

LA EDAD DE LA MINERALIZACION DE LOS DEPOSITOS DE ESMERALDAS DE SANTA TEREZINHA (GOIAS-BRASIL)

L'AGE DE LA MINERALISATION DES DEPOTS D'EMERAUDES DE SANTA TEREZINHA (GOIAS - BRESIL)

Joao C. Biondi.

Un. Fed. Paraná, C.P. 19011, 81531970 Curitiba (PR-Brasil)

Jean-Louis Poidevin.

Un. Blaise Pascal, 5, Rue Kessler, 63038 - Clermont-Ferrand (France)

RESUMÉE

La séquence volcano-sédimentaire komatiitique de Santa Terezinha (GO-Brésil) contient des mines d'émeraudes dans des zones de cisaillement de faible pendage. La minéralisation est hydrothermale et les émeraudes sont cristallisées dans des chlorito-schistes ou dans des schistes substitués par carbonate et talc. Deux isochrones Rb/Sr situent l'âge du refroidissement de la phase hydrothermale

après les dernières déformations subies par le minerai, autour de 476,1 et 478,4 Ma. L'analyse des isotopes de Pb sur les carbonates du minerai et sur des albites des roches qui encaissent le minerai a identifié la plus ancienne époque de déformation de la séquence à 2,69 Ga et l'existence d'une orogénèse à 700-800 Ma. La minéralisation en émeraude est liée à la fin de cette orogénèse.

GEOLOGIE LOCALE

Les mines d'émeraudes, situées à 350 kilomètres à l'ouest de Goiânia (Goiás), sont dans la Séquence de Santa Terezinha. Santa Terezinha est une séquence composée surtout par des schistes à chlorite-muscovite-quartz et des quartzites à muscovite (séricite). Dans la région des mines elle contient aussi des bandes continues de schistes à magnétite-muscovite, des schistes à chlorite-talc (métakomatiites), des métacherts et des formations ferro-manganésifères litées.

Les roches de Santa Terezinha ont subi quatre phases de déformation (Biondi, 1990). La plus ancienne (Dn+1) est aperçue par des plans pliés (Sn+1), remplis par carbonate hydrothermal. Dn+2 a donné naissance à une zone de foliation de cisaillement (Snc) et une autre d'aplatissement (Sns). La région a été plissée (Dn+3), ce qui a donné naissance à un clivage de crénulation (Sn+2), et fracturée (Dn+4), avec formation d'un système de fractures conjuguées.

La région minéralisée est entièrement hydrothermalisée. Les fluides hydrothermaux ont transformé les roches et ont fait apparaître la minéralisation en émeraudes dans les zones perméables (fractures Dn+4, foliation Snc et zone de croisement des foliations et fractures).

LA MINERALISATION

Le minerai:

Minéralogiquement les minerais sont de deux types:

a. Type carbonaté:

Composé par 5% à 80% de dolomie, 5% à 85% de talc, jusqu'à 20% de biotite, jusqu'à 10% de quartz (veines

et amas), jusqu'à 5% de trémolite, moins de 1% de chlorite magnésienne et moins de 1% de magnétite. Le rutile apparaît comme trace. Ce type de minerai a les plus hautes teneurs en émeraudes.

b. Type à chlorite-biotite:

Ce type de minerai enveloppe généralement les corps minéralisés du type carbonaté. La quantité de chlorite magnésienne+biotite est toujours plus grande que 25%. Il y a de 3% à 75% de biotite, jusqu'à 20% de dolomie et jusqu'à 50% de quartz. Au contraire du minerai carbonaté, le quartz apparaît en mosaïque, constituant la matrice de la roche. Avec le quartz, dans la matrice, l'albite peut faire 15% de la roche. Le rutile apparaît comme trace.

Les zones hydrothermales:

La région des mines est entièrement hydrothermalisée. En surface, des figures d'hydrothermalisme ont été reconnues sur au moins 3 km². Les sections verticales faites parallèlement et perpendiculairement à la direction du cisaillement, basées sur les descriptions des carottes de sondage et des puits d'exploitation, ont permis l'identification de huit différentes zones d'hydrothermalisme (Fig. 1). Ces zones ce sont développées par percolation de fluides au travers des zones de cisaillement à faible pendage, en profitant de la perméabilité secondaire originée par la réactivation Dn+4 et par le croisement des nombreuses discontinuités qui traversent les roches. Il a été possible de différencier huit zones, caractérisées par la composition minéralogique (Fig. 1) et chimique (Biondi, 1990). La région numéro 9 correspond à la roche non transformée.

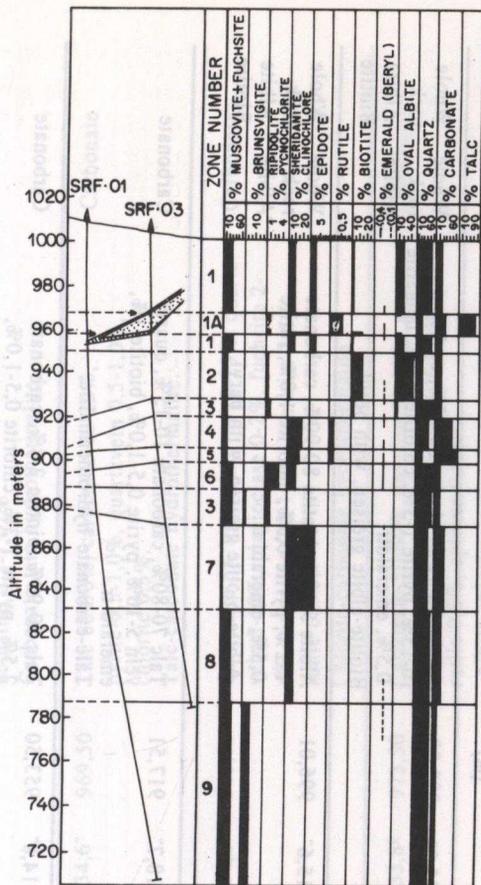


Fig. 1: Composition minéralogique des zones hydrothermalisées.

L'ÂGE DE LA MINÉRALISATION ET DE LA SÉQUENCE DE SANTA TEREZINHA

Nouvelles datations:

Au total, 13 échantillons ont été analysés et datés. Le Tableau 1 identifie les échantillons, les localise géographiquement et géologiquement, et renseigne sur le type de matériel qui a été analysé (minéral ou roche totale) et quelles analyses ont été faites. Les résultats

sont montrés aux Tableaux 2 et 3. Au Tableau 2 on a ajouté deux analyses Rb/Sr faites par Vidal et al. (1992) sur des émeraudes de Santa Terezinha (échantillons Emer 1 et 2).

Les isochrones Rb/Sr faites avec les biotites des échantillons JC - ES 57 et JC - ES 34 (Fig. 2), ou sur les émeraudes, l'albite 34, et les roches totales (Partie interne de la Fig. 2) donnent, les deux, approximativement les mêmes âges, de 476, 1±5,3 Ma (MSWD=5,71) pour le premier cas, et 478,4±6,4 Ma (MSWD=5,71) pour le dernier.

TABLEAU 1:

IDENTIFICATION OF ANALISED SAMPLES - SANTA TEREZINHA EMERALD CLAIMS (GOIAS STATE; BRASIL)

SAMPLE Nº	GEOGRAPHIC AND GEOLOGICAL LOCATION	COORDINATES		MINERALOGICAL COMPOSITION AND CLASSIFICATION	ANALISED MATERIAL Pb/Pb Rb/Sr	
		SOUTH(Y)	WEST(X)			ALTITUDE(Z) (m)
(JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, FSR-4, Hydrothermalzone nQ4, 66,60 m below surface	14°14'40,3"	49°39'35,0"	932,00	Albite 60-70%, biotite 20-25%, carbonat 10-15%, pyrite 1-3%, chlorite 0,5%, hematite 0,5%, emeraldtr. Biotite-albite greisen, with beryl	Whole rock Albite Biotite
34 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, Paulista claim, 48,00 m below surface. Poor 'sludite' ore, 0,6 m below carbonate rich ore.	14°14'45,1"	49°39'15,6"	996,01	Albite 5-10%, biotite 80-90%, carbonate 1-2%, pyrite 0,5%, chlorite 1,0%, rutile 0,5%, emerald tr. Albite-biotite greisen, with beryl	Whole rock Albite Biotite
25 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, Joao Paulo claim, 116 m below surface. Rich talc, carbonate ore.	14°14'43,8"	49°39'18,7"	917,51	Talc 70-80%, carbonate 10-15%, quartz vein 5-10%, pyrite 0,5-1,0%, biotite 1%, emerald tr. Talc-carbonate hydrothermalite.	Carbonate
26 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, Domingao claim, 84 m below surface. Poor talc-biotite ore.	14°14'42,2"	49°39'14,8"	953,50	Talc 80-90%, biotite 2-8%, carbonate 2-5%, pyrite 1-3%, chlorite 0,5-1,0%, tremolite 0,5%, quartz vein 0,5%, emerald tr. Talc-biotite hydrothermalite.	Carbonate
2882 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, Domingao claim, 84 m below surface. Rich carbonate ore.	14°14'42,2"	49°39'14,8"	953,50	Carbonate 65%, biotite 20-25%, tremolite 1-5%, chlorite 0,5%, pyrite 0,5%, plagioclase(?) less than 0,5%, phenakite 1-2%, emerald 1-2%. Carbonate-biotite hydrothermalite	Carbonate

SAMPLE No	GEOGRAPHIC AND GEOLOGICAL LOCATION	COORDINATES		MINERALOGICAL COMPOSITION AND CLASSIFICATION	ANALISED MATERIAL Pb/Pb Rb/Sr
		SOUTH(Y)	WEST(X) ALTITUDE(Z) (m)		
39 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, FSR-2. Hydrothermal zone IA, 33,90 m below surface.	14°14'39,8"	49°39'34,6" 970,00	Carbonate 70-80%, talc 20-25%, tremolite 1-2%, chlorite 5-8%, hematite 0,5-1,02% Carbonate-talc hydrothermalite.	Carbonate
40 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, FSR-2 Hydrothermal zone IA, 34,5 m below surface.	14°14'39,8"	49°39'34,6" 969,50	Talc 80-90%, carbonate 10-20%, pyrite 0,5-1,0%, quartz vein 0,5-1,0%, chlorite 0,5%. Talc-carbonate hydrothermalite.	Carbonate
46 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, FSR-2. Hydrothermal zone nQ5, 102,30 m below surface.	14°14'39,8"	49°39'34,6" 900,00	Carbonate 55-70%, chlorite 10-25%, quartz vein 5-10%, plagioclase 0-2%, fuchsite 2- 4%, turmaline 0,5-1,0%, hematite 2-5%, rutile 0,5%. Chlorite-carbonate hydrothermalite.	Carbonate
48 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, FSR-3. Hydrothermal zone nQ1, 34,20 m below surface.	14°14'40,3"	49°39'33,8" 973,50	Carbonate 50-60%, chlorite 20-30%, albite 10-15%, quartz 15-20%, fuchsite 0,5%, rutile 0,5%, epidote 0,5%. Albite-chlorite-carbonate hydrothermalite.	Carbonate
67 (JC-ES)	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, drill hole in Joao Paulo claim. Albite- carbonate vein, 74,30m below surface.	14°14'43,8"	49°39'18,7" 959,21	Vein with carbonate 40-60%, albite 30- 40%, chlorite 1-3%, talc 2.5%	Carbonate Albite

SAMPLE N°	GEOGRAPHIC AND GEOLOGICAL LOCATION	COORDINATES		MINERALOGICAL COMPOSITION AND CLASSIFICATION	ANALISED MATERIAL
		SOUTH(Y)	WEST(X)		
PAULISTA	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims, Paulista claims Rich carbonate ore, 31 m below surface.	14°14'45,1"	49°39'15,6"	Carbonate 95-98%, talc 2-3%, emerald 1-3%. Carbonate hydrothermalite.	Carbonate Pb/Pb Rb/Sr
GAUCHO	Goias State, Sta. Terezinha emerald claim, Gaucho claim. Talc-carbonate rich ore, 116 m below surface.	14°14'44,3"	49°39'17,5"	Carbonate 60-70%, talc 20-30%, tremolite 1-5%, biotite 3-5%, emerald 0,5%. Talc-carbonate hydrothermalite.	Carbonate Whole rock Albite
GARIMPO	Goias State, Sta. Terezinha emerald claims Carbonate very rich ore.	Between 14°14'45,1" and 14°14'42,2"	Between 49°39'14,8" and 49°39'18,7"	Carbonate 90-95%, emerald 2-3%, talc 3-5%. Emerald-carbonate hydrothermalite.	Carbonate Carbonate Carbonate

Tableau 1: Identification des échantillons, leurs localisations et type de matériel analysé.

TABEAU 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		RT 34	AB 34	B 34	RT 57	AB 57	B 57	schiste	Emer 1	Emer 2
2	87 Rb/86 Sr	4,06948	0,04923	162,747	3,76724	0,73727	850,571	0,134	0,21	18,49
3	87Sr/86 Sr	0,73799	0,71103	1,77982	0,73703	0,74559	6,58378	0,72006	0,72036	0,8357
4	Sr	1 29,243	124,449	8,2505	118,556	76,8483	61 5 1 64			
5	Rb	181,281	2,11707	420,106	153,954	19,5139	1148,49			

Tableau 2: Analyses Rb/Sr de roches et minéraux des mines d'émeraudes de Santa Terezinha.

TABLEAU 3

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	N° échant		206Pb/204Pb	207Pb/204Pb	208Pb/204Pb	207Pb/206Pb	208Pb/206Pb	204Pb/206Pb
2	25c	Nature	17,5323	15,4513	37,1950	0,88280	2,1273	0,05704
3	26c	carbonate	17,8306	15,5940	37,5904	0,87471	2,1083	0,05608
4	28c	carbonate	17,8368	15,6080	37,6116	0,87493	2,1094	0,05606
5	39c	carbonate	17,6854	15,5634	37,3974	0,88034	2,1154	0,05654
6	40c	carbonate	17,9288	15,5806	37,5645	0,86934	2,0955	0,05576
7	46c	carbonate	17,7739	15,6054	37,5178	0,87614	2,1086	0,05626
8	48c	carbonate	17,7731	15,5616	37,4200	0,87604	2,1058	0,05626
9	67c	carbonate	17,6619	15,5114	37,3344	0,87835	2,1156	0,05662
10	Paulista	carbonate	17,8010	15,6329	37,6342	0,87826	2,1172	0,05618
11	Gaucha	carbonate	17,5832	15,5300	37,4192	0,88446	2,1315	0,05687
12	Garimpo	carbonate	17,6147	15,5884	37,4930	0,88522	2,1307	0,05677
13								
14	34a	albite	17,5701	15,5489	37,3518	0,88511	2,1262	0,05691
15	57a	albite	17,9210	15,5935	37,6249	0,87062	2,1002	0,05580
16	67a	albite	17,5933	15,5233	37,4332	0,88259	2,1281	0,05684
17								
18	RT34	roche totale	16,8087	15,1362	37,0812	0,90435	2,1947	0,05959
19	PT57	roche totale	17,6903	15,5517	37,6147	0,87923	2,1259	0,05652

Tableau 3: Nouvelles analyses Pb/Pb de roches et minéraux de Santa Terezinha.

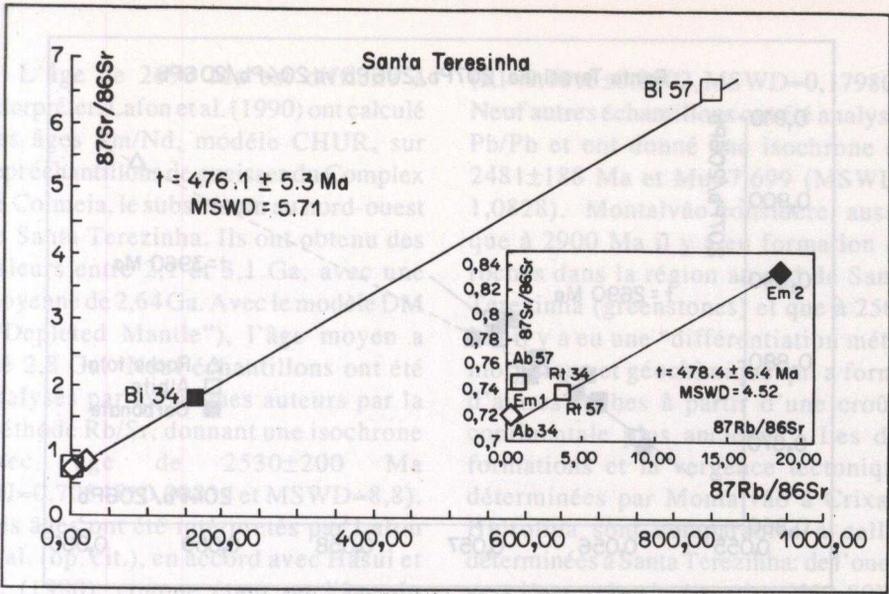


Fig. 2: Isochrone Rb/Sr sur roches et minéraux des mines d'émeraudes de Santa Terezinha.

