

Mapeamento e Caracterização Geológica/tecnológica da Formação Corumbataí com Vistas ao Seu Emprego na Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte II - Caracterização tecnológica e sua correlação com a geologia.

**S.R. Christofolletti¹, M.R. Masson¹, H.R. Thomazella¹,
A Fugie², M.M.T. Moreno¹ e J.V. Valarelli in memoriam**

¹ UNