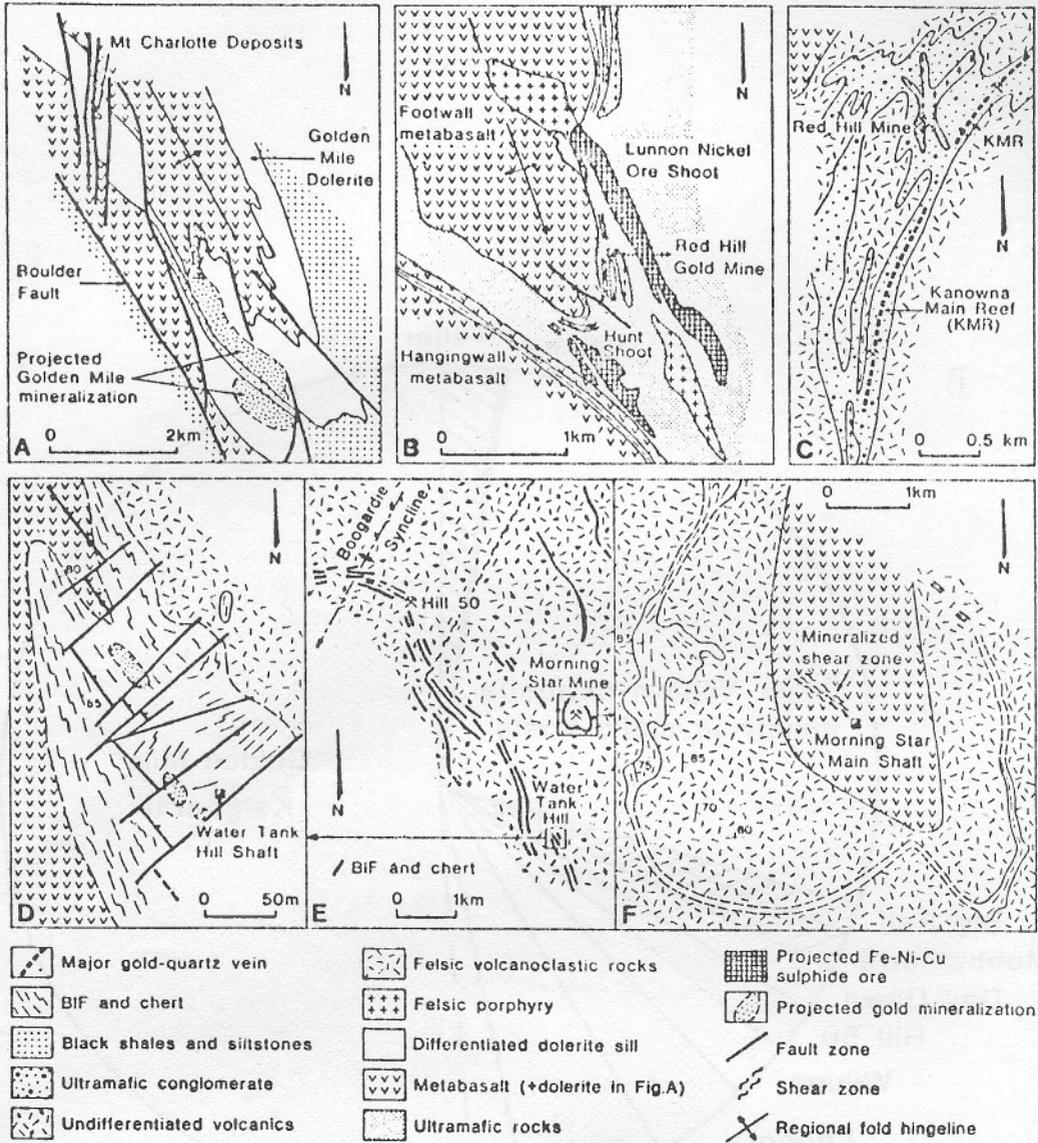


FIGURA 6 — Mapas esquemáticos do arcabouço geológico de vários depósitos de ouro da Austrália Ocidental (GROVES et alli, 1982):

- (A) Kalgoorlie com as minas de Charlotte e Golden Mile;
- (B) Kambalda com a mina de Hunt;
- (C) Área de Kanowna com as minas de Red Hill e Kanowna Main Reef;
- (D) Mina de Water Tank Hill;
- (E) Mt. Magnet;
- (F) Morning Star.

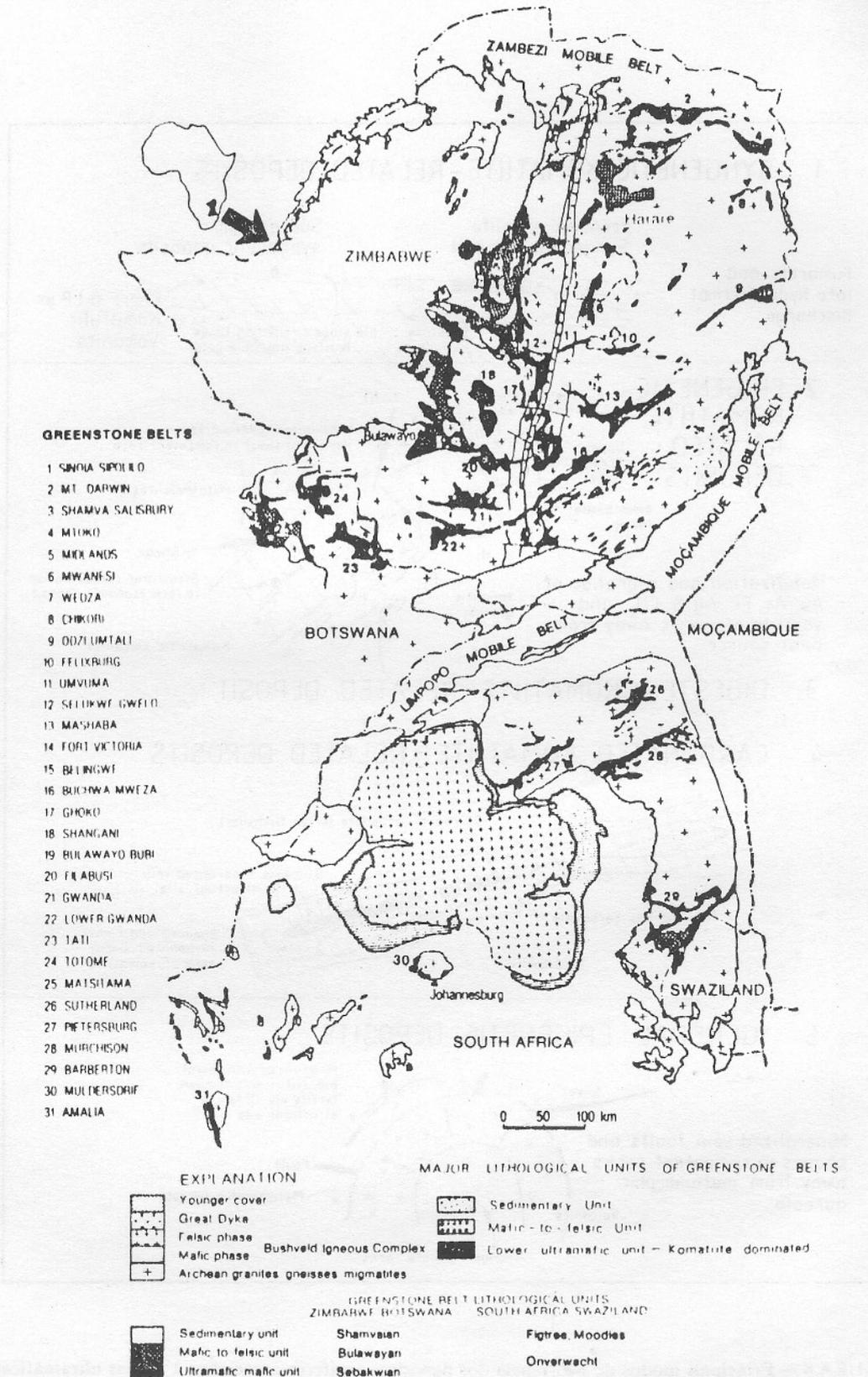


FIGURA 7 — Mapa de localização dos Crátons de Kaapvaal e Rodésia na África Meridional juntamente com seus principais greenstone belts arqueanos (VILJOEN, 1982b).