La méthode Pb/Pb a donné trois résultats, montrés au Tableau 3 et les Figures 3, 4 et 5. L'écartement des points sur le diagramme $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \times ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 3) ne permet pas de déterminer une isochrone réelle. L'âge de 3960 Ma, basé sur deux analyses, ne peut pas être significatif. Les rapports $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

$\times ^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Tableau 3 et Fig. 4), par contre, permettent de définir, basés sur les analyses des roches et minéraux, un âge de 2690 Ma, encore que cet âge soit peu précis. Finalement, le diagramme plomb-tectonique (Fig. 5) suggère un troisième âge, autour de 700-800 Ma.

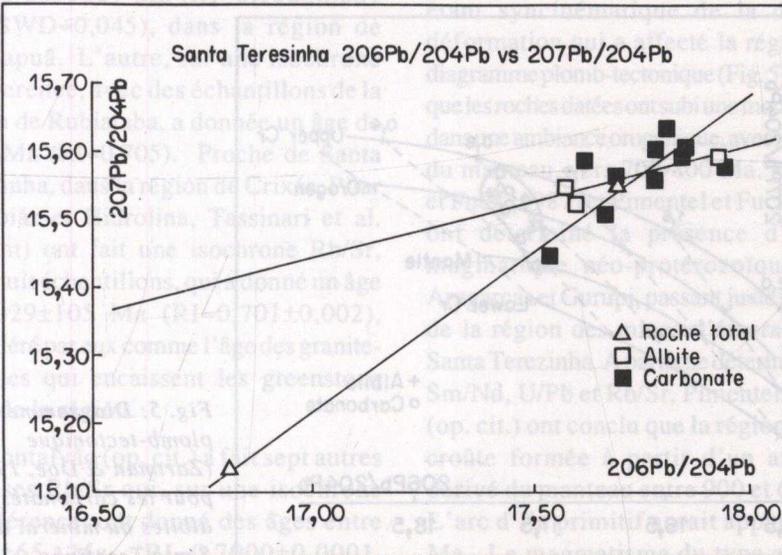


Fig. 3: Rapports isotopiques $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \times ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ des minéraux et des roches de Santa Terezinha.

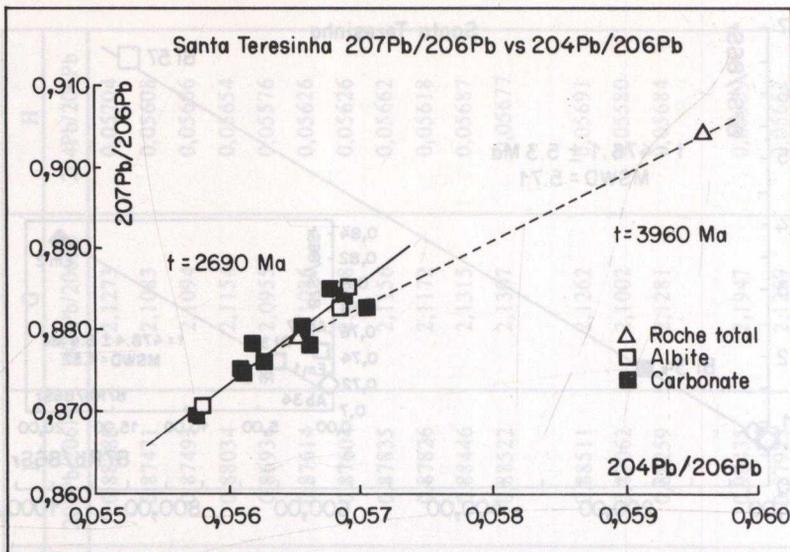


Fig. 4: Rapports isotopiques $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ x $204\text{Pb}/206\text{Pb}$ des minéraux et roches de Santa Terezinha.

DISCUSSION:

Tous les échantillons analysés Pb/Pb sont hydrothermalisés (Tableaux 3). Ces roches contiennent toutes les

déformations postérieures à Dn et sont des roches anciennes.

