



# PROCESSOS QUÍMICOS DE GÊNESE DE DEPÓSITOS DE ARGILOMINERAIS A PARTIR DE ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO CAMPO ALEGRE (SC)

J.C. Biondi; G.A. Vanzela; M.K. Bartoszeck

Departamento de Geologia – DEGEOL/UFPR, Caixa Postal 19.001, CEP 81531-990, Curitiba, PR

Recebido em 07/99; aprovado para publicação em 06/2000

## ABSTRACT

*At Campo ores mined are composed by kaolinite+quartz (white ores) and kaolinite+quartz+illite/muscovite (green ores), formed by alteration of rhyolite and trachyte. Deposits were formed by the conjunction of volcanogenic hydrothermal and supergenic alterations, this one still active today. During a tensional phase white ores were formed, while green ores were formed during compression. On both cases hydrothermalism caused enrichment of Zr and Y and lixiviation of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Rb and Sr of host rocks. Probably on both cases the hydrothermal fluids had the same composition. Differences between the products of alteration (white and green ores) would be a consequence of the equilibrium attained between fluid and rocks. Open fractures allow to a high fluid/rock ratio, and rocks were lixiviated, while distal rocks were kaolinized and silicified (=white ores). In and around closed fractures, the fluid/rock ratio was smaller and the interaction between fluid and rock was also smaller. Mineralogical reactions occurred equally inside de fractures and the host rocks, making possible the crystallization of illite/muscovite beyond kaolinite and quartz (green ore). Hydrothermalism also generates pyritized zones and propilitized zones, with quartz+chlorite. The assemblages of hydrothermal zones described are very similar to zones related to volcanogenic epithermal high sulfidation gold deposits.*

## RESUMO

*Em Campo Alegre (SC) são lavrados minérios com caulinita+quartzito (minério branco) e com caulinita/haloisita+quartzito+ilita/muscovita (minério verde) formados por alteração de riolitos e traquíitos. Os depósitos formaram-se pela conjunção entre um processo de alteração hidrotermal vulcanogênica, antigo, e outro de alteração supergênica, ainda hoje atuante. Em ambientes tensionais foi gerado o minério branco, e em ambientes compressionais o minério verde. Em ambos os casos houve enriquecimento em Zr e Y e lixiviação de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Rb e Sr das rochas. As diferenças entre os produtos das alterações (minérios branco e verde) seriam consequência sobretudo do equilíbrio entre o fluido hidrotermal e a rocha percolada. As fraturas abertas permitiram uma relação fluido/rocha elevada, causando a lixiviação das encaixantes e a silicificação e caulinitização (= minério branco) das partes mais distantes, onde a percolação do fluido é mais lenta possibilitando as reações mineralógicas. Nas fraturas fechadas a razão fluido/rocha foi menor e a interação entre fluido e rocha maior. As reações mineralógicas aconteceram já dentro das fraturas e também nas encaixantes, proporcionando o aparecimento, além do quartzito e da caulinita/haloisita, também da ilita/muscovita (minério verde). O hidrotermalismo formou zonas piritizadas e propilitizadas, com quartzito+clorita. As alterações descritas são semelhantes àquelas que ocorrem nos depósitos vulcanogênicos epitermais de ouro de alta sulfetação.*

## INTRODUÇÃO

Na região da bacia de Campo Alegre (SC), há 22 minas de caulim em operação e outros 30 depósitos já foram descobertos e dimensionados. O caulim lavrado nessa região abastece fábricas de cerâmica de mesa, de revestimentos e refratários de toda a região sul do país, há mais de 30 anos. Apesar da importância econômica dessas ocorrências, poucos estudos foram feitos visando compreender a gênese das mineralizações conhecidas e daí derivar critérios de prospecção de novos depósitos do mesmo tipo ou de depósitos de novos tipos de caulim ou de outros bens minerais relacionados. Os autores que publicaram algum trabalho relacionado a esses depósitos sempre mencionam uma gênese "a partir da alteração intempérica ou superficial das rochas", sem especificar como essa alteração se processa e se este é o único processo de formação envolvido na gênese dos depósitos de argilominerais encontrados na região. Esse trabalho é uma contribuição para preencher essa lacuna de conhecimento, analisando os processos de geração dos depósitos de argilominerais da região.

## HISTÓRIA GEOLÓGICA DA BACIA DE CAMPO ALEGRE – UM RESUMO

A bacia de Campo Alegre foi geologicamente mapeada por Daitx (1979) e teve sua geologia revista por Silva (1987), durante a elaboração do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina na escala 1:500.000, e por Citroni (1998). É uma bacia vulcano-sedimentar, composta essencialmente por vulcanitos ácidos e sedimentos vul-

canogênicos derivados, com todas as características de uma bacia tardi-orogênica. Suas rochas vulcânicas foram datadas pelo método Rb-Sr em  $536 \pm 65$  Ma (Basei & Teixeira, 1987) e pelo método U-Pb em  $570 \pm 30$  Ma (Citroni, 1998).

A Formação Campo Alegre foi definida, por Ebert (1971), como parte do Grupo Guaratubinha. Daitx (1979) e Silva (1987) dividiram-na em cinco unidades e situam-na no Grupo Itajaí. Citroni (1998) e Citroni & Basei (1999) propuseram uma divisão da bacia de Campo Alegre em nove Formações, contidas em dois Grupos (Grupo Bateias e Grupo Campo Alegre). Nenhum desses trabalhos aborda o estudo dos depósitos de caulim.

Em resumo, a bacia de Campo Alegre é formada, na base, por conglomerados e arcósios, intercalados com lavas traquíticas (predominantes), andesíticas e básicas (menos frequentes). Sobre essas unidades de base, depositaram-se várias seqüências vulcânicas com derrames, brechas, tufos e cinzas, com composições essencialmente riolítica e traquítica. Durante essa fase vulcânica, as rochas foram alteradas por fluidos quentes, de origem profunda (hidrotermais), e por fluidos superficiais (meteóricos) (Biondi, 1998; Biondi e Furtado, 1999 e Biondi, 1999). Ao final do vulcanismo, a parte norte da bacia foi coberta por sedimentos clásticos finos e médios, interpretados como depositados em um lago formado dentro de uma caldeira vulcânica (Citroni, 1998; Citroni & Basei, 1999). Todas essas unidades formaram-se por volta de 530-570 Ma.

Após preenchida a bacia de Campo Alegre, as rochas de cobertura ficaram expostas por

cerca de 260-300 Ma, até o início do Permiano, quando a região foi recoberta pelo mar, o que proporcionou o início da deposição dos sedimentos do Grupo Itararé, da bacia do Paraná. É muito difícil avaliar quanto foi erodido antes da cobertura pelo Itararé e quais as modificações intempéricas e estruturais causadas nas rochas da Campo Alegre nesse período de cerca de 300 Ma. É igualmente difícil avaliar quais as conseqüências da imersão no mar Itararé e do soterramento das rochas da Campo Alegre sob as rochas da Bacia do Paraná, mas, certamente, as rochas vulcânicas não passaram incólumes por esses eventos.

A exumação das rochas da Campo Alegre deve ter acontecido há poucos milhões de anos, pois a diferença de cota entre rochas do Itararé, depositadas diretamente sobre o embasamento gnáissico (em São Bento do Sul) e sobre a superfície atual da Campo Alegre, é de cerca de 100 metros apenas. Após a exumação, novamente as rochas vulcânicas foram submetidas a ciclos de intemperismo e de erosão, até adquirirem a conformação e a composição da superfície atual. Os depósitos de argilominerais são produtos dessa história geológica.

## DEPÓSITOS DE CAULIM DA REGIÃO DE CAMPO ALEGRE

Biondi (1998), Biondi & Furtado (1999) e Biondi (1999) descreveram quatro depósitos de caulim da região de Campo Alegre. Nesses trabalhos, foram caracterizadas várias fácies de minérios e foi proposto um modelo genético/evolutivo para os depósitos da mina Floresta e da mina Cambuí. Foi mostrado

que as fácies de minérios descritas podem ser agrupadas em dois grupos:

– Minérios brancos, compostos por caulinita/haloisita, quartzo e ilita. Nesses minérios, a proporção caulinita/haloisita sobre ilita é no mínimo de 80/20. É o principal tipo de minério de caulim da região, lavrado em todas as minas.

– Minérios verdes ou esverdeados, compostos por caulinita/haloisita, quartzo e ilita. Têm uma proporção caulinita-haloisita sobre ilita variando de 40/60 a 80/20. O minério verde ocorre em quantidades muito restritas em todas as minas e depósitos descritos. Existe em quantidades significativas e é sistematicamente lavrado somente em três delas: Cambuí, Aruanã e Turvo.

O modelo genético proposto prevê que os depósitos de caulim formaram-se em duas etapas:

Etapa 1: Alterações hipogênicas (hidrotermais) das rochas vulcânicas durante as diversas fases vulcânicas ocorridas durante o preenchimento da bacia de Campo Alegre. Nessa fase, entre outros tipos de transformação, as rochas foram localmente parcial ou totalmente argilizadas.

Etapa 2: Alteração supergênica das rochas expostas em superfície. Nessa fase, houve argilização intempérica de rochas até então inalteradas e um aumento da argilização das rochas anteriormente hidrotermalizadas, que tinham suas estruturas enfraquecidas pelo hidrotermalismo. A alteração hidrotermal antiga facilitou a ação dessa segunda fase de argilização. Nos locais onde houve a soma desses dois processos de argilização, foram gerados os maiores depósitos de caulim da região.

Nesse trabalho, será feita uma nova análise da validade desse modelo e das transformações que devem ter ocorrido nas rochas, durante as diferentes fases de alterações hipogênicas e supergênicas, que geraram os minérios de caulim. Para isso, foram examinados, descritos e amostrados os 22 principais depósitos de caulim da região (Fig. 1), o que permitiu a obtenção de informações analíticas e de campo, antes não conhecidas.

### ALTERAÇÕES HIPOGÊNICAS X ALTERAÇÕES SUPERGÊNICAS

As alterações hipogênicas não foram reconhecidas pelos autores que estudaram a região, ou, se reconhecidas, não foram consideradas como tendo tido influência decisiva na geração dos depósitos de caulim de Campo Alegre (Citroni, 1998, pg. 81; Tomazzoli *et al.*, 1999). É necessário, portanto, mostrar que somente a ação intempérica, geradora da caulinizacão supergênica, não seria suficiente para gerar os depósitos de caulim descritos. Para isso, foram coletadas e analisadas as seguintes amostras (Tabela 1):

– 22 amostras de rochas sem evidência de argilização, coletadas na região das minas, na parte sul da bacia de Campo Alegre,

– 26 amostras de minérios de caulim e ilita, de cores esverdeadas, provenientes de 6 minas da região (vide Tabela 1, última coluna à direita),

– 08 amostras totalmente argilizadas por intemperismo. Es-

sas amostras foram coletadas em locais onde não foi notada qualquer evidência de outro processo de alteração que não o intemperismo.

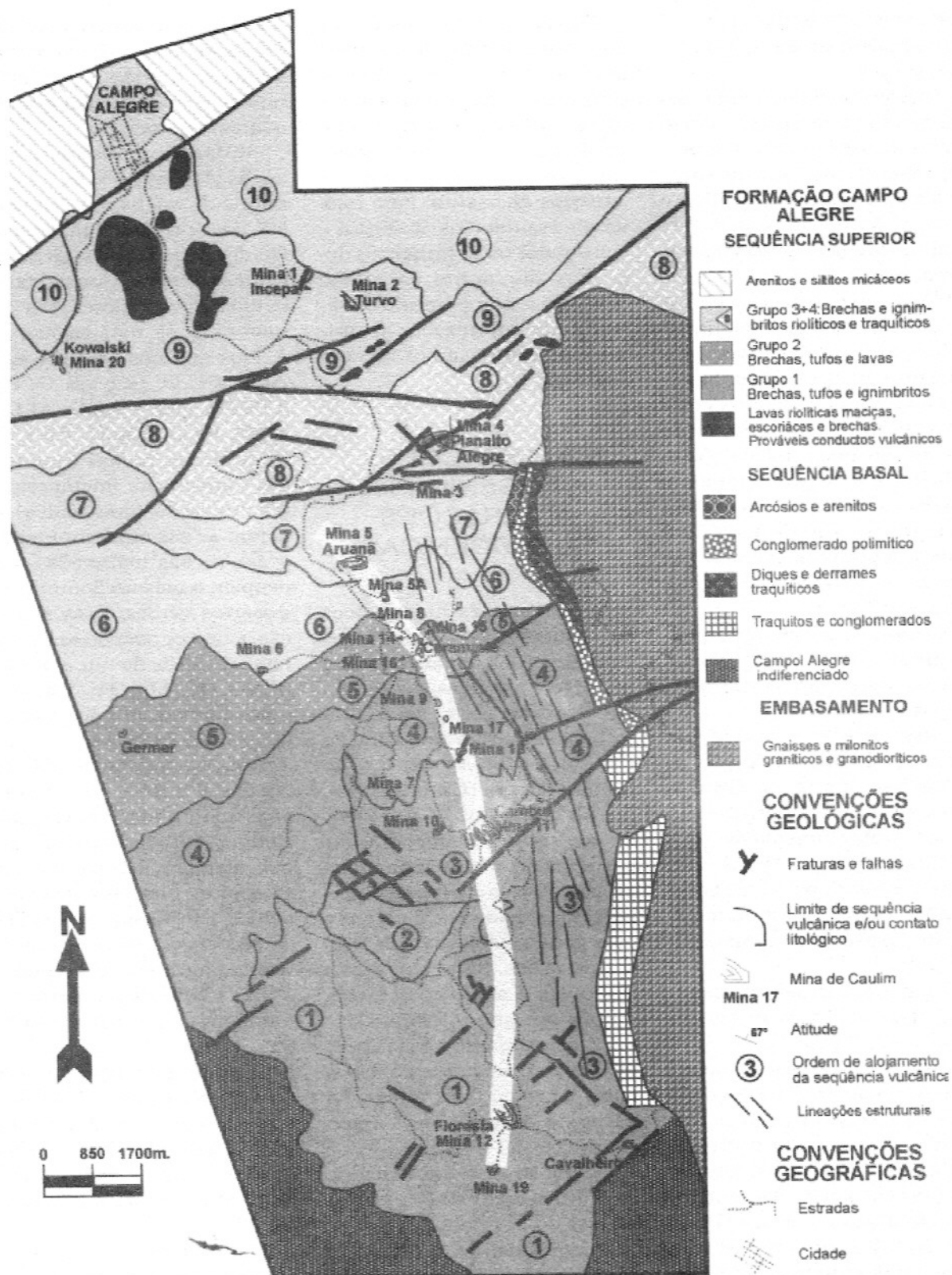
Todas as amostras foram analisadas no LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Considerando os elementos maiores (Fig. 2) e traço (Fig. 3), nota-se que:

1. Nos gráficos  $\text{SiO}_2 + x \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2 \times \text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb} \times \text{Y}$  e  $\text{Rb} \times \text{Nb}$ , as rochas caulinizadas somente por intemperismo (caulinizacão supergênica) separam-se dos minérios brancos e das rochas inalteradas, mas ocupam o mesmo domínio dos minérios verdes. Essa separacão acontece quando se comparam os teores de um elemento móvel (K, Mg, Fe, Rb) com outro imóvel ou pouco móvel (Si, Al, Ti, Zr, Y, Nb).

2. Quando se compara  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Y} \times \text{Sr}$ , somente as rochas inalteradas individualizam-se. As rochas caulinizadas por intemperismo confundem-se com os minérios brancos e verdes. Isto acontece quando se comparam os teores de um elemento pouco móvel ou imóvel (Al, Y) com os de elementos muito móveis, no caso o Na e o Sr.

3. Quando se comparam os teores de elementos pouco móveis ou imóveis, nenhum domínio se individualiza. É o que acontece, por exemplo, com o  $\text{Zr} \times \text{Nb}$  e com o  $\text{Zr} \times \text{Y}$ , na Figura 3.

Das Figuras 2 e 3, é possível concluir que a caulinizacão supergênica não é suficiente para gerar os minérios brancos dos depósitos de caulim amostrados. O processo de transformacão das rochas traquíticas e riolíticas em



**Figura 1-** Localização dos principais depósitos de caulim da região de Campo Alegre (SC). Esses depósitos foram descritos e amostrados para a elaboração desse trabalho.

**Tabela 1** – Análises químicas de rochas e de minérios de caulim da região de Campo Alegre (SC).

(a) Rochas vulcânicas não argilizadas da região de Campo Alegre.																
Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Riolito Oxford Oxford 15A	65,92	12,34	0,24	0,14	2,30	0,42	2,18	6,22	0,019	0,026	164	48	42	161	16	Riolito
	73,37	12,94	0,11	0,15	1,53	0,16	0,79	6,74	0,008	0,017	185	44	12	158	17	Riolito fluidal em meio a rochas argilizadas
Riolito Cambui CA-23 CA-20 CA-19 CA-17 CA-16 CA-15 CA-9 CA-8 CA-6	68,63	13,54	0,13	0,27	2,40	0,27	1,88	5,42	0,036	0,024	356	34	11	118	15	Rocha fresca
	76,80	13,81	0,21	0,08	2,81	0,11	1,20	5,01	0,015	0,006	219	57	16	191	23	Riolito esferulítico
	65,30	15,95	0,20	0,79	1,39	0,32	7,01	8,81	0,046	0,102	428	58	55	208	23	Traquito
	54,80	17,35	0,68	1,02	1,69	1,69	9,23	10,83	0,099	0,693	768	95	497	341	24	Aegerina traquito
	65,68	16,67	0,20	0,71	1,41	0,15	7,93	6,79	0,073	0,074	825	172	36	93	20	Traquito
	74,50	13,21	0,18	0,27	2,83	0,15	3,63	5,01	0,033	0,026	1054	80	26	84	26	Traquito
	72,99	14,93	0,18	0,28	2,65	0,31	3,06	3,95	0,009	0,037	752	52	72	78	23	Traquito
	73,37	14,96	0,23	0,09	1,60	0,37	2,14	5,36	0,025	0,007	194	85	41	194	30	Riolito maciço
	62,58	23,08	0,18	0,12	0,17	1,26	2,75	4,95	0,052	0,007	320	89	13	298	28	Riolito cloritizado
	70,76	15,85	0,30	0,38	0,37	0,24	2,18	0,10	0,007	0,038	2304	145	18	4	56	Riolito(?) com disjunção colunar
CA-3 CA-2	75,35	13,95	0,24	0,16	2,17	0,24	1,46	5,52	0,015	0,018	130	52	44	134	16	Vidro riolítico
	75,86	13,88	0,20	0,15	2,33	0,18	1,21	5,98	0,014	0,014	131	40	38	136	15	Riolito fluidal
Mina 15/A3/2	71,96	16,41	0,17	0,31	0,59	0,10	1,80	6,90	0,007	0,037	918	56	18	168	27	Riolito não argilizado dentro de minério argilizado
Mina 15/A3/1	71,40	15,32	0,17	0,29	0,89	0,10	2,60	7,22	0,022	0,043	875	68	23	177	30	Riolito não argilizado dentro de minério argilizado
CA-30	66,69	15,39	0,22	0,28	1,67	0,55	6,32	8,38	0,259	0,052	834	65	11	159	22	Riolito com clorita e vugs de quartzo
CA-26	74,61	14,62	0,27	0,17	2,15	0,18	1,72	6,00	0,023	0,014	159	43	42	186	18	Riolito escoriáceo
CA-25	80,93	9,67	0,16	0,14	0,21	0,14	1,53	6,86	0,004	0,012	117	34	10	148	19	Riolito escoriáceo
CA-24	76,39	13,90	0,22	0,07	2,72	0,10	1,61	4,85	0,015	0,004	196	62	26	174	27	Riolito maciço amarelo
CA-38	49,84	17,58	9,28	1,97	3,23	6,59	11,55	0,76	0,201	0,385	199	21	295	10	9	Básica-C. Alegre?
CA-36	51,89	17,41	7,34	2,04	4,41	4,39	10,61	1,60	0,165	0,436	217	32	418	46	9	Básica-C. Alegre?

Tabela 1 – (continuação)

(b) Minérios brancos de caulim de minas de caulim da região de Campo Alegre.

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Oxford 15D	67,37	16,83	0,10	0,18	0,14	0,12	0,39	5,41	0,008	0,015	225	35	4	130	16	Mina Floresta-Riolito fluidal muito argilizado
Oxford 15C	67,82	15,46	0,09	0,17	0,43	0,17	0,54	6,56	0,007	0,014	213	51	10	157	23	Mina Floresta-Riolito fluidal argilizado
Oxford 15B	71,91	14,09	0,10	0,15	1,79	0,11	0,51	5,15	0,005	0,011	174	34	13	120	15	Mina Floresta-Riolito fluidal pouco argilizado
Oxford 9	65,66	20,13	0,09	0,27	0,09	0,26	0,81	1,25	0,015	0,016	257	36	7	78	30	Mina Floresta- Ignimbrito dentro de brechas argilizadas
Oxford 6C	71,09	17,00	0,11	0,18	0,08	0,21	0,76	0,74	0,014	0,016	214	25	4	50	18	Mina Floresta-Brecha vulcânica argilizada
Oxford 6A	72,32	17,18	0,10	0,25	0,06	0,15	0,46	0,37	0,009	0,014	351	24	1	20	19	Mina Floresta-Riolito maciço argilizado
Oxford 3	66,35	18,16	0,10	0,20	0,04	0,16	0,78	0,82	0,01	0,015	223	39	6	44	19	Mina Floresta-Riolito fluidal argilizado
Oxford 2	79,41	11,87	0,10	0,19	0,04	0,18	0,38	0,45	0,006	0,02	250	29	0	35	15	Mina Floresta-Riolito maciço argilizado
Oxford 1	61,06	25,11	0,11	0,22	0,04	0,09	0,52	0,25	0,004	0,016	257	28	6	19	25	Mina Floresta-Riolito fluidal argilizado
Cabui 13	77,18	12,34	0,11	0,23	0,06	0,18	0,60	0,55	0,007	0,014	467	26	6	33	20	Mina Turvo-Grande dique de riolito argilizado
Cabui 8	53,71	22,48	0,10	0,38	0,07	0,09	0,51	0,12	0,003	0,063	475	46		8	18	Mina Cambuí-Tufo argilizado.
Turvo 10A	70,52	17,88	0,15	0,43	0,15	0,09	1,05	0,03	0	0,104	4410	242	12	2	64	Mina Turvo-Riolito branco "arenoso", argilizado.
Turvo 9	70,24	16,99	0,17	0,82	0,20	0,68	1,80	1,39	0,012	0,026	1500	96	25	86	49	Mina Turvo-Riolito branco argilizado.
Turvo 5	56,51	22,31	0,17	0,84	0,16	0,58	1,70	1,99	0,013	0,058	1128	73	21	111	37	Mina Turvo-Riolito branco argilizado.
Turvo 3	67,93	22,84	0,16	0,77	0,18	0,00	0,47	0,09	0,006	0,029	1141	47	24	10	38	Mina Turvo-Cinerito bege argilizado.
Ceramarte	46,46	29,89	0,16	1,97	0,14	0,08	0,89	0,20	0,009	0,026	692	25	31	12	29	Mina Ceramarte

Tabela 1 – (continuação)

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Ceramarte	70,95	15,86	0,16	0,33	0,14	0,07	0,12	0,04	0,003	0,021	3188	187	15	6	70	Mina Ceramarte
Ceramarte	56,40	24,74	0,18	0,73	0,13	0,03	0,68	0,03	0,011	0,066	1261	63	13	9	36	Mina Ceramarte
A-22B	67,68	24,37	0,16	0,27	0,19	0,01	0,66	0,07	0,003	0,026	664	35	13		25	Mina Aruanã- Minério branco
PA-04	67,53	21,47	0,18	1,26	0,16	0,53	1,56	1,72	0,015	0,142	448	38	66	78	21	Mina Planalto Alegre
CA-40	74,93	17,93	0,18	0,22	0,17	0,25	0,66	0,62	0,006	0,025	197	33	13	32	21	Mina Kowalski- Minério branco
CA-33	58,91	26,37	0,17	0,43	0,16	0,32	2,14	1,95	0,022	0,024	549	52	4	125	24	Mina 18
CA-31	54,87	30,64	0,17	0,38	0,15	0,40	1,78	2,27	0,022	0,026	499	40	5	126	23	Mina 17
CA-29	81,09	12,44	0,18	0,33	0,15	0,09	0,78	0,10	0,002	0,049	948	37	18	3	30	Mina 16
CA-28	63,75	22,49	0,18	0,39	0,15	0,05	0,65	0,07	-0,001	0,062	1039	48	17	2	30	Mina 15
CA-27	66,09	25,68	0,17	0,43	0,14	0,00	0,53	0,06	0,002	0,036	1145	51	6		29	Mina 5A
(c) Minérios verdes, de caulim e ilita, de Minas de caulim da região de Campo Alegre																
Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Oxford 12A	45,69	26,44	0,09	0,25	0,03	0,94	4,37	6,68	0,057	0,009	302	91		386	22	Mina Floresta- Brecha branca com fragmentos verdes, argilizada
Oxford 10	71,87	16,11	0,11	0,22	0,07	0,28	1,08	1,75	0,018	0,014	225	35	1	105	19	Mina Floresta- Brecha de cor verde argilizada
Oxford 7	47,81	25,12	0,09	0,40	0,05	1,28	5,41	7,72	0,076	0,039	569	123	4	513	22	Mina Floresta- Minério verde.
Oxford 6B	54,31	26,70	0,09	0,30	0,06	0,23	1,72	1,85	0,033	0,022	408	54	1	148	23	Mina Floresta-Tufo de cor verde clara argilizado
Cabui 14	77,84	11,32	0,10	0,13	0,07	0,20	1,22	0,96	0,018	0,016	154	26	3	66	14	Mina Cambui-Tufos verdes argilizados
Cabui 12B	59,17	20,31	0,13	0,31	0,18	0,48	1,51	1,58	0,011	0,046	403	54	13	107	25	Mina Cambui-Tufo verde argilizado
Cabui 12A	61,45	17,40	0,12	0,35	0,08	0,05	0,41	0,09	0,003	0,033	469	35	13	7	18	Mina Cambui-Tufo verde argilizado em zona de falha

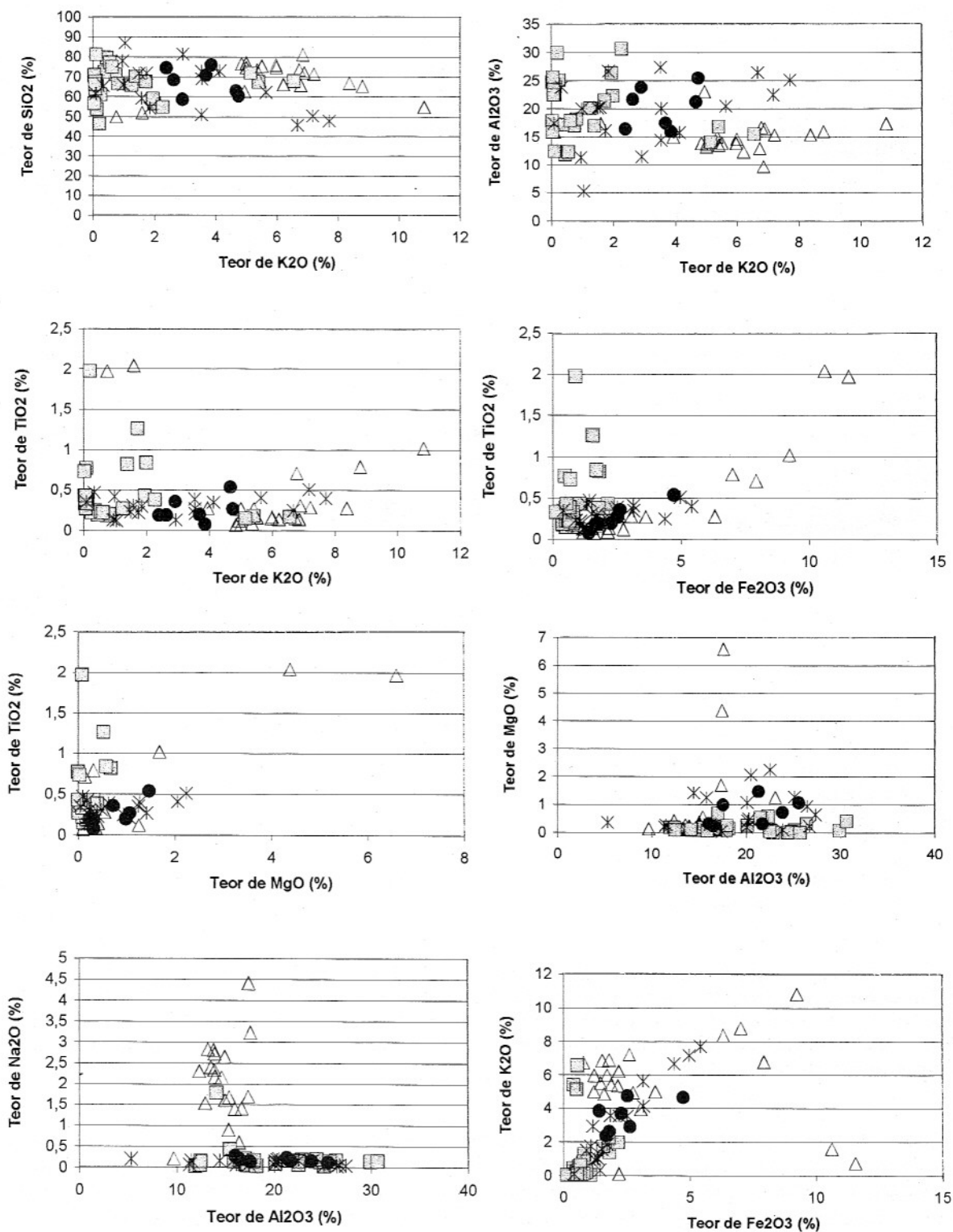
Tabela I – (conclusão)

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Cabui 11C	50,96	27,37	0,09	0,39	0,04	0,64	2,51	3,54	0,024	0,029	516	68	2	207	29	Mina Cambui-Riolito esverdeado argilizado
Cabui 5	65,94	20,04	0,10	0,42	0,07	0,19	1,36	0,99	0,01	0,02	511	50	5	92	29	Mina Cambui-Tufo cinerítico argilizado de cor verde
Turvo 8A	50,31	22,51	0,15	0,51	0,17	2,24	4,97	7,18	0,023	0,052	2339	148		314	44	Mina Turvo-Tufos verdes argilizados.
Turvo 7	72,64	14,41	0,17	0,27	0,16	1,42	2,20	3,55	0,012	0,051	1156	97	16	146	33	Mina Turvo-Lapilli-tufo verde claro argilizado.
Turvo 2	65,35	23,86	0,17	0,47	0,15	0,10	1,43	0,34	0,006	0,031	747	31	32	23	25	Mina Turvo-Riolito fluidal verde, argilizado.
Turvo 1A	62,25	20,51	0,18	0,41	0,20	2,06	3,15	5,65	0,019	0,046	1939	165	11	240	50	Mina Turvo-Riolito fluidal verde, argilizado.
CA-22A	72,83	15,78	0,18	0,35	0,16	1,25	3,16	4,14	0,088	0,021	860	86	10	268	18	Mina Aruanã-Min. verde
CA-41	71,63	20,17	0,17	0,23	0,15	0,41	0,90	1,50	0,013	0,033	210	59	13	85	17	Mina Kowalski-Min. esverdado
CA-39	69,00	20,10	0,17	0,21	0,14	1,07	1,85	3,56	0,043	0,018	197	63	13	164	20	Mina Kowalski- Min.verde
PA-02 B	86,89	5,31	0,19	0,12	0,20	0,35	1,33	1,05	0,003	0,023	415	39	23	60	17	Mina Planalto Alegre
PA-01 B	81,29	11,49	0,18	0,13	0,16	0,27	1,16	2,93	0,02	0,014	110	33	14	126	12	Mina Planalto Alegre

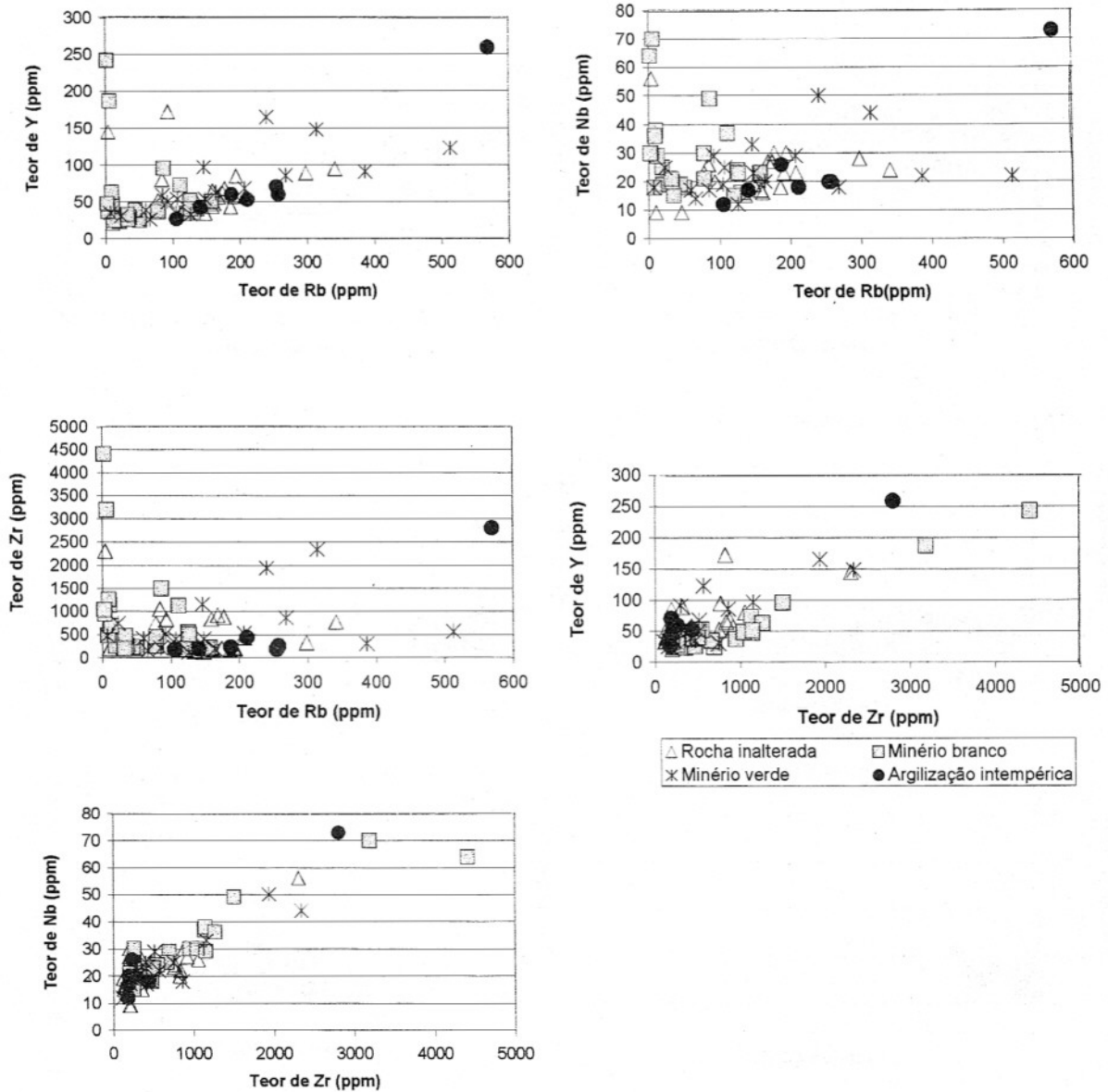
## (d) Rochas totalmente argilizadas por intemperismo da região de Campo Alegre

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
CA-32	58,62	23,82	0,18	0,36	0,15	0,73	2,62	2,91	0,032	0,024	438	53	10	211	18	Riolito argilizado
CA-21	70,86	17,52	0,18	0,20	0,14	0,99	2,27	3,69	0,073	0,006	188	71	14	254	20	Tufo argilizado
CA-13	74,50	16,45	0,17	0,19	0,19	0,24	1,68	2,39	0,006	0,021	176	27	11	105	12	Riolito argilizado
CA-12A	68,44	21,70	0,18	0,19	0,16	0,32	1,80	2,63	0,015	0,014	187	43	6	140	17	Tufo argilizado
CA-10	75,98	16,00	0,17	0,08	0,27	0,32	1,40	3,86	0,028	0,012	232	60	13	187	26	Riolito argilizado
CA-7	63,02	21,28	0,18	0,54	0,23	1,47	4,72	4,67	0,048	0,079	2803	259	19	569	73	Riolito argilizado
CA-4	60,46	25,54	0,17	0,27	0,12	1,07	2,52	4,75	0,041	0,011	258	60	8	257	20	Riolito argilizado





**Figura 2** – Gráficos SiO<sub>2</sub> x K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> x K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> x Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> x MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O x Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O x Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de amostras de rochas inalteradas (triângulos), de minérios brancos (quadrados), de minérios verdes (asteriscos) e de rochas totalmente caulinizadas por ação intempérica (círculos cheios), da região de Campo Alegre (SC). Dessa figura, é possível concluir que a caulinição supergênica não é suficiente para gerar os minérios brancos dos depósitos de caulim amostrados. Veja legenda da Figura 3.



**Figura 3** – Gráficos Y x Rb, Nb x Nb, Zr x Rb, Y x Zr e Nb x Zr de amostras de rochas inalteradas (triângulos), de minérios brancos (quadrados), de minérios verdes (asteriscos) e de rochas totalmente caulinizadas por ação intempérica (círculos cheios), da região de Campo Alegre (SC). Dessa figura, assim como da Figura 2, é possível concluir que a caulinição supergênica não é suficiente para gerar os minérios brancos dos depósitos de caulim amostrados.

minério branco levou a um esgotamento em  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  e Rb dessas rochas, que somente a caulinição supergênica não é capaz de realizar. Um outro processo, adicional à caulinição supergênica, é necessário para transformar as rochas inalteradas no tipo mais comum de minério de caulim da região de Campo Alegre.

A coincidência, nas Figuras 2 e 3, entre os domínios dos minérios verdes e das rochas caulinizadas por intemperismo sugere uma relação genética direta entre a caulinição supergênica e esse tipo de minério. Será mostrado, a seguir, que essa relação é pouco provável. Não somente a posição dos minérios verdes nos depósitos examinados como também o

processo pelo qual os minérios verdes são gerados indicam que essa coincidência entre os domínios é apenas casual.

### TIPOS DE ALTERAÇÕES HIPOGÊNICAS

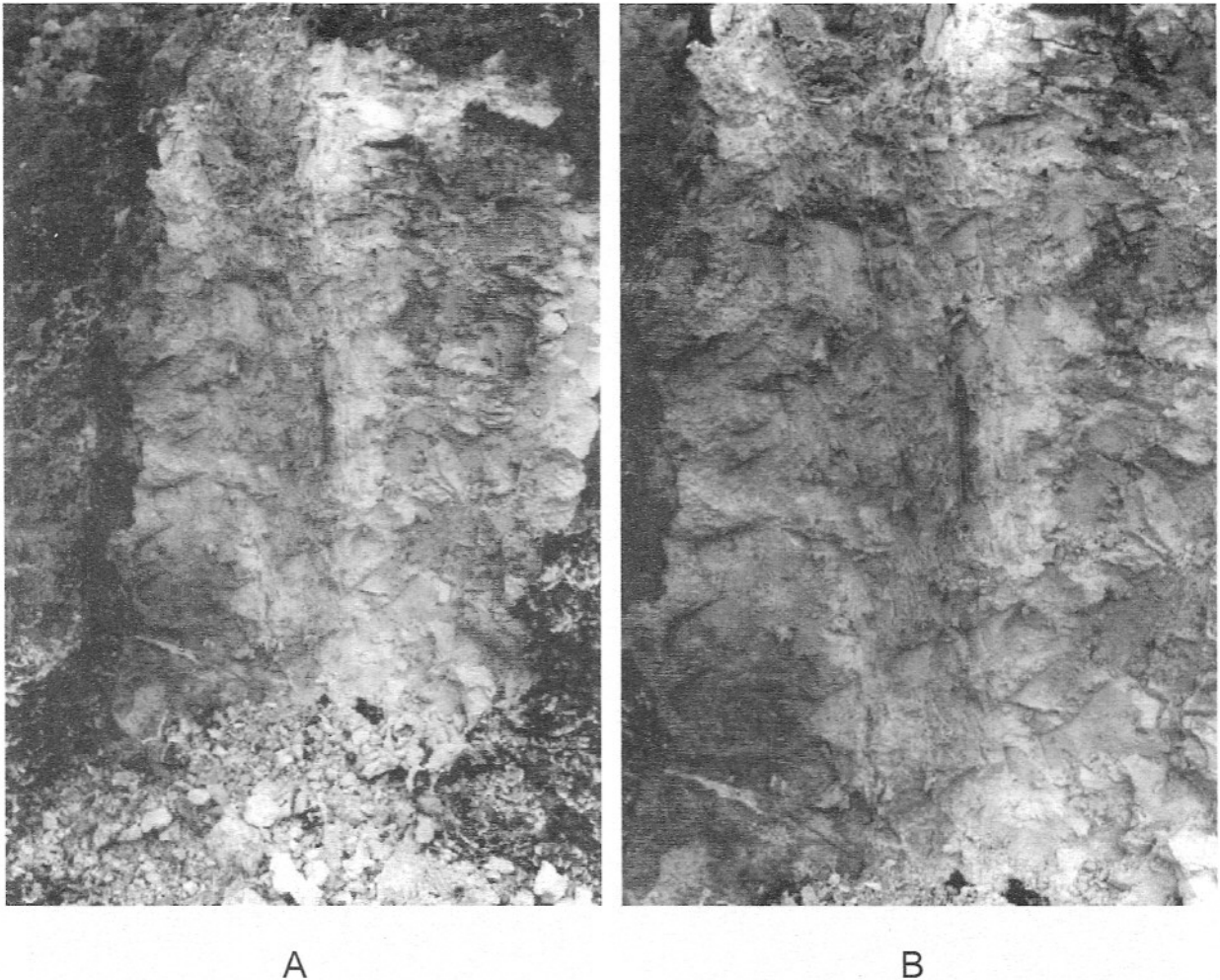
Ao menos três tipos de alterações hipogênicas podem ser

reconhecidas na região dos depósitos de caulim da região de Campo Alegre. São elas: (1) Alterações relacionadas a fraturas fechadas; (2) Alterações relacionadas a fraturas abertas e; (3) Alterações pervasivas ou penetrativas.

As fraturas fechadas (Fig. 4a e b, mina 16) são indicadas pela presença de rochas estruturalmente foliadas, de cor verde, to-

talmente argilizadas. A intensidade da cor verde e da foliação diminuem com a distância da fratura. Difrátogramas de raios X mostram que esta rocha é composta por caulinita/haloisita, illita/muscovita verde e quartzo microcristalino, e que a quantidade de illita/muscovita diminui com a distância da fratura. A Tabela 2b mostra resultados de análises químicas da rocha, na

mina 16, que preenche essas fraturas (dois fragmentos), e das rochas argilizadas no contato da fratura (4 fragmentos), entre 10 e 40 cm distante do contato (4 fragmentos), e entre 40 e 80 cm distante do contato (4 fragmentos). A distâncias maiores que 40 cm do contato, a rocha torna-se homogênea, de cor branca levemente acinzentada, não mais variando de cor ou composição.



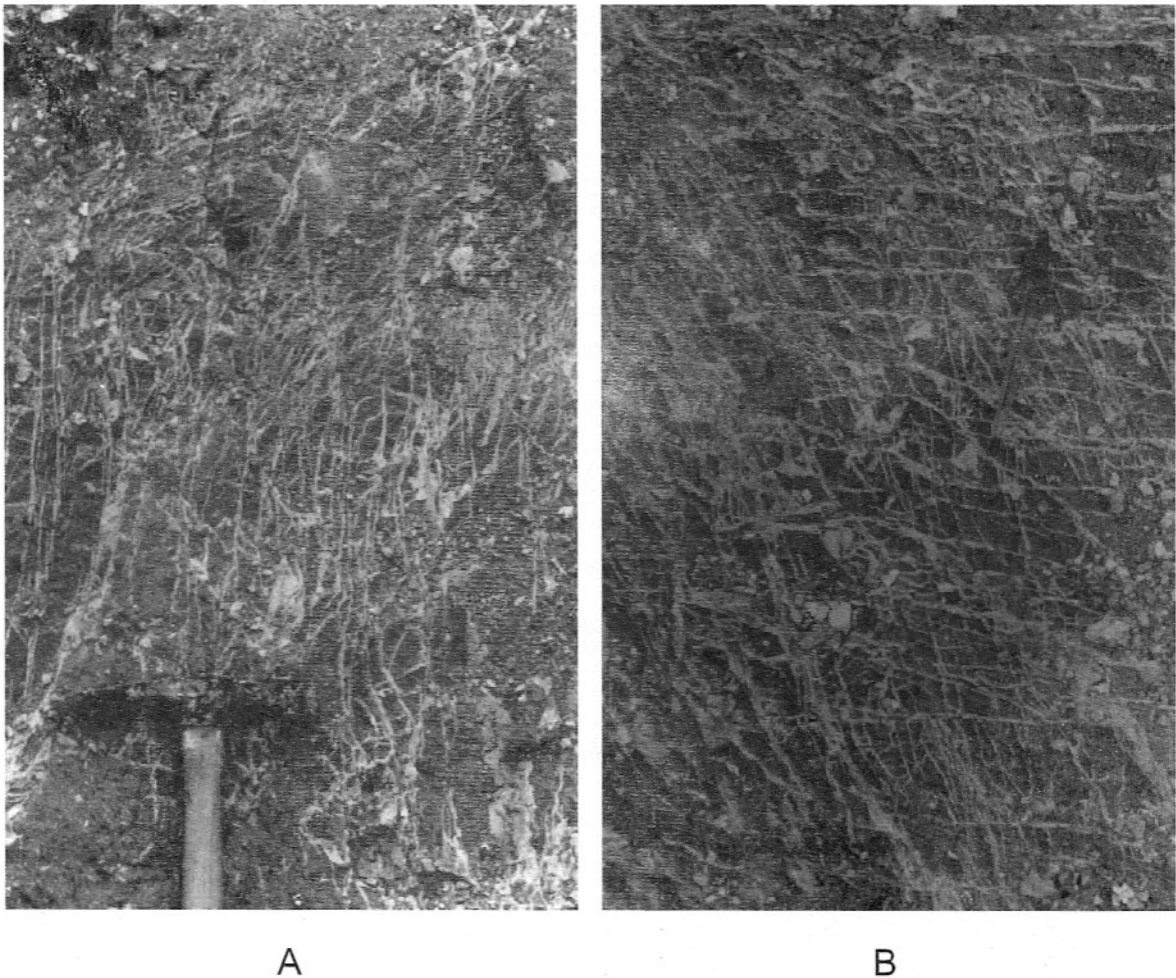
**Figura 4** – (a) Fratura fechada indicada pela presença de rocha estruturalmente foliada, verde, em riolito. Os contatos da fratura também estão argilizados e têm cor verde mais clara, quanto mais distante se estiver do contato. (b) Detalhe da foto (a). Para o estudo de perdas e ganhos químicos, foram coletadas amostras dentro da fratura, no seu contato com as encaixantes, entre 10 e 40 cm e entre 40 e 80 cm do contato.

As fraturas abertas (Fig. 5a e b, mina 15) constituem zonas densamente fraturadas (Fig. 5a). São preenchidas por material branco, cuja composição mineralógica é somente caulim e quartzo microcristalino. A Figura 6 mostra quatro difratogramas desse material, feitos em amostras das minas Floresta (primeiro difratograma), Cambuí, mina 15 e Aruanã (último difratograma). Estes difratogramas mostram que este material tem composições idênticas em todas as minas examinadas, su-

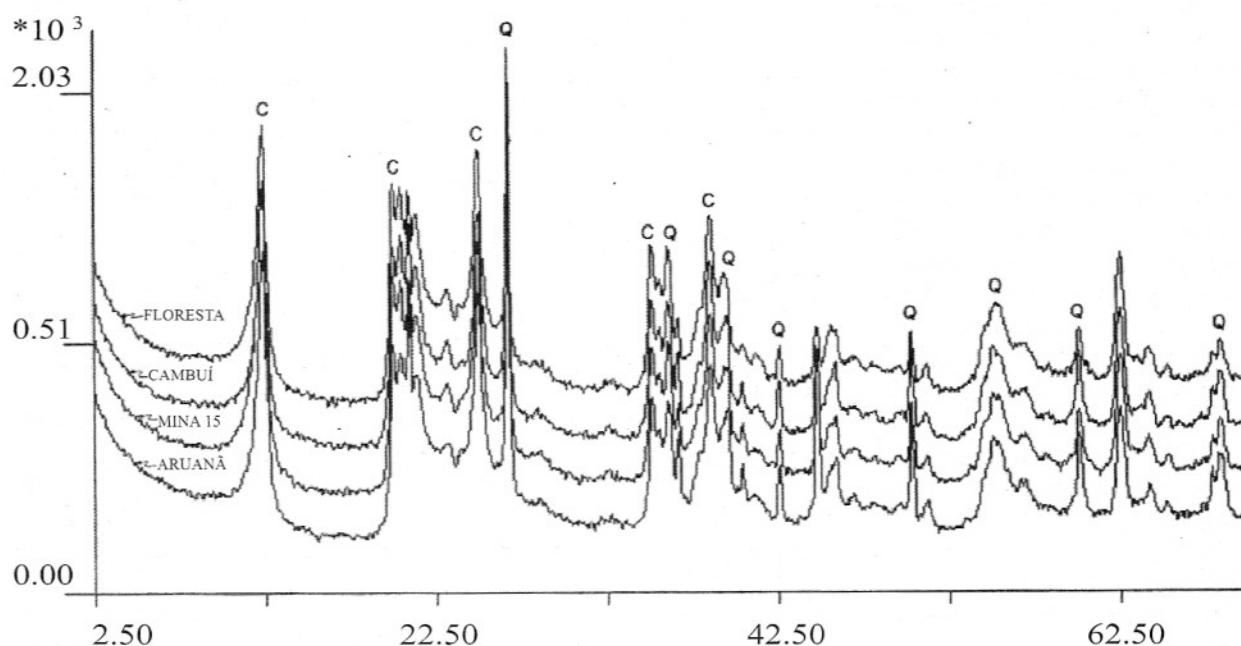
gerindo que se tenham formado sempre pelo mesmo processo.

As partes de rocha entre as fraturas abertas são angulosas e mantêm formas que permitem reconstituir a rocha antes do fraturamento (Fig. 5b). Este tipo de fraturamento é considerado como sendo gerado por fraturamento hidráulico ou hidrocataclamento (implosões freáticas). O material entre as fraturas tem cor rosada, é muito poroso e lixiviado, com aspecto concrecionar. A Tabela 2a mos-

tra resultados analíticos de amostras da mina 15 do material branco que preenche as fraturas abertas (quatro fragmentos) e do material rosado, poroso, concrecionar, coletado entre as fraturas (2 fragmentos). Ainda na Tabela 2a, estão os resultados de duas análises de riolitos não argilizados, que afloram em meio aos minérios de caulim das minas 15 e 16. Esse riolito é parte da rocha original do local, que resistiu aos processos de alteração que gerou os minérios verde e branco.



**Figura 5** – (a) Vista da frente de lavra da mina 15, da Ceramarte, totalmente tomada por uma rede de fraturas abertas, formadas por hidrocataclamento. (b) Detalhe da foto (a). Notar que os fragmentos de rocha entre as fraturas são angulosos e mantêm formas que permitem reconstituir a rocha antes do fraturamento. As fraturas abertas estão preenchidas por caulim e quartzo microcristalino.



**Figura 6** – Difratoogramas do material argiloso de cor branca, que preenche as fraturas abertas (Fotos 5a e b). O primeiro difratograma é de uma amostra coletada na mina Floresta. As outras amostras foram coletadas nas minas Aruanã, mina 15 e Cambuí. Notar que os quatro difratogramas são idênticos, sugerindo que o processo de formação e preenchimento das fraturas abertas foi o mesmo em todas as minas.

As alterações pervasivas afetam as rochas transformando-as a ponto de destruir todas as texturas e estruturas originais. Na região estudada, ao menos quatro tipos de alterações pervasivas foram observados:

(a) Silicificação, caulinição e filitização:

O produto dessa alteração é o mesmo minério verde que se forma junto das fraturas fechadas, acima descritas. Esse tipo de alteração pervasiva atinge as rochas em torno de fraturas e expande-se a partir dessas fraturas, quando a rocha é permeável e porosa, como as brechas e tufo vulcânicos. Na mina Cambuí, Aruanã e Turvo formaram-se volumes significativos de minério verde, atualmente lavrados para cerâmica de revestimento. As rochas alteradas são constituídas por quartzo, caulim e pela illita e/ou musco-

vita verdes, responsáveis pela cor verde da rocha. A quantidade e a granulometria do quartzo variam. Quando com granulometria média, o quartzo dá resistência à rocha, tornando-a dura e com cor verde escura. Quando o quartzo é microgranular, a rocha é argilizada mais facilmente e torna-se mole, constituindo o minério verde claro. Na Tabela 1c, as amostras PA-01 B e PA-02 B são de rocha dura e as outras análises são de minério verde.

Essas características mostram que o minério verde, assim como o branco, foi também formado pela superposição da alteração supergênica, tardia, à alteração hidrotermal. Nas Figuras 2 e 3, conforme dito anteriormente, a superposição dos domínios das rochas totalmente argilizadas por intemperismo com aquele dos minérios verdes é apenas casu-

al. Também nesse caso, a argilização supergênica não é Figura 6 – Difratoogramas do material argiloso de cor branca, que preenche as fraturas abertas (Fotos 5a e b). O primeiro difratograma é de uma amostra coletada na mina Floresta. As outras amostras foram coletadas nas minas Aruanã, mina 15 e Cambuí. Notar que os quatro difratogramas são idênticos, sugerindo que o processo de formação e preenchimento das fraturas abertas foi o mesmo em todas as minas. suficiente para gerar o minério verde, sendo, antes da supergênese, necessária uma fase hidrotermal que gere illita/muscovita, quartzo e caulim. Esse processo será explicado abaixo.

(b) Silicificação e caulinição:

É o principal processo de alteração observado nas minas

da região, responsável pela gênese dos minérios brancos. Desenvolve-se a partir de redes de fraturas abertas, como as descritas acima, expandindo-se para as encaixantes a partir dessas fraturas. É o tipo de alteração mais penetrativa, afetando rochas porosas e permeáveis (tufos e brechas) e também as não porosas (riolitos e traquitos). O minério formado por esse tipo de alteração é lavrado em todas as minas da região. Este processo de alteração será, também, explicado a seguir.

### (c) Silicificação e cloritização:

Em vários afloramentos da região das minas, os riolitos e os traquitos estão silicificados, com microgeodos revestidos de quartzo (*vugs*) e com clorita na matriz e nos microgeodos. Esta alteração é um tipo de propilitização, alteração comum em ambientes hidrotermais como os dos depósitos apicais disseminados (zona propilitica dos *porphyry coppers*). A amostra CA-30, da Tabela 1, é um exemplo desse tipo de alteração desenvolvido sobre traquitos. Notar os teores elevados de  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $MgO$  e de  $Fe_2O_3$ , que caracterizam a propilitização.

### (d) Piritização:

Junto à entrada da mina Planalto Alegre (Fig. 1), abaixo do minério branco, há uma grande quantidade de pirita fina, disseminada na matriz da rocha silicificada e caulinizada. No local, a pirita está disseminada na rocha ou ocorre na forma de enxames de microvênulas, preenchidas por pirita (*stringer*). Duas amostras desse material foram analisadas e os resultados estão listados a seguir (elementos maiores e o S analisados em %, os outros em ppm):

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O										
Amostra PA-5(1)	71,54	13,37	0,24	1,30	0,011	0,43	0,01	0,06										
Amostra PA-5(2)	70,29	13,21	0,25	1,41	0,011	0,40	0,01	0,07										
	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Pb	Zn	Bi	Mo	Cd	Sr	Te							
Amostra PA-5(1)	3,53	0,020	0,18	11	120	17	1	25	21	1	4							
Amostra PA-5(2)	3,54	0,019	0,25	10	114	19	<1	32	22	4	4							
	Rb	Y	Zr	Ba	Se	Co	Ni	As	Au									
Amostra PA-5(1)	115	38	300	193	1	<1	3	22	0,125									
Amostra PA-5(2)	120	40	314	218	1	<1	2	26	0,062									

Notar que a rocha está silicificada e tem teores anômalos de Au. Este tipo de alteração, associado à caulinização e à ilitização, indicam um ambiente hidrotermal muito semelhante àqueles dos depósitos de ouro vulcanogênicos epitermais, tipo *high sulfidation* (Hedenquist *et al.*, 1998).

## BALANÇO QUÍMICO DAS ALTERAÇÕES

Visando melhor compreender os processos de alteração acima descritos, foi feito um estudo sobre as perdas e ganhos químicos ocorridos durante a formação dos minérios verde e branco, produtos dos principais processos de alteração ocorridos na região. Estes processos são responsáveis pela gênese dos minérios de todos os depósitos de caulim lavrados atualmente.