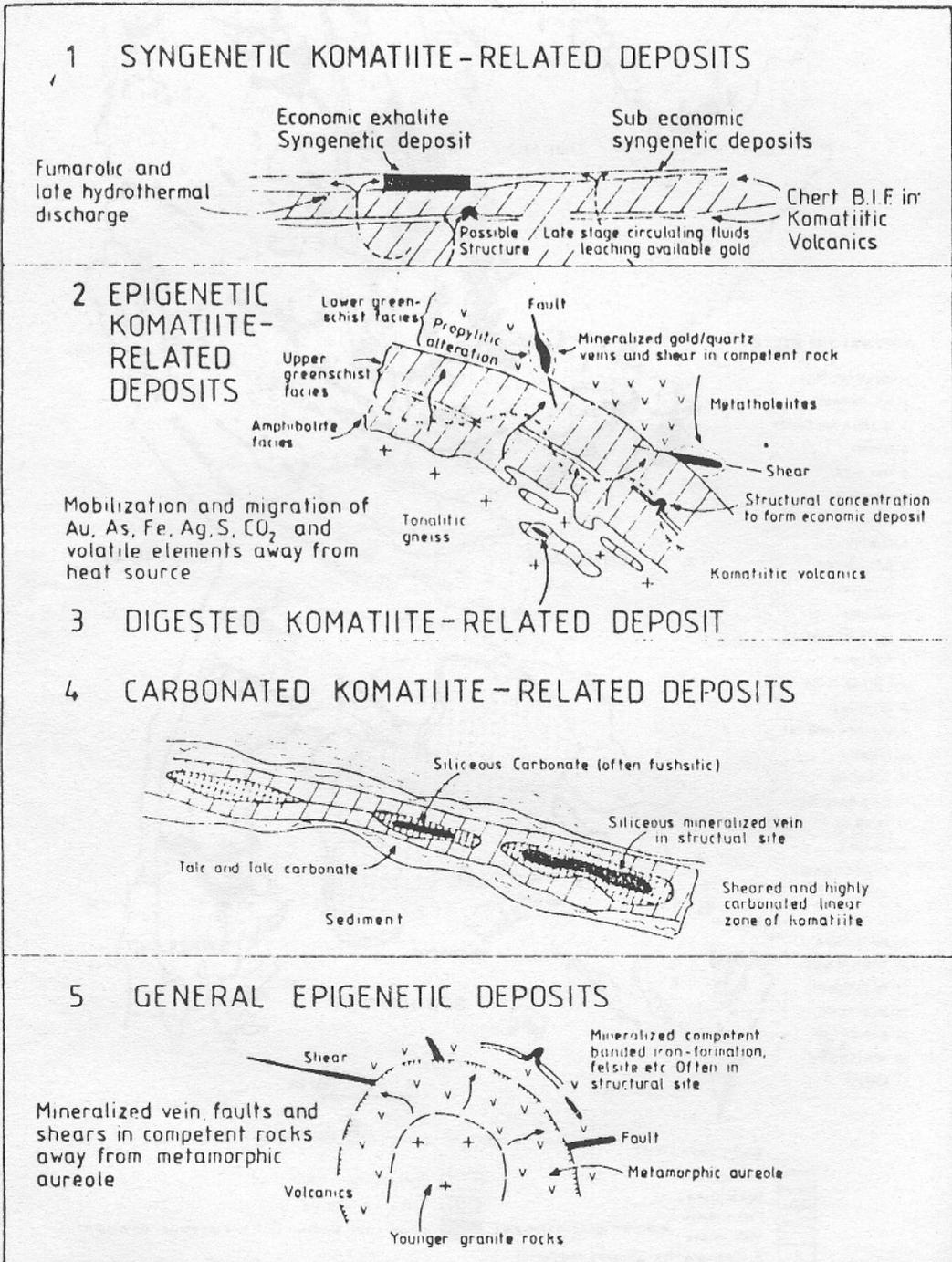
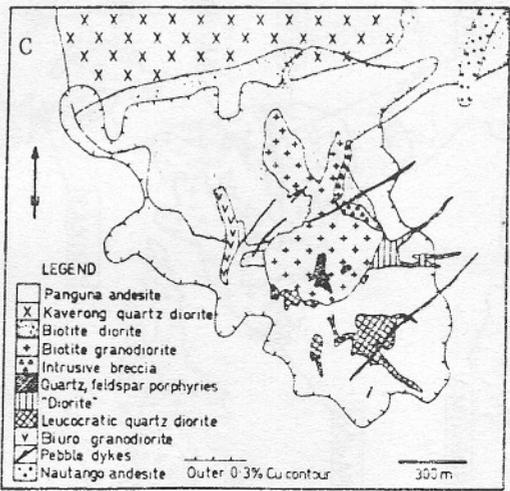
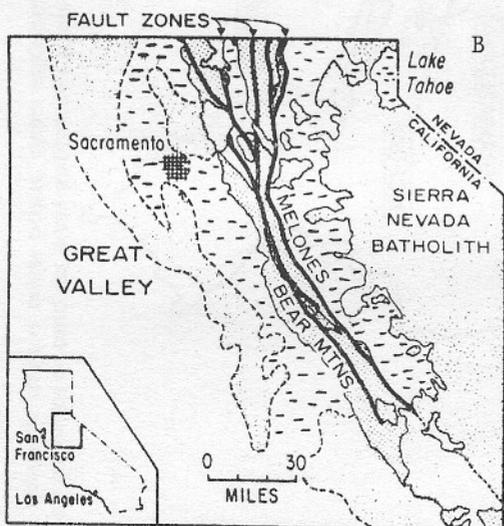
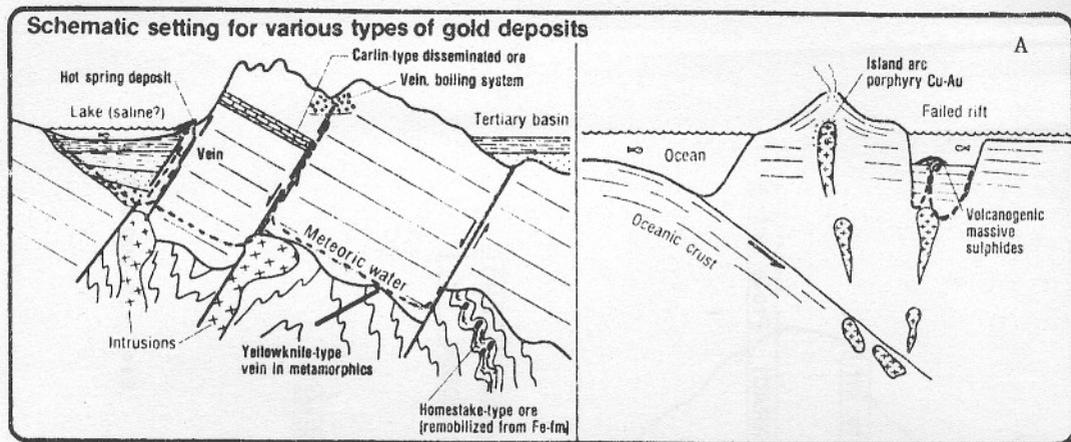


FIGURA 8 — Principais modos de ocorrência dos depósitos auríferos associados à rochas ultramáficas, notadamente Komatiitos, em greenstone belts arqueanos da África Meridional (VILJOEN, 1982b).



- GREAT VALLEY SEDIMENTS
- PLUTONICS
- LOWER CRETACEOUS PLUTONS
- ▨ SERPENTINITES
- ▨ MESOZOIC
- ▨ PALEOZOIC
- ▨ MOTHER LODGE

FIGURA 9 — (A) Modo de ocorrência esquemático de vários tipos de depósitos de ouro do Pré-Cambriano e Fanerozóico (LEWIS, 1982);
 (B) Mapa geológico da Califórnia Central mostrando o arcabouço geológico de Mother Lode (LEWIS, 1982);
 (C) Esquema geológico do depósito de Cu-Au de Panguna, Nova Guiné (EASTOE, 1978).

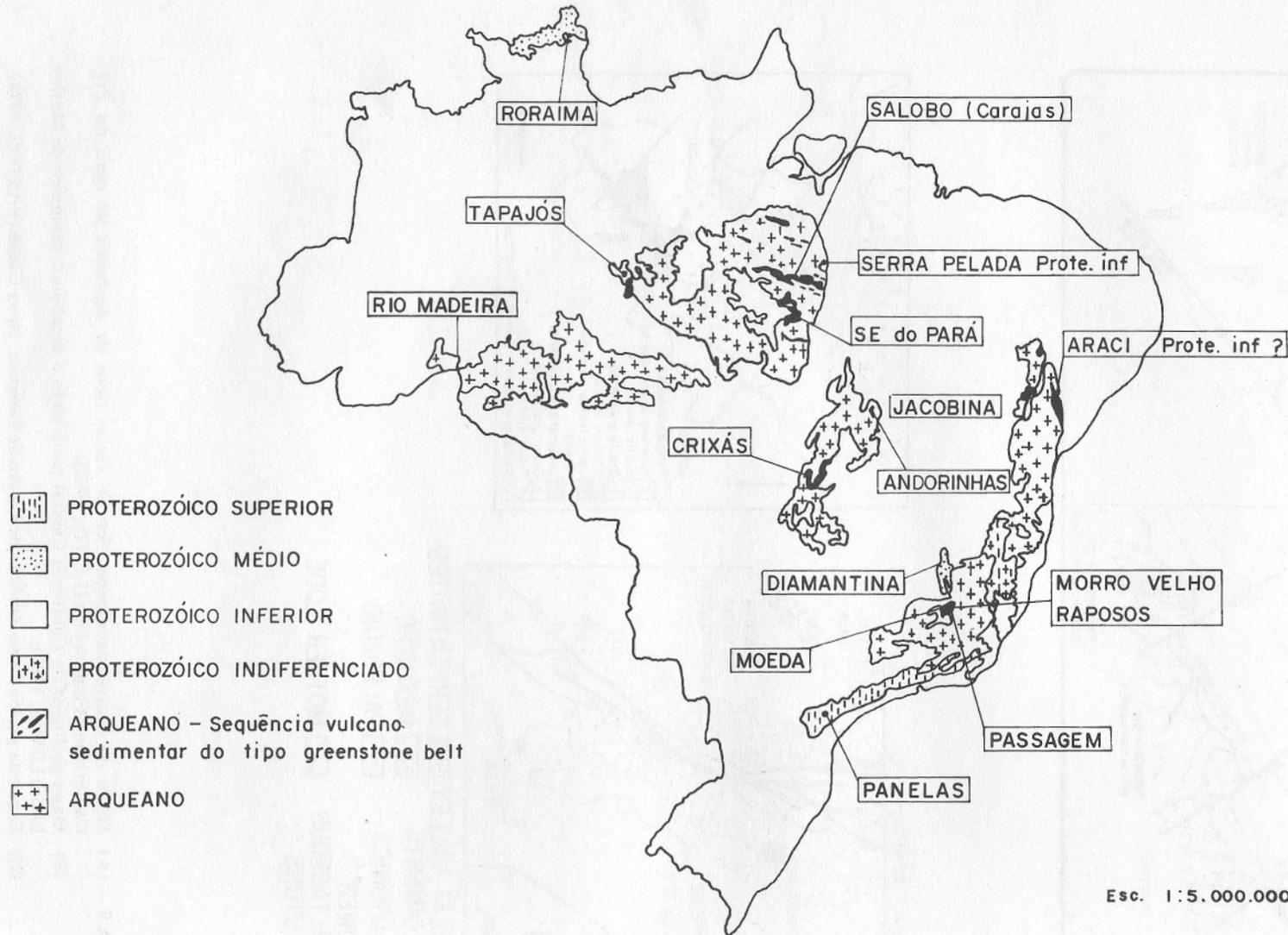


FIGURA 10 — Localização aproximada dos principais depósitos de ouro em áreas Arqueanas e Proterozóicas do Brasil. Incluem também depósitos onde o metal ocorre como subproduto (SCHOBENHAUS, 1984).

ção total acima de 4.000 t (BERTONI, 1983).

Os terrenos do tipo greenstone nesta província variam de pequenas faixas isoladas a grandes campos com várias centenas de quilômetros de comprimento, todos caracteristicamente com um "trend" direcional E-SE (GOODWIN, 1982).

Os depósitos de ouro mais expressivos da Província Superior situam-se no greenstone belt do Abitibi, com 660 km de comprimento e 250 km de largura, englobando os distritos mineiros de Porcupine (Timmins), Kirkland Lake — Larder Lake, Malartic, Val D'Or e Duparquet, embora outros depósitos também importantes apareçam associados a diferentes greenstone belts desta província (por ex. Long Lac, Pickle Crow, Red Lake e Yellowknife) (fig. 3) (HODGSON & MCGEEHAN, 1980).

Estes principais distritos mineiros são caracterizados pela predominância de rochas vulcânicas máficas (toleitos: calcoalcalinas → 60:40) e rochas sedimentares, com ultramáficas (notadamente Komatiitos) subordinadas.

As concentrações auríferas encontram-se especialmente localizadas ao longo das zonas de contato entre seqüências vulcânicas e sedimentares (por ex. Porcupine, Red Lake, Malartic, Hemlo etc.) e ao longo de falhas regionais (por ex. sistema de veios de Kirkland Lake, Val D'Or etc.) (fig. 4) (HODGSON & MCGEEHAN, 1980).

Nas limitadas áreas pré-cambrianas que se encontram expostas nos Estados Unidos, pode-se citar como exemplo importante o depósito de outro de Homestake situado na região de Black Hills em South Dakota, onde o minério ocorre principalmente em cistos e cuja produção até 1979 quase atingiu a cifra de 1 milhão de t de minério (DERRY, 1980).

Austrália — Os Crátos do Yilgarn e do Pilbara são as duas áreas arqueanas mais importantes e situam-se na parte ocidental do continente australiano (fig. 5).

Praticamente toda a produção de ouro (aproximadamente 2.17 milhões de t, WOODALL, 1979) tem sido proveniente de greenstone belts localizados principalmente no interior do Cráton do Yilgarn,

ao passo que a produção dos terrenos granito-greenstone do Cráton do Pilbara e terrenos de alto grau tem-se mostrado inexpressiva (fig. 5) (GROVES et alii, 1982).

A maioria dos depósitos auríferos arqueanos do Cráton do Yilgarn são do tipo "stratabound" e ocorrem em veios de quartzo discordantes ou nas suas zonas de alteração adjacentes que se alojam predominantemente em metabasaltos toleíticos e metadoleritos (GROVES et alii, 1982).

Dentre os depósitos mais importantes da Austrália Ocidental destaca-se o da área de Kalgoorlie, cuja produção maior (talvez 80%) é proveniente de veios de quartzo discordantes em um dolerito intrusivo e diferenciado denominado Golden Mile (fig. 6).

África — A maior concentração de ouro em terrenos arqueanos da África encontra-se centralizada nos greenstone belts dos Crátos do Zimbábue, Rodésia e Kaapvaal (Barberton, Sutherland e Pietersburg) que são separados pelo cinturão móvel do Limpopo (fig. 7) (VILJOEN, 1982a).

Tem-se notado nos greenstone belts da África Meridional que o ouro ocorre mais intimamente associado às rochas ultramáficas, notadamente às de afinidade komatiítica, e que o volume destas rochas é significativamente maior do que em terrenos similares do Canadá ou Austrália (ANHAEUSSER, 1980).

Suas concentrações auríferas singênicas, geralmente de baixo teor, situam-se em sedimentos depositados em período de quiescência do vulcanismo ultramáfico de ambiente subaquoso, isto é, folhelhos carbonosos, horizontes de formações ferríferas, chert, tufos etc. (por ex. o horizonte tufáceo da área de Steynsdorp e a Mina de Consort no Greenstone Belt de Barberton) (fig. 8) (VILJOEN, 1982b).

Nestes casos, VILJOEN (1982b) acredita que a fonte primordial do ouro tenha sido as próprias lavas ultramáficas provenientes do manto superior e que seu transporte, concentração e deposição nos sedimentos tenha-se dado a partir de processos hidrotermal-exalativos.

Na categoria de depósitos de ouro epigenéticos podem-se incorporar os

veios de quartzo e zonas cisalhadas que ocorrem próximas a acumulações vulcânicas de afinidade Komatiítica, tais como em Steinsdorp (Barberton) e inúmeros depósitos nos Greenstone Belts de Shangani, Filabusi e Gwandâ no Zimbabwê (fig. 8) (VILJOEN, 1982b).

Muitos depósitos de ouro em terrenos arqueanos da África Meridional também podem estar associados a xenólitos de Komatiitos no interior de corpos granitognáisses, como no caso do corpo granitognáissico de Rhodesdale no greenstone belt de Midlands.