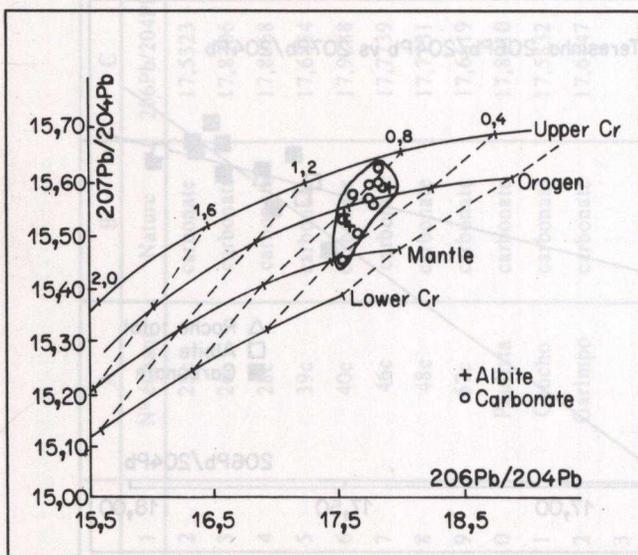


Fig. 5: Diagramme plomb-tectonique (Zartman & Doe, 1981) pour les carbonates et les albites du minerai de Santa Terezinha.

L'âge de 2690 Ma est difficile à interpréter. Lafon et al. (1990) ont calculé des âges Sm/Nd, modèle CHUR, sur sept échantillons de gneisses du Complex de Colmeia, le substratum au nord-ouest de Santa Terezinha. Ils ont obtenu des valeurs entre 2,1 et 3,1 Ga, avec une moyenne de 2,64 Ga. Avec le modèle DM ("Depleted Mantle"), l'âge moyen a été 2,8 Ga. Neuf échantillons ont été analysés par les mêmes auteurs par la méthode Rb/Sr, donnant une isochrone avec âge de 2530 ± 200 Ma ($RI=0.70345 \pm 0.00234$ et $MSWD=8,8$). Ces âges ont été interprétés par Lafon et al. (op. cit.), en accord avec Hasui et al. (1980), comme étant ou l'âge du protolite des gneisses du substratum des métasédiments, ou l'âge du rajeunissement de ces gneisses, durant l'orogénèse Jequié, à l'Archéen. Des âges de même ordre de grandeur ont été déterminés par Tassinari et al. (1981) et par Montalvão (1985) au sud de Santa Terezinha. Tassinari et al. (op. cit) ont fait deux déterminations Rb/Sr aussi sur les gneisses du substratum. La première, avec une isochrone réelle, a donné un âge de 2651 ± 27 Ma ($RI=0,700 \pm 0,001$ et $MSWD=0,045$), dans la région de Itapirapuã. L'autre, sur une isochrone de référence, avec des échantillons de la région de Rubiataba, a donnée un âge de 2850 Ma ($RI=0,705$). Proche de Santa Terezinha, dans la région de Crixás, Pilar de Goiás et Hidrolina, Tassinari et al. (op. cit) ont fait une isochrone Rb/Sr, avec huit échantillons, qui a donné un âge de 2929 ± 105 Ma ($RI=0,701 \pm 0,002$), considéré par eux comme l'âge des granite-gneisses qui encaissent les greenstone belts de la région.

Montalvão (op. cit.) a fait sept autres analyses Rb/Sr qui, sur une isochrone de référence, ont donné des âges entre 2925 ± 65 Ma ($RI=0,7000 \pm 0,0001$, $MSWD=1.2690$) et 2475 ± 20 Ma

($RI=0,7015 \pm 0.0002$, $MSWD=0,17980$). Neuf autres échantillons ont été analysés Pb/Pb et ont donné une isochrone de 2481 ± 188 Ma et $Mu=7,699$ ($MSWL=1,0828$). Montalvão considère, aussi, que à 2900 Ma il y a eu formation de roches dans la région au sud de Santa Terezinha (greenstones) et que à 2500 Ma il y a eu une "différentiation métamorphique et géochimique qui a formé d'autres roches à partir d'une croûte continentale plus ancienne". Les déformations et la vergence tectonique déterminées par Montalvão à Crixas-Hidrolina sont comparables à celles déterminées à Santa Terezinha: de l'ouest vers l'est, selon la direction N60-80W. Il est probable, donc, que l'âge de 2690 Ma soit l'âge de la formation des roches de la Séquence de Santa Terezinha, en même temps que les greenstones de Crixás-Hidrolina, à partir de l'érosion du socle gneissique et avec une contribution volcanique de composition komatiitique.