### Metodologia de determinação das perdas e ganhos químicos ocorridos durante as alterações hipogênicas

Para o cálculo das perdas e ganhos químicos, foram usa-

dos afloramentos das minas 15 e 16, onde esses tipos de fraturas estão, particularmente, bem expostos. Considerou-se que os riolitos, que afloram em meio aos minérios de caulim dessas minas, tenham sido os protominérios dos seus minérios branco e verde. As perdas e ganhos foram calculadas em função das variações de teores de volumes constantes (= 1 cm<sup>3</sup>) de amostras do protominério e das diversas fácies de alteração. As análises feitas estão na Tabela 2. A seqüência de procedimentos e de cálculos foi:

(a) Todos os fragmentos de rochas e de minérios, que foram analisados quimicamente (Tabela 2), foram secos a 110°C, por 24 horas, envoltos em parafina e tiveram suas densidades determinadas pela técnica da balança de Arquimedes. A Tabela 3 mostra as médias das densidades desses fragmentos e as médias dos teores analisados nos fragmentos (os resultados das análises de cada fragmento estão na Tabela 2).

(b) Conhecido o peso de 1 cm<sup>3</sup> de cada uma dessas fácies de minérios e de rochas, os teores das substâncias analisadas (em % e em ppm) foram recalculados para g/cm<sup>3</sup> (Tabela 4).

**Tabela 2** – Análises de rochas e minérios de caulim relacionados ao hidrotermalismo em fraturas abertas e em fraturas fechadas com substituição por caulim, quartzo e mica verde.

## 2a Rochas e minérios relacionados a fraturas abertas

Origem da Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Mina 15/A3/2	71,96	16,41	0,31	1,80	0,007	0,10	0,17	0,59	6,90	0,037	168	18	56	918	27	Riolito não argilizado dentro de minério cataclasado argilizado – Fragmento 2 – Mina 15 (Ceramarte)
Mina 15/A3/1	71,40	15,32	0,29	2,60	0,022	0,10	0,17	0,89	7,22	0,043	177	23	68	875	30	Riolito não argilizado dentro de minério cataclasado e argilizado – Fragmento 1 – Mina 15 (Ceramarte)
Mina 15/A1/4	47,13	36,04	0,02	1,62	0,001	0,05	0,16	0,13	0,09	0,005	10	8	7	42	9	Caulim branco, puro, que preenche as fraturas abertas – Fragmento 4.
Mina 15/A1/3	73,42	16,88	0,42	0,78	0,002	0,09	0,16	0,21	3,02	0,051	69	13	80	1216	32	Caulim branco, puro, que preenche as fraturas abertas – Fragmento 3.
Mina 15/A1/2	46,51	36,66	0,03	1,41	0,002	<0,01	0,16	0,20	0,11	0,011	2	8	3	27	7	Caulim branco, puro, que preenche as fraturas abertas – Fragmento 2.
Mina 15/A1/1,5	47,42	33,04	0,06	1,30	0,005	<0,01	0,16	0,18	0,22	0,012	9	15	13	140	14	Caulim branco, puro, que preenche as fraturas abertas – Fragmento 1.
Mina 15/A2/2	78,69	13,64	0,45	0,93	<0,001	0,06	0,17	0,21	3,23	0,047	76	1	86	1378	41	Material duro, poroso, leve, situado entre as fraturas preenchidas com caulim branco puro – Fragmento 2.
Mina 15/A2/1	79,16	12,16	0,44	1,07	0,001	0,09	0,17	0,24	3,55	0,044	84	14	85	1363	34	Material duro, poroso, leve, situado entre as fraturas preenchidas com caulim branco puro – Fragmento 1.

## 2b. Rochas e minérios relacionados a fraturas fechadas, com substituição por caulim, quartzo e mica verde.

Mina 16/A4/4	72,52	19,46	0,48	0,50	0,003	0,08	0,17	0,18	0,02	0,038	<1	5	126	1909	57	Rocha argilizada, situada entre 40 e 80 cm do contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 4
Mina 16/A4/3	73,70	19,04	0,42	0,76	0,002	0,05	0,16	0,17	0,02	0,032	2	13	105	1557	49	Rocha argilizada, situada entre 40 e 80 cm do contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 3
Mina 16/A4/2	72,94	19,29	0,43	0,54	0,005	0,11	0,16	0,15	0,01	0,039	<1	5	117	1600	60	Rocha argilizada, situada entre 40 e 80 cm do contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 2

Tabela 2 – (conclusão)

Origem da Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Material analisado
Mina 16/A4/1	73,46	19,49	0,49	0,42	0,004	0,05	0,17	0,18	0,02	0,032	1	16	133	1998	56	Rocha argilizada entre 40 e 80 cm do contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 1
Mina 16/A3/4	75,97	16,04	0,56	0,31	0,003	0,06	0,16	0,14	0,05	0,054	2	2	151	2503	74	Rocha argilizada branca situada entre 10 e 40 cm do contato com fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 4
Mina 16/A3/3	77,22	16,40	0,54	0,36	0,002	0,04	0,16	0,16	0,05	0,056	3	21	167	2633	66	Rocha argilizada branca situada entre 10 e 40 cm do contato com fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 3
Mina 16/A3/2	68,77	20,96	0,46	0,40	0,002	<0,01	0,16	0,14	0,02	0,03	<1	11	169	2561	60	Rocha argilizada branca situada entre 10 e 40 cm do contato com fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 2
Mina 16/A3/1	71,51	20,11	0,55	0,31	0,002	0,07	0,17	0,17	0,03	0,033	7	6	139	2096	62	Rocha argilizada branca, situada entre 10 e 40 cm do contato com fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 1
Mina 16/A2/4	44,21	31,82	1,78	1,76	0,013	0,24	0,15	0,26	1,82	0,049	133	5	522	6851	168	Rocha argilizada, no contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 4.
Mina 16/A2/3	70,88	21,31	1,19	0,75	0,009	0,07	0,16	0,15	0,28	0,067	30	9	329	4711	138	Rocha argilizada no contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 3.
Mina 16/A2/2	71,13	19,10	0,67	0,45	0,004	<0,01	0,17	0,23	0,04	0,075	3	10	156	2698	87	Rocha argilizada, no contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 2.
Mina 16/A2/1	67,26	21,01	0,76	0,71	0,003	0,01	0,16	0,15	0,09	0,064	14	7	208	3283	98	Rocha argilizada, no contato da fratura preenchida por rocha argilizada verde – Fragmento 1.
Mina 16/A1/4	48,00	28,15	0,74	4,04	0,035	1,26	0,16	0,25	7,12	0,017	481	6	301	3389	64	Rocha argilizada verde dentro da fratura- Fragmento 4.
Mina 16/A1/1	47,88	28,39	0,73	3,77	0,033	1,23	0,16	0,18	6,91	0,017	457	5	289	3049	64	Rocha argilizada verde dentro da fratura- Fragmento 1.



**Tabela 3** – Composições médias e densidades das amostras coletadas nas minas 15 e 16 (Tabela 2), da Ceramarte, expressas em % e em ppm.

Nº Mina/ Amostra	Densidade g/cm <sup>3</sup>	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)
15/Riolito não argilizado	2,283	71,68	15,87	0,30	2,20	0,015	0,10	0,17	0,74	7,1	0,040	173	21	62	897	29
15/Caulim que preenche fraturas	1,531	47,02	35,24	0,04	1,44	0,003	0,05	0,16	0,17	0,1	0,009	7	10	8	70	10
15/Concreções-material duro, poroso, entre fraturas	1,901	78,92	12,90	0,44	1,00	0,001	0,08	0,17	0,22	3,4	0,046	80	8	86	1371	38
16/Rocha argilizada verde dentro da fratura fechada	2,204	47,94	28,27	0,74	3,90	0,034	1,24	0,16	0,21	7,0	0,017	469	6	295	3219	64
16/Contato da fratura fechada	1,493	63,37	23,31	1,10	0,92	0,007	0,10	0,16	0,20	0,6	0,064	45	8	304	4386	123
16/10 A 40cm do Contato	1,622	73,37	18,38	0,53	0,34	0,002	0,05	0,16	0,15	0,0	0,043	4	10	157	2448	66
16/40 A 80cm do Contato	1,552	73,16	19,32	0,46	0,55	0,004	0,07	0,17	0,17	0,0	0,035	2	10	120	1766	56

**Tabela 4** – Teor, em g/cm<sup>3</sup>, das amostras coletadas nas minas 15 e 16

Nº Mina/ Amostra	SiO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	TiO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	MnO (g/cm <sup>3</sup> )	MgO (g/cm <sup>3</sup> )	CaO (g/cm <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> O (g/cm <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (g/cm <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Rb (g/cm <sup>3</sup> )	Sr (g/cm <sup>3</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )	Zr (g/cm <sup>3</sup> )	Nb (g/cm <sup>3</sup> )
15/Riolito não argilizado	1,6342	0,3618	0,0068	0,0501	0,0003	0,0022	0,0039	0,0169	0,1610	0,0009	0,00039	0,000046	0,00014	0,00204	0,000064
15/Caulim que preenche fraturas	0,7194	0,5392	0,0006	0,0221	0,0000	0,0007	0,0024	0,0026	0,0021	0,0001	0,000011	0,000016	0,000012	0,00011	0,000015
15/Concreções-material duro, poroso, entre fraturas	1,4995	0,2451	0,0084	0,0190	0,0000	0,0014	0,0032	0,0042	0,0644	0,0009	0,00015	0,000014	0,00016	0,00260	0,000071
16/Rocha argilizada verde dentro da fratura fechada	1,0547	0,6219	0,0162	0,0859	0,0007	0,0273	0,0036	0,0047	0,1544	0,0004	0,00103	0,000012	0,00065	0,007080	0,0001141
16/Contato da fratura fechada	0,9441	0,3473	0,0164	0,0137	0,0001	0,0016	0,0024	0,0029	0,0083	0,0010	0,000067	0,000011	0,00045	0,00653	0,000182
16/10 A 40cm do Contato	1,1885	0,2977	0,0086	0,0056	0,0000	0,0009	0,0026	0,0024	0,0006	0,0007	0,000006	0,000016	0,00025	0,00397	0,000106
16/40 A 80cm do contato	1,1339	0,2995	0,0071	0,0086	0,0001	0,0011	0,0026	0,0026	0,0003	0,0005	0,000002	0,000015	0,00019	0,00274	0,000086

**Tabela 5** – Perdas ( - ) e ganhos ( + ), em g/cm<sup>3</sup>, tendo como composição original a do riolito não argilizado da mina 15 da Ceramarte

Nº Mina/ Amostra	SiO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	TiO <sub>2</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	MnO (g/cm <sup>3</sup> )	MgO (g/cm <sup>3</sup> )	CaO (g/cm <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> O (g/cm <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (g/cm <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Rb (g/cm <sup>3</sup> )	Sr (g/cm <sup>3</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )	Zr (g/cm <sup>3</sup> )	Nb (g/cm <sup>3</sup> )
15/Riolito não argilizado	1,6342	0,3618	0,0068	0,0501	0,0003	0,0022	0,0039	0,0169	0,1610	0,0009	0,00039	0,000047	0,00014	0,00204	0,000065
15/Caulim que preenche fraturas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15/Concreções-material duro, poroso, entre fraturas	-0,1348	-0,1167	0,0017	-0,0311	-0,0003	-0,0008	-0,0007	-0,0127	-0,0967	0,0000	-0,00024	-0,000032	0,000021	0,000560	0,000006
16/Rocha argilizada verde dentro da fratura fechada	-0,5795	0,2602	0,0094	0,0357	0,0004	0,0251	-0,0003	-0,0122	-0,0066	-0,0005	0,00063	-0,000035	0,000508	0,005037	0,000076
16/Contato da fratura fechada	-0,6901	-0,0144	0,0096	-0,0365	-0,0002	-0,0007	-0,0015	-0,0140	-0,1528	0,0000	-0,00033	-0,000035	0,000311	0,004491	0,000118
16/10 A 40cm do contato	-0,4457	-0,0641	0,0018	-0,0446	-0,0003	-0,0014	-0,0013	-0,0145	-0,1605	-0,0002	-0,00039	-0,000031	0,000112	0,001922	0,000041
16/40 A 80cm do contato	-0,5003	-0,0623	0,0003	-0,0415	-0,0003	-0,0011	-0,0013	-0,0144	-0,1608	-0,0004	-0,00039	-0,000032	0,000045	0,000693	0,000021