Para a formação destes depósitos, sugere-se que a fonte principal do ouro tenha sido as ultramáficas e as rochas graníticas, com o metamorfismo e a granitização local se incumbindo de liberá-lo e concentrá-lo posteriormente em sítios estruturais favoráveis no interior dos próprios xenólitos ultramáficos (fig. 8) (VILJOEN, 1982b).

Finalmente, têm-se tornado notórios os depósitos de ouro e ouro-antimônio em zonas lineares de Komatiitos altamente alterados (carbonatizados) e cisalhados, como por exemplo a mina de Consolidated no Greenstone belt de Murchison e a mina de Sheba em Barberton (fig. 8) (VILJOEN, 1982b).

Ásia — Os depósitos de ouro mais expressivos e dignos de nota se encontram nos famosos distritos auríferos de Kolar em greenstone belts arqueanos do sistema Dharwar na Índia (BICHAN, 1947).

2.1.2 Proterozóico

Em termos comparativos globais, as concentrações de ouro no Proterozóico foram praticamente inexpressivas em relação às das seqüências vulcano-sedimentares arqueanas do tipo greenstone belt e dos depósitos mais jovens no Fanerozóico (fig. 1).

Dentre as mineralizações auríferas deste período, as mais significativas se encontram em depósitos de pláceres que formam concentrações em bacias intracratônicas a partir da erosão dos greenstone belts, como é o caso típico dos conglomerados auríferos (com U associado) de Witwatersrand na África do Sul, cuja produção atingiu o valor de 30.000 t de ouro (MINTER, 1979).

No SE da África, a seqüência Transvull (arenitos, calcários dolomíticos e formação ferrífera) mostra que as principais ocorrências de ouro encontram-se em veios de quartzo, sendo os depósitos de Pilgrim's Rest-Sabie os que têm sido extensivamente mais explorados (BILJON, 1980).

Na Austrália, apesar das extensas áreas de idade Proterozóica, apenas 160 t de ouro têm sido produzidas, sendo provenientes principalmente de Tennant Creek, embora a descoberta dos depósitos de Telfer possam ainda mudar este quadro no futuro (WOODALL, 1979).

O minério de Tennant Creek encontra-se adjacente a uma formação ferrífera, à hematita, clorita, jasper e calcita e compõe-se de corpos ricos em magnetita com teores anômalos em Au, W, Bi, Mo e Ge, sendo hospedados por uma seqüência turbidítica intensamente deformada.

Os depósitos de Telfer, com reservas atingindo 30 t de ouro, ocorrem associados a sedimentos de plataforma pouco deformados, isto é, siltitos e folhelhos ricos em pirita e arenitos.

2.2 Fanerozóico

Com base na natureza das rochas encaixantes e no contexto tectono-estrutural da área, BACHE (1981) propõe uma classificação tipológica para os depósitos de ouro a partir da qual os mais representativos do Fanerozóico se encontram no seguinte esquema (Tabela 1):

1. Depósitos de cobre porfiríticos;
2. Depósitos do tipo "skarn";
3. Depósitos filonares associados a corpos intrusivos;
4. Depósitos filonares encaixados em vulcânicas terciárias;
5. Depósitos aluvionares recentes.

Embora alguns depósitos auríferos tenham-se formado durante o Paleozóico, foi notadamente no Mesozóico e Terciário que o ouro (juntamente com a Ag) passa a mostrar uma acumulação significativa, principalmente através de depósitos associados direta ou indiretamente a intrusões subvulcânicas.

Um exemplo importante no Mesozóico inclui os veios de quartzo auríferos de Mother Lode na Califórnia (U.S.A.) que

se encontram hospedados em seqüências vulcano-sedimentares metamorfizadas na fácies xisto verde (fig. 9) (LEWIS, 1982).

No conjunto dos corpos ígneos, mineralizados à Cu-Mo-Au, de natureza porfirítica, podem-se distinguir os relacionados às margens continentais ativas e os de arcos insulares (BACHE, 1981).

Os primeiros possuem concentrações importantes de Mo e Au e mostram uma relação genética estreita com intrusões ácidas (granito a monzonito), tendo como representantes mais típicos a Mina de Bingham em Utah, U.S.A., e depósitos similares ao longo da cadeia andina (por ex. Andacollo, Chile).

Os depósitos de cobre porfiríticos de arcos insulares possuem quantidades subordinadas de ouro e estão geneticamente relacionados com intrusões mais básicas (quartzo-diorito a diorito), sendo representados pela mina de Panguna na Nova Guiné (fig. 9).

As concentrações auríferas disseminadas em rochas carbonáticas como no caso da mina de Carlin, em Nevada (U.S.A.), e os depósitos filonares polimetálicos encaixados em um corpo batolítico de composição granodiorítica do Distrito de Butte, Montana (U.S.A.), também merecem destaque por se constituírem em casos típicos e demonstrarem a diversidade de forma de ocorrências das concentrações auríferas no Fanerozóico (fig. 9).

3 OS DEPÓSITOS DE OURO NO BRASIL: SUA DISTRIBUIÇÃO NO TEMPO E ESPAÇO

O Brasil, de forma análoga às áreas arqueanas anteriormente mencionadas, tem nos greenstone belts as mais importantes fontes de ouro, quer seja diretamente na forma primária ou indiretamente associado a pláceres atuais ou subatuais (fig. 10).

No Supergrupo Rio das Velhas, dentro da Província Estrutural do São Francisco em Minas Gerais, a mina de Morro Velho e depósitos correlatos (Faria, Bicalho e Raposos) têm produzido mais de 250 t de ouro durante a sua história (LADEIRA, 1985).

Os corpos de minério são tipicamente do tipo "stratabound" e se encontram intimamente associados à fácies carbonato de uma formação-ferrífera, cujas rochas encaixantes são clorita-xistos, sericita-xistos, filitos e rochas quartzo-carbonáticas.

No Brasil Central, principalmente em Goiás, dentro dos domínios da Província Estrutural do Tocantins, os depósitos de ouro de Crixás, Mara Rosa, Pilar, Cavalcante, Nova Roma e outros, também relacionam-se com seqüências vulcano-sedimentares do tipo greenstone belt, onde o metal ocorre em veios de quartzo ou em itabiritos, quartzitos, clorita-quartzo-xistos e grafita-xistos (DAMASCENO, 1982).