Les échantillons analysés Rb/Sr (JC-ES 34 et JC-ES 57) sont hydrothermalisés et minéralisés. Ce type de minéral a été formé pendant DN+4, étant syncinématique de la dernière déformation qui a affecté la région. Le diagramme plomb-tectonique (Fig. 5) suggère que les roches datées ont subi une modification dans une ambiance orogénique, avec influence du manteau, vers 700-800 Ma. Pimentel et Fuck (1987) et Pimentel et Fuck (1992) ont déterminé la présence d'un arc magmatique néo-protérozoïque entre Aragarças et Gurupi, passant juste à l'ouest de la région des mines d'émeraudes de Santa Terezinha. A partir de déterminations Sm/Nd, U/Pb et Rb/Sr, Pimentel et Fuck (op. cit.) ont conclu que la région est une croûte formée à partir d'un arc d'île dérivé du manteau entre 900 et 600 Ma. L'arc d'île primitif aurait apparu à 900 Ma. Le magmatisme du type arc d'île a continué au long du néo-protérozoïque

(p. ex. l'âge de 764 Ma. à Jaupaci) jusqu'à la dernière phase de déformation et métamorphisme, au Brésilien (Pimentel & Fuck, 1992). Des âges du même ordre de grandeur ont été obtenus par Cordani & Hasui (1975), avec des analyses K-Ar, sur des biotites et des plagioclases des gabros de Niquelândia, sur des amphiboles du socle et sur des schistes du Groupe Araxá de la région de Santa Terezinha. Celle là est aussi l'âge Rb/Sr déterminé par Tassinari et al. (1981) sur les roches de la Séquence volcano-sédimentaire de Indianópolis (755±4 Ma, d'une isochrone avec RI=0,706±0,001 et MSWD=0,0366). L'âge de 476,1-478,4 Ma (Fig. 3) doit, donc représenter le refroidissement final de cet arc magmatique, dont l'activité a démarré il y a 700-800 Ma (Fig. 5). La minéralisation en émeraude est apparue probablement à la fin de cette période, quand il y a eu les derniers déplacements tectoniques dans la région.

REFERENCES

- Biondi, J.C., 1990. Depósitos de esmeralda de Santa Terezinha (60). Rev. Bras. Geociências, 20, 1-4, 7-24.
- Cordani, U.G. et Hasui, Y., 1975. Carta geológica do Brasil ao milionésimo - Nota explicativa de folha Goiás (SD-22). DNPM, 85-95.
- Hasui, Y., Tassinari, C.C.G., Siga Junior, O., Teixeira, W., de Almeida, F.F.M. et Kawashita, K., 1980. Dados Rb/Sr e K-Ar do centro-norte do Brasil e seu significado geológico-geotectônico. Cong. Bras. Geol., 31, Camboriu, 5, 2659-2676.
- Lafon, J.P., Marambira, J.B. et Macambira, M.J.B., 1990. A faixa de dobramento Araguaia (TO) - Novos dados geocronológicos. Cong. Bras. Geol., 36, Natal, 6, 2550-2564.
- Montalvão, R.M.G., 1985. Evolução geotectônica dos terrenos granitoide-greenstone belt de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás-Hidrolina (Goiás). Tese de Doutorado, USP, 372 p.
- Pimentel, M.M. et Fuck, R.A., 1987. Origem e evolução das rochas metavulcânicas e metaplutônicas da região de Arenópolis (60). Rev. Bras. Geociências, 17, 2-14.
- Pimentel, M.M. et Fuck, R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. Geology, 20, 375-379.
- Reis Neto, J.M., 1983. Evolução geotectônica da bacia do Alto Tocantins, Goiás. Tese de Maestrado, USP, 98p.
- Tassinari, C.C.G., Siga Junior, O. et Teixeira, W., 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: Solucoes, problemáticas e sugestoes. Simp. Geol. Centro-Oeste, 1, Goiania, 93-116.
- Vidal, Ph., Lasnier, B. et Poirrot, J.P., 1992. Determination of age and origin of emeralds using rubidium-strontium analysis. Jour. Gemmology, 23, 198-200.
- Zartman, R.E. et Doe, B.R., 1981. Plumbotectonics-The model. Tectonophysics, 75, 135-162.