**Tabela 6** – Perdas ( - ) e ganhos ( + ), em % e em ppm, ocorridos durante as trocas químicas ocorridas nas minas 15 e 16 (tendo como base o riolito da mina 15 da Ceramarte, com d = 2,283 g/cm<sup>3</sup>)

Nº Mina/ Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)
15/Riolito não argilizado	71,68	15,87	0,30	2,20	0,015	0,10	0,17	0,74	7,1	0,040	173	21	62	897	29
15/Caulim que preenche fraturas	47,02	35,24	0,04	1,44	0,003	0,05	0,16	0,17	0,1	0,009	7	10	8	70	10
15/Concreções-material duro, poroso, entre fraturas	-5,91	-5,12	+0,07	-1,36	-0,01	-0,04	-0,03	-0,56	-4,24	-0,00	-106	-14	+9	+246	+3
16/Rocha argilizada verde dentro da fratura fechada	-25,42	+11,41	+0,41	+1,57	+0,02	+1,10	-0,01	-0,54	-0,29	-0,02	+280	-15	+223	+2210	+33
16/Contato da fratura fechada	-30,27	-0,63	+0,42	-1,60	-0,01	-0,03	-0,07	-0,62	-6,70	0,00	-143	-15	+137	+1970	+52
16/10 A 40cm do Contato	-19,55	-2,81	+0,08	-1,95	-0,01	-0,06	-0,06	-0,64	-7,04	-0,01	-170	-13	+49	+843	+18
16/40 A 80cm do Contato	-21,94	-2,73	+0,01	-1,82	-0,01	-0,05	-0,06	-0,63	-7,05	-0,02	-171	-14	+20	+304	+9

(c) Considerando o “riolito não argilizado” (Tabela 3) como material original (protominério) de todas as fácies de alteração, as diferenças entre as composições dessas fácies e desse riolito correspondem ao material lixiviado (perda) ou acrescentado (ganho) a essas fácies (Tabela 5).

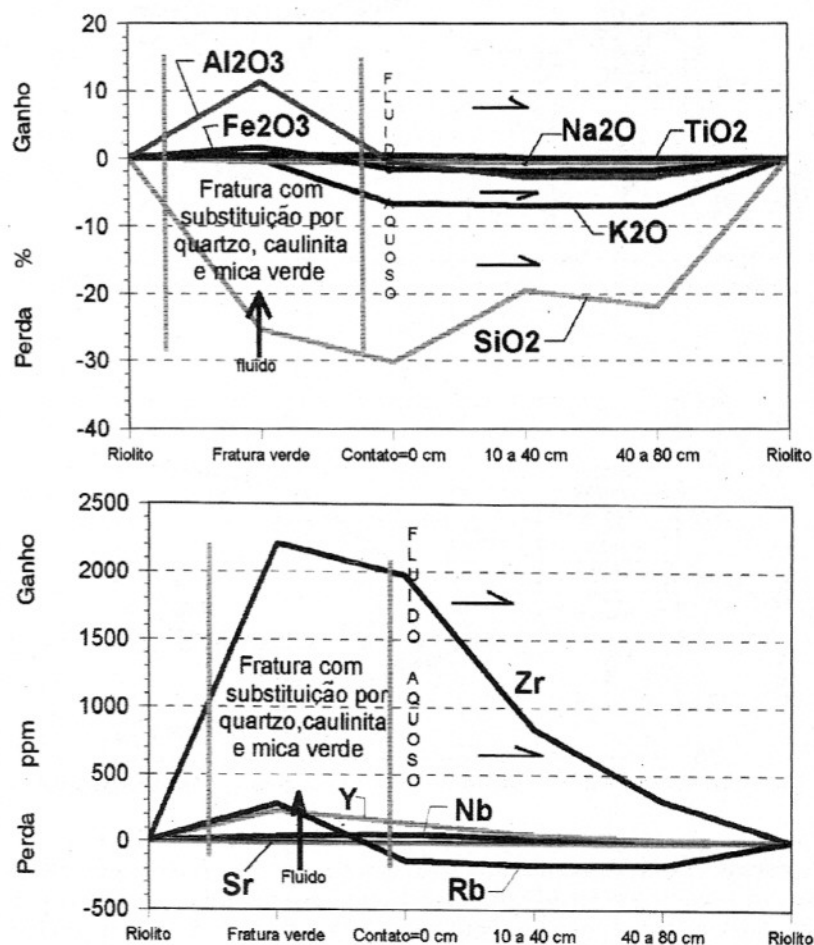
(d) As perdas (-) e ganhos (+) mostrados na Tabela 5 foram recalculados em % e ppm e os resultados estão na Tabela 6.

#### Perdas e ganhos químicos relacionados às alterações desenvolvidas junto das fraturas fechadas (minérios verdes)

A Figura 7 mostra as modificações químicas (perdas e ganhos), ocorridas no “riolito não argilizado” (Tabela 6), quando atravessado por uma fratura preenchida por rocha verde (Fig. 4). Considerando os elementos maiores, notar (Fig. 7 e Tabela 6) que, dentro da fratura, há aumento acentuado dos teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  e  $TiO_2$  e uma forte lixiviação de  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$ . O aporte de alumina, ferro e magnésio deve proporcionar a formação de ilita/muscovita na rocha, responsável pela cor esverdeada, tão mais forte quanto maior for a quantidade dessa mica no minério. O feldspato do riolito altera-se, gerando a caulinita/haloisita. Nas encaixantes (Fig. 7, Tabela 6), com exceção do  $TiO_2$ , todas as outras substâncias são lixiviadas e a rocha original é totalmente argilizada. A partir da fratura em direção às encaixantes, o poder de lixiviação/transformação do fluido hidrotermal é menor quanto maior for a distância até a fratura. Nesse local (mina 16, Fig. 4), a alteração relacionada à fratura termina a cerca de 2 metros

do contato da fratura. Em locais onde a rocha é mais permeável e/ou o fraturamento é mais in-

tenso, a alteração é pervasiva e afeta as rochas por dezenas de metros a partir das fraturas.

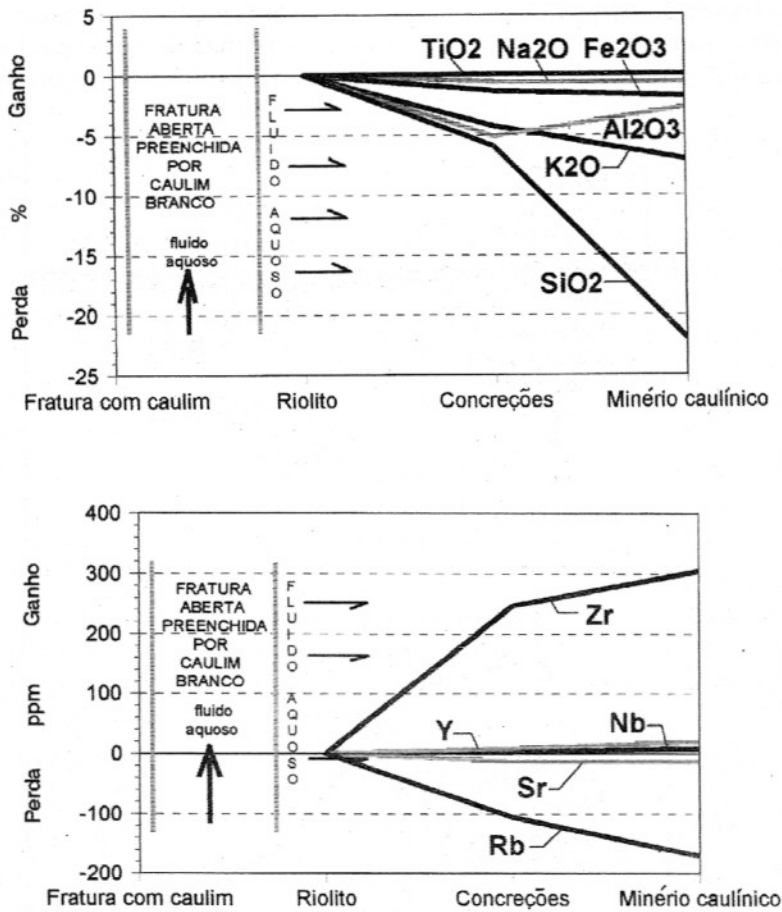


**Figura 7** – Perdas e ganhos químicos que ocorreram durante a percolação de um fluido hidrotermal por uma fratura fechada, mineralizando-a em mica verde, quartzo e em caulim (mina 16, região de Campo Alegre, SC). Em cima, as perdas e ganhos em elementos maiores. Em baixo, as perdas e ganhos em elementos traço.

Considerando os elementos traço (Fig. 7, Tabela 6), notar que, com exceção do Sr, todos os outros elementos analisados estão enriquecidos dentro da fratura. O fluido hidrotermal provoca um aporte particularmente importante de Zr, de Y e de Rb. Nas encaixantes, o Rb é lixiviado junto ao Sr, mas persistem os enriquecimentos em Zr e Y, o que é uma característica desse tipo de alteração na região de Campo Alegre.

#### Perdas e ganhos químicos relacionados às alterações desenvolvidas junto das fraturas abertas (minérios brancos):

As fraturas abertas descritas na mina 15 (Fig. 5a e b) foram formadas por fraturamento hidráulico dos “riolitos não argilizados”, cuja composição média consta na Tabela 6. Após abertas, estas fraturas foram preenchidas pela precipitação



**Figura 8** – Perdas e ganhos químicos que ocorreram durante a percolação de um fluido hidrotermal por uma fratura aberta, mineralizando-a em caulim e quartzo (mina 15, região de Campo Alegre, SC). Em cima, as perdas e ganhos em elementos maiores. Em baixo, as perdas e ganhos em elementos traço.

de um material argiloso branco, composto por caulinita/haloisita + quartzo microcristalino (Fig. 6 e “caulim que preenche fratura”, na Tabela 6). O fluido que precipitou este material argiloso branco invadiu as encaixantes riolíticas, lixiviando-as severamente (Fig. 8). Todos os óxidos de elementos maiores foram lixiviados dos riolitos, que se transformou em uma rocha porosa, de cor rosada, com aspecto concrecionário (“Concreções – material duro, poroso, entre fraturas”, na Tabela 6), composta, essencialmente, por quartzo e feldspato K microcristali-

nos. A maiores distâncias das fraturas abertas, as concreções de quartzo e feldspato K gradam para a rocha argilizada branca (minério branco), que perfaz todo o corpo mineralizado da mina.

## DISCUSSÃO

Nas encaixantes, considerando tanto os elementos maiores quanto os traço, o fluido que percolou as fraturas abertas teve ação muito semelhante àquele que percolou as fraturas fechadas, de cor verde. Comparando as Figuras 7 e 8, nota-se

que as encaixantes das fraturas abertas (brancas) e fechadas (verdes) são igualmente enriquecidas em Zr e Y e lixiviadas em SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Rb e Sr. É provável que, em ambos os casos (fratura aberta e fratura fechada), a composição dos fluidos hidrotermais tenha sido a mesma.