Seqüências vulcano-sedimentares que ocorrem em contatos difusos, formando extensas manchas sobre rochas do Complexo Xingu, na Província Estrutural de Tapajós, também possuem ocorrências de ouro, como é o caso da Serra das Andorinhas e Gradaús no sul do Pará.

Nestes depósitos, o ouro hospeda-se tanto em meta-cherts como em siltitos e greywackes ricos em pirita (CORDEIRO & SAUERESSIG, 1983).

Ocorrências de ouro são também dignas de nota nos depósitos de Salobo, na região da Serra do Carajás (SE do Pará), onde este metal ocorre como subproduto do minério de cobre.

No Proterozóico Inferior, pláceres portadores de ouro e urânio em conglomerados do tipo Witwatersrand encontram representantes no Brasil no Grupo Jacobina (BA), na Formação Moeda do Supergrupo Minas (MG) ou ainda nos conglomerados auríferos da cidade de Goiás (GO) (fig. 10) (SCHOBBE-NHAUS, 1984).

Merecem também destaque no Proterozóico Inferior do Brasil as mineralizações auríferas em xistos grafitosos e dolomitos da mina de Passagem do Supergrupo Minas, os corpos auríferos (com Ag e Pd associados) de Serra Pelada hospedados em clorita-xistos, arenitos carbonáticos e siltitos da Formação Rio Fresco no sul do Pará e a Faixa Weber do Greenstone Belt do Rio Itapicuru (BA), embora esteja apenas provisoriamente posicionada neste período devido

à falta de evidências geocronológicas (SCHOBENHAUS, 1984).

No Proterozóico Médio e Superior, as concentrações de ouro são escassas, aparecendo agora apenas como subproduto de outros depósitos.

Como exemplos representativos podem-se citar (fig. 10):

(a) Os metaconglomerados diamantíferos (com Au) da Formação Roraima na Província Estrutural do Rio Branco e do Supergrupo Minas representados pela Chapada Diamantina na Província Estrutural do São Francisco.

(b) As mineralizações de Pb em Panelas (SP) na Faixa de Dobramento Ribeira.

As mineralizações auríferas tornam a sofrer concentrações de porte econômico apenas no Cenozóico, a partir da formação dos depósitos de pláceres representados nos extensos aluviões espalhados nas Províncias Estruturais do Rio Branco e Tapajós.

Em termos de reservas e produção alcançada entre os anos de 1979 e 1984, alguns pontos devem ser enfatizados (LESTRA & NARDI, 1982, e Minérios: Extração e Processamento, 1985):

(a) Durante a história da produção de ouro no Brasil, a grande contribuição tem sido invariavelmente oriunda dos garimpos da Amazônia Oriental, onde se destacam as áreas do Amapá-Guiana (por ex. Lourenço - 8 t), Gurupi-Maranhão (por ex. Piaba - 7 t), Tapajós (por ex. Grotá Rica - 5,5 t e Porquinho - 5 t), Sudeste do Pará (por ex. Serra Pelada - 9 t), Paru-Jari, Trombetas, Altamira-Tocantins, Azevedo e Alta Floresta-Peixoto;

(b) A contribuição dos garimpos na produção total de ouro em períodos anteriores a 1979 era menor que 25%;

(c) Sua importância ganha grandes proporções com a descoberta de Serra Pelada que acusa um aumento de aproximadamente 9 vezes em relação à produção anterior (cerca de 1,1 t em 1979 para 9,5 t em 1980);

(d) Nos períodos posteriores, esta produção de ouro dos garimpos praticamente dobra a cada ano, ao passo que a produção proveniente de depósitos primários permanece aproximadamente constante ou sofre aumentos inexpressi-

vos, sendo a mina de Morro Velho a maior contribuinte;

(e) Dentre os grandes produtores tem-se por ordem de importância o Pará, Mato Grosso, Minas Gerais, Rondônia e Amapá;

(f) No entanto, as maiores reservas de minério contido, com base nos Decretos de Lavras aprovados oficialmente pelo DNPM, se encontram em Minas Gerais, Bahia, Goiás, Rondônia, Pará e Santa Catarina.

4 CONCLUSÕES

Os depósitos de ouro não se acumularam de forma homogênea através de todo o tempo geológico, pois alcançaram um pico máximo durante o Arqueano. Foram inexpressivos no Proterozóico Inferior, ausentes no Proterozóico Médio e reassumiram novamente a sua importância apenas a partir do Mesozóico, persistindo até o Plioceno nas Filipinas (por ex. o depósito de ouro de Panguna na Oceania).

Nos greenstone belts arqueanos, as mineralizações auríferas mostram uma diversidade notável em termos de modo de ocorrência e tipos de depósitos, refletindo assim a existência de uma multitude de metalotectos reveladores envolvidos na sua formação.

Alguns metalotectos reveladores de caráter regional se apresentam evidentes no estudo de grandes depósitos em greenstone belts arqueanos: (a) ocorrem em domínios metamórficos de fácies xisto verde a anfíbolito, refletindo de antemão o amplo intervalo de temperatura (300 a 450°C) no qual o ouro pode sofrer transporte e deposição que, por sua vez, é induzida pela interação fluidos-rocha hospedeira; (b) normalmente aparecem ao longo de sítios estruturais favoráveis (falhas, zonas de stockwork, zonas de anticlinais etc.); (c) encontram-se intimamente associados a zonas de carbonatização intensa; (d) controle da natureza das rochas hospedeiras, notadamente as de composição máfica-ultramáfica.

A idade dos greenstone belts também pode caracterizar-se, embora de forma indireta, como um tipo de controle da abundância e tipo das mineralizações auríferas.

As rochas de composição máfica (toleííticos principalmente) são as predominantes e as mais favoráveis à concentração de ouro em terrenos arqueanos mais jovens (2.8 b.a.), ao passo que depósitos auríferos disseminados em formações ferríferas bandadas estão geralmente em terrenos arqueanos mais antigos (2.9 - 3,0 b.a.) (GROVES et alii, 1982 e PHILLIPS & GROVES, 1983).

As possíveis causas da menor abundância de ouro em greenstone belts mais antigos parecem estar relacionadas com a presença de rochas fontes empobrecidas neste elemento, remoção por silicificação em estágios iniciais de sua evolução, ausência de componentes propícios no transporte do ouro (CO₂, H₂S, HCl etc.) em fluidos mineralizantes e uma seqüência de eventos tectonometamórficos não favoráveis à formação de concentrações anômalas de ouro (GROVES et alii, 1982 e PHILLIPS & GROVES, 1983).