As diferenças entre os produtos das alterações relacionadas às fraturas abertas (minério branco) e aqueles relacionados às fraturas fechadas (minério verde) seriam conseqüência, sobretudo, do equilíbrio entre o fluido hidrotermal e a rocha percolada. As fraturas abertas permitem a percolação de fluidos em ambientes tensionais, o que proporciona um grande aporte de fluido e uma relação fluido/rocha elevada. Essas condições causaram, sobretudo, a lixiviação das encaixantes próximas e a precipitação de quartzo e feldspato K. Nas partes mais distantes, ocorre a silicificação e a caulinizacão (minério branco), onde a percolação do fluido é mais lenta. A transição de alteração potássica para argílica indica um decréscimo na razão  $a(K^+)/a(H^+)$  (Newman *et al.*, 1995; Hayba *et al.*, 1986). A forte lixiviação nas proximidades das fraturas abertas deve ter sido feita por um fluido composto predominantemente por água meteórica, que diminuiu  $a(H^+)$ , possibilitando a precipitação do feldspato K. Em posições mais distantes das fraturas abertas, predominaram as condições ácidas que favoreceram a cristalização da caulinita/haloisita.

Nas fraturas fechadas, o fluido percolou através de rochas estruturalmente foliadas. Naturalmente, o aporte de fluido foi menor e a percolação foi lenta. A razão fluido/rocha foi menor e a interação entre fluido e ro-

cha foi maior. Nessa situação, a razão  $a(K^+)/a(H^+)$  foi maior, devido a menor presença de água meteórica no sistema fluido. As reações mineralógicas aconteceram, então, já dentro das fraturas, além das encaixantes, proporcionando o aparecimento, além do quartzo e da caulinita/haloisita, também da illita/muscovita (minério verde).

### Piritização e propilitização

O único local onde a piritização foi reconhecida foi na mina Planalto Alegre. Naquele local, as diferentes alterações que afetaram as rochas locais não deixaram resíduo da rocha original, que possa ser considerado protominério em um estudo de ganhos e perdas químicos. É certo que o tipo de fluido hidrotermal que gerou a piritização é diferente daquele que gerou as alterações relacionadas às fraturas abertas e fechadas, acima descritas. Na Planalto Alegre, a zona piritizada está contida no minério branco, a caulim + quartzo, muito próxima de uma grande faixa de minério verde. Não é possível, no local, determinar se a piritização antecedeu, precedeu ou foi concomitante à caulinização.

Os afloramentos onde a propilitização foi descrita não contêm partes argilizadas, logo, também nesse caso, não foi possível relacionar os processos de alteração.

## CONCLUSÕES

1. A caulinização supergênica não é suficiente para gerar os minérios brancos dos depósitos de caulim da região de Campo Alegre. O processo de transformação das rochas traquíticas e riolíticas em minério branco le-

vou a um esgotamento em  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  e  $Rb$  dessas rochas, que somente a caulinização supergênica não seria capaz de realizar. Um outro processo, de alteração hipogênica vulcanogênica, adicional à caulinização supergênica, foi necessário para transformar as rochas inalteradas no minério branco, o tipo mais comum de minério de caulim da região de Campo Alegre.

2. Ao menos três tipos de alterações hipogênicas podem ser reconhecidas na região dos depósitos de caulim da região de Campo Alegre. São elas: (1) Alterações relacionadas às fraturas fechadas; (2) Alterações relacionadas às fraturas abertas e; (3) Alterações pervasivas ou penetrativas.

3. As fraturas fechadas são preenchidas e envolvidas por rochas estruturalmente foliadas, de cor verde, totalmente argilizadas. Esta rocha é composta por caulinita/haloisita, illita/muscovita verde e quartzo microcristalino, e a quantidade de illita/muscovita diminui com a distância da fratura.

4. As fraturas abertas constituem zonas densamente fraturadas. São preenchidas por material branco cuja composição mineralógica é somente caulim e quartzo microcristalino. Este material tem composições idênticas em todas as minas examinadas, sugerindo que se tenham formado sempre pelo mesmo processo. As partes de rocha entre as fraturas abertas são angulosas e mantêm formas que permitem reconstituir a rocha antes do fraturamento. Este tipo de fraturamento é considerado como sendo gerado por fraturamento hidráulico ou hidrocatclamento (implosões freáticas). O material entre as fraturas tem cor creme-rosada, é muito poroso e lixiviado, com aspecto concrecionário. É com-

posto por quartzo e feldspato K microcristalinos.

5. As alterações pervasivas afetam as rochas, transformando-as ao ponto de destruir todas as texturas e estruturas originais. Na região estudada, ao menos quatro tipos de alterações pervasivas foram observados: (a) Silicificação + caulinização + filitização (minério verde), (b) Silicificação + caulinização (minério branco); (c) Propilitização e; (d) Piritização disseminada e em vênulas.

6. Estes tipos de alteração pervasivas, associadas à caulinização e à ilitização, indicam um ambiente hidrotermal muito semelhante àqueles dos depósitos de ouro vulcanogênicos epitermais, tipo *high sulfidation*.

7. As modificações químicas (perdas e ganhos), ocorridas nas rochas, quando atravessadas por uma fratura preenchida por rocha verde, foram:

(a) Houve aumento acentuado dos teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  e  $TiO_2$  e uma forte lixiviação de  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$ .

(b) A partir da fratura em direção às encaixantes, o poder de lixiviação/transformação do fluido hidrotermal foi menor quanto maior a distância até a fratura. Em locais onde a rocha era mais permeável e/ou o fraturamento era mais intenso, a alteração foi pervasiva e afetou as rochas por dezenas de metros a partir das fraturas.

(c) Considerando os elementos traço, com exceção do Sr, todos os outros elementos analisados foram enriquecidos dentro da fratura. O fluido hidrotermal provocou um aporte, particularmente, importante de Zr, de Y e de Rb. Nas encaixantes, o Rb foi lixiviado junto ao Sr, mas persistiram os enriquecimentos em Zr e Y, o que é uma característica desse tipo de alteração na região de Campo Alegre.

(d) As fraturas foram preenchidas pela precipitação de um material argiloso branco, composto por caulinita/haloisita + quartzo microcristalino. O fluido que precipitou este material argiloso branco invadiu as encaixantes riolíticas, lixiviando-as severamente.

(e) Todos os óxidos de elementos maiores foram lixiviados dos riolitos, que se transformaram em uma rocha porosa, de cor creme-rosada, com aspecto concrecionário, composta, essencialmente, por quartzo e feldspato K microcristalinos. As maiores distâncias das fraturas abertas, as concreções gradam para a rocha argilizada branca (minério branco), que perfaz todo o corpo mineralizado da mina.

(f) Nas encaixantes, considerando tanto os elementos maiores quanto os traços, o fluido que percolou as fraturas abertas teve ação muito semelhante àquele que percolou as fraturas fechadas, de cor verde. As encaixantes das fraturas abertas (brancas) e fechadas (verdes) foram igualmente enriquecidas em Zr e Y e lixiviadas em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Rb e Sr. É provável que, em ambos os casos (fratura aberta e fratura fechada), a composição dos

fluidos hidrotermais tenha sido a mesma.

8. As diferenças entre os produtos das alterações relacionadas às fraturas abertas (minério branco) e aqueles relacionados às fraturas fechadas (minério verde) seriam consequência, sobretudo, do equilíbrio entre o fluido hidrotermal e a rocha percolada. As fraturas abertas permitiram a percolação de fluidos em ambientes tensionais, o que proporcionou um grande aporte de fluido e uma relação fluido/rocha elevada. Essas condições causaram, sobretudo, a lixiviação das encaixantes próximas e a precipitação de quartzo e feldspato K. Nas partes mais distantes, ocorreu a silicificação e caulinitização (minério branco), onde a percolação do fluido foi mais lenta.

A transição de alteração potássica para argílica indica um decréscimo na razão  $a(\text{K}^+)/a(\text{H}^+)$  (Newman *et al.*, 1995; Hayba *et al.*, 1986). A forte lixiviação nas proximidades das fraturas abertas deve ter sido feita por um fluido composto predominantemente por água meteórica, que diminuiu  $a(\text{H}^+)$ , possibilitando a precipitação do feldspato K. Em posições mais distantes das fraturas abertas, predominaram as condições

ácidas que favoreceram a cristalização da caulinita/haloisita. Nas fraturas fechadas, o fluido percolou através de rochas estruturalmente foliadas. Naturalmente, o aporte de fluido foi menor e a percolação foi lenta. A razão fluido/rocha foi menor e a interação entre fluido e rocha foi maior. As reações mineralógicas aconteceram, então, já dentro das fraturas, além das encaixantes, proporcionando o aparecimento, além do quartzo e da caulinita/haloisita, também da illita/muscovita (minério verde).

9. É certo que o tipo de fluido hidrotermal que gerou a piritização é diferente daquele que gerou as alterações relacionadas às fraturas abertas e fechadas. Na mina Planalto Alegre, único local onde uma zona piritizada foi reconhecida, a zona piritizada está contida no minério branco, a caulim + quartzo, muito próxima de uma grande faixa de minério verde. Não é possível, no local, determinar se a piritização antecedeu, precedeu ou foi concomitante à caulinitização. Os afloramentos onde a propilitização foi descrita não contêm partes argilizadas, logo, também nesse caso, não foi possível relacionar os processos de alteração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASEI, M.A.S. e TEIXEIRA, W. (1987) Geocronologia do Pré Cambriano/Eopaleozóico de Santa Catarina. Texto explicativo do mapa geológico de Santa Catarina na escala 1:500.000. DNPM/SCTME(SC), 215p.
- BIONDI, J.C. (1998) Modelo genético dos depósitos de caulim Floresta, Cambuí, Turvo e Aruanã (SC-BR). *In*: Cong. Brasil. Geologia, 40, Belo Horizonte. Anais, p. 152.
- BIONDI, J.C. (1999) Geologia e gênese dos depósitos de caulim Floresta e Cambuí (Formação Campo Alegre – SC): 2. Petroquímica e modelo genético. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(1):151-156.
- BIONDI, J.C. & FURTADO, L.I. (1999) Geologia e gênese dos depósitos de caulim Floresta e Cambuí (Formação Campo Alegre – SC): 1. Faciologia e mineralogia das rochas e minérios. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(1):141-150.

- CITRONI, S.B. (1998) Bacia de Campo Alegre (SC) – Aspectos petrológicos, estratigráficos e caracterização geotectônica. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 185p. (anexos e mapa).
- CITRONI, S.B. & BASEI, M.A.S. (1999) Estratigrafia e paleogeografia da região de Campo Alegre – SC. *In*: Simp. Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 1, Gramado. Boletim de Resumos, p.55.
- DAITX, E.C. (1979) Projeto Guaratubinha-Pien. BRASIL.Convênio DNPM/CPRM. Relatório inédito, São Paulo, 184p.
- EBERT, H. (1971) O Grupo Guaratubinha no norte do Estado de Santa Catarina. *In*: Cong. Brasil. Geol., 25, São Paulo. Anais, 2:153-157.
- HAYBA, D.O.; BETHKE, P.M.; HEALD, P.; FOLEY, N.K. (1986) Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanogenic-hosted precious-metal deposits. *In*: B.R. Berger; P.M. Bethke (Eds.) *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Reviews in Economic Geology*, 2:129-167.
- HEDENQUIST, J.W.; IZAWA, E.; ARRIBAS, A.; WHITE, N.C. (1996) Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. The society of Economic Resources (Japan), Spec. Publication 1:15 p.
- NEWMAN, K.M.; CASSELMAN, M.J.; MACMILLAN, W.J. (1995) Highland Valley porphyry copper deposits: A review and update with emphasis on the Valley Mine. *In*: T.G. Schroeter (Ed.) *Porphyry Deposits on the Northwestern Cordillera of North America. Can. Inst. Min. Metall and Petroleum, Special Volume 46*:161-191.
- TOMAZZOLI, E.R.; FURTADO, S.M.A.; PELLERIN, J.M. (1999) Aspectos geológicos da seqüência vulcanossedimentar de Campo Alegre. *In*: Simp. Vulcanismo e Ambientes Associados, 1, Gramado. Boletim de Resumos, p.45.
- SILVA, L.C. (1987) Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina. Texto do mapa geológico de Santa Catarina na escala 1:500.000. DNPM/SCTME(SC), 215p.