Estatísticas relacionadas com a produção de Au por unidade de área em terrenos vulcano-sedimentares arqueanos indicam que o SE da África ocupa o 1.º lugar. Os greenstone belts do SE da África possuem um volume maior de rochas máficas/ultramáficas do que os do Canadá, Zimbábue e Austrália, sugerindo assim uma certa relação genética entre a abundância relativa de Au e a predominância de certos tipos litológicos, particularmente os de natureza máfica/ultramáfica (ANHAUSSER, 1980).

Ainda não se dispõe de dados suficientes que indiquem as razões pelas quais as outras eras geológicas foram menos ricas em ouro.

PHILLIPS & GROVES (1983) sugerem pelo menos 3 diferenças marcantes na tentativa de explicar esta discrepância: (a) conteúdo original de ouro (maior nos greenstone belts); (b) estilos de alteração (carbonatização intensa no Arqueano); e (c) tempo da ação dos processos tectônicos e metamórficos.

Mesmo sendo o Arqueano o período mais favorável à proliferação de depósitos auríferos, a sua produção nas principais áreas cratônicas do planeta é conspiciamente superada por Witwatersrand (África do Sul), que isoladamente con-

tribuiu com mais de 95% da produção de ouro no Proterozóico.

Sua importância torna-se mais evidente quando se compara a contribuição de outros tipos de depósitos (Tabelas 2 e 3): (a) praticamente 60% da produção mundial de ouro é proveniente de pláceres antigos se incluirmos Witwatersrand; (b) caso haja a exclusão de Witwatersrand, os terrenos vulcano-sedimentares (greenstone belts) e os pláceres recentes assumem posições importantes na classificação, contribuindo com cerca de 55% da produção mundial de ouro; (c) os pláceres antigos tornam-se insignificantes em termos de produção caso não se considere Witwatersrand.

A natureza das rochas hospedeiras (principalmente rochas intrusivas ou mesmo rochas carbonáticas), o tipo de magmatismo, que se encontra diretamente ligado às condições pelas quais a placa litosférica em subducção ou mesmo o manto sobrejacente sofrem fusão parcial (mais ácido em margens continentais ativas e mais máfico em arcos insulares) e o contexto tectono-estrutural regional (grandes estruturas) e local (grau de fraturamento das rochas) constituem-se, de uma maneira geral, nos principais metalotectos reveladores das mineralizações auríferas no Fanerozóico, notadamente no Mesozóico e Cenozóico.

No Cenozóico, a instalação de um sistema fluvial propício, combinado com outras condições geológicas, contribuíram para a formação de conglomerados e concentração de ouro detrítico, que caracterizarão a grande importância econômica dos aluviões ou pláceres.

5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi resultado de uma pesquisa realizada na disciplina de Metalogênese Global do curso de Pós-Graduação em Geociências do IG/UNICAMP, sendo revisado criticamente pelos Professores Doutores Bernardino R. Figueiredo e Asit Choudhuri, aos quais deixo expresso os meus agradecimentos.

Agradeço também o excelente apoio datilográfico dado por Roberta Geraldina Silva, também do IG/UNICAMP.

TABELA 1 — Classificação tipológica quantitativa dos depósitos de ouro no mundo (U.R.S.S e China não estão incluídos) (BACHE, 1981).

GRUPO	DOMÍNIO ESTRUTURAL	SUBGRUPO	PRODUÇÃO + RESERVA (t)	DEPÓSITO-TIPO
1. Depósitos do tipo vulcano-sedimentar	Essencialmente cratônico exceto Mother Lode — Kuroko	A. Depósitos de sulfetos polimetálicos:		
		A.1. Associado a vulcanismo calco-alcálico	2.235	Horne (Canadá)
		A.2. Associado a vulcanismo básico de caráter ofiolítico;	140	Limni (Chipre)
		A.3. Encaixado em sedimentos	140	Cobar (Austrália)
		B. Depósitos do tipo Itabirito	3.165	Homestake (U.S.A.)
		C. Depósitos associados a sítios estruturais favoráveis	11.250	Kalgoorlie (Austrália)
2. Depósitos do tipo plutono-vulcânico	Essencialmente de zonas Alpinas: margens continentais ativas	A. Depósitos de Cobre Porfírico	2.115	Andacollo (Chile)
		A.1. a Mo e Au		Bingham (U.S.A.)
	arcos insulares	A.2. a Au	1.480	Panguna (Nova Guiné)
		B. Depósitos de Skarns em rochas carbonáticas	775	Tintic (U.S.A.) Hedlei (Canadá) Carlin (U.S.A.)
		C. Depósitos filonares em corpos intrusivos		
		C.1. a Cu dominante	282	Butte (U.S.A.)
		C.2. a Pb-Zn dominantes	73	Idaho Spring (Canadá)
		C.3. Au-Ag dominantes	520	Rossland (Canadá)
		D. Depósitos filonares em vulcânicas terciárias ricas em Ag	6.000	Sunnyside Mine (U.S.A.)
	3. Depósitos do tipo detrítico.	Cráton	A. Pláceres antigos	
A.1. níveis conglomeráticos contínuos			50.000	Witwatersrand (África do Sul)
		A.2. níveis conglomeráticos descontínuos	250	Tarkwa — Ghana
		B. Pláceres recentes		
		B.1. aluvial — eluvial	2.525	Bendigo — Ballarat (Austrália)
Zonas Alpinas	B.2. aluvial	5.790	Rio Cauca (Colômbia)	

TOTAL = 86.740

TABELA 2 — Ordem de importância econômica dos diferentes tipos de depósitos de ouro (BACHE, 1981).

TIPO DE DEPÓSITO	CONTRIBUIÇÃO EM OURO (%)
1. Pláceres antigos	57.92
2. Terrenos vulcano-sedimentares	12.96
3. Pláceres recentes	9.58
4. Depósitos filonares em vulcânicas terciárias	6.90
5. Depósitos de cobre porfírico	4.12
6. Depósitos do tipo Itabirito	3.65
7. Depósitos de sulfetos polimetálicos	2.89
8. Depósitos filonares em corpos intrusivos	1.00
9. Skarns	0.88

TABELA 3 — Ordem de importância econômica dos diferentes tipos de depósitos de ouro sem considerar o depósito de Witwatersrand (África do Sul) (BACHE, 1981).

TIPO DE DEPÓSITO	CONTRIBUIÇÃO EM OURO (%)
1. Terrenos vulcano-sedimentares	30.62
2. Pláceres recentes	22.63
3. Depósitos filonares em vulcânicas terciárias	16.33
4. Depósitos de cobre porfírico	9.78
5. Depósitos do tipo Itabirito	8.61
6. Depósitos de sulfetos polimetálicos	6.84
7. Depósitos filonares em corpos intrusivos	2.30
8. Skarns	2.10
9. Pláceres antigos	0.68

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANHAEUSSER, C.R. 1980 The relation of mineral deposits to early crustal evolution. *Economic Geology Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg*. 14p. (Information Circular, 149.)
- 1982 The nature and distribution of Archean gold mineralization in Southern Africa. *Minerals Science Engineering*, 8:46-84.
- BACHE, J.J. 1981 Essai de typologie quantitative des gisements mondiaux d'or. *Chronique de la Recherche Minière, Orleans, França*, (459):43-50.
- BERTONI, C.H. 1983 Gold production in the Superior Province of the Canada Shield. *CIM Bulletin*, 76:62-69.
- BICHAN, J.W. 1947 Structural principles controlling distribution of ore in Kolar goldfield, India. *Economic Geology, Lancaster, Pa.*, 42:93-136.
- BILJON, W.J.V. 1980 The distribution in space and time of the Pre-cambrian metal deposits in Southern Africa. *Mineral Resources. Mémoire du BRGM*, 160. p. 25-37.
- BOYLE, R.W. 1980a Gold deposits: their geological and geochemical setting. *Episodes*, 3:8-13.
- 1980b Gold deposits: a review of their geological and geochemical setting. In: HODDER, R.W. & PETRUK, W., eds. *Geology of Canadian gold deposits, CIM Bulletin. Special volume. v. 24 p. 1-8.*
- CORDEIRO, A.A.C. & SAUERESSIG, R. 1983 Serra das Andorinhas: geologia e principais ocorrências de ouro. In: SIMPÓSIO SOBRE MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NO ESTADO DA BAHIA. *Anais. Salvador, BA, SBG Núcleo da Bahia*. p. 15-19.
- DAMASCENO, E.C. 1982 Archean and early proterozoic mineral deposits in Brazil. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS. Anais. Salvador, BA, SBG. v. 12 (1-3) p. 426-436.*
- DERRY, D.R. 1980 Metallic provinces in the Precambrian of North America and Australia. In: *Mineral Resources. Mémoire du BRGM*, 106, p. 12-22.
- EASTOE, C.J. 1978 A fluid inclusion study of the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea. *Economic Geology, Lancaster, Pa.*, 73:721-748.
- GOODWIN, A.M. 1982. Archean greenstone belts and gold mineralization, Superior Province, Canada. In: FOSTER, R.P., ed. *Gold'82: the geology, geochemistry and genesis of gold. In: PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM GOLD'82. University of Zimbabwe. p. 71-97.*
- GROVES, D.I.; PHILLIPS, G.N.; HO, S.E.; HENDERSON, C.A.; CLARK, M.E.; WOAD, G.M. 1982 Controls on distribution of Archean hydrothermal gold deposits in Western Australia. In: FOSTER, R.P., ed. *Gold'82: the geology, geochemistry and genesis of gold deposits, Proceedings of the Symposium Gold'82. University of Zimbabwe. p. 789-711.*
- HODGSON, C.J. & MACGEEHAN, P.J. 1980 A review of the geological characteristics of Gold Only deposits in the Superior Province

- of the Canadian Shield. In: HODDER, R.W. & PETRUK, W., ed. *Geology of Canadian Gold deposits*. CIM Bulletin Special, v. 24, p. 211-229.
- HUTCHINSON, R.W. & BURLINGTON, J.L. 1982 Some broad characteristics of greenstone belt gold lodes. In: FOSTER, R.P., ed. *Gold'82: the geology, geochemistry and genesis of the gold deposits*, Proceedings of the Symposium Gold'82. University of Zimbabwe. p. 339-371.
- KNUCKEY, M.J. & WATKINS, J.J. 1982 The geology of the Corbet massive sulphide deposits, Norand District, Quebec, Canada. In: HUTCHINSON, R.W.; SPENCE, C.D.; FRANKLIN, J.M. ed. *Pre-cambrian sulphide deposits*. Geological Association of Canada Special Paper, 25. p. 297-317.
- LADEIRA, E.A. 1985 Metalogênese do ouro na Mina de Morro Velho e no distrito de Nova Lima, quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: *Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo de Minas Gerais. Contribuição à geologia e à petrologia; dedicado à memória de Djalma Guimarães*. Belo Horizonte, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração. p. 95-151.
- LESTRA, A.D. & NARDI, J.I.S. 1982 O ouro da Amazônia oriental: o mito e a realidade. Belém, Grafisa. 395p.
- LEWIS, A., ed. 1982 *Gold geochemistry*. Engineering and Mining Journal, New York, 183 (19):56-60.
- MINÉRIOS: extração e processamento 1985 (101):85-66.
- MINTER, M.E.L. 1979 A review of gold mineralization in Southern Africa. In: GLOVER, J.E. & GROVES, D.I., eds. *Gold mineralization*. University of Western Australia. p. 35-44. (Publication, 3.)
- PHILLIPS, G.N. & GROVES, D.I. 1983 The nature of Archean gold-bearing fluids as deduced from gold deposits of Western Australia. 30:25-39.
- SCHOBENHAUS, C. 1984 *Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Brasília, DNPM/MME. 501p.
- VILJOEN, M.L. 1982a The nature and genesis of Archean gold mineralization in Southern Africa. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS. Anais. Salvador, BA, SBG, v. 12 (1-3) p. 426-436.
- 1982b Archean gold mineralization and komatiites in Southern Africa. In: FOSTER, R.P., ed. *Gold'82: the geology, geochemistry and genesis of gold deposits*. Proceedings of the Symposium Gold'82. University of Zimbabwe. p. 595-627.
- WOODALL, R. 1979 Gold — Australia and the world. In: GLOVER, J.E. & GROVES, D.I., ed. *Gold mineralization*. University of Western Australia. p. 1-34 (Publication, 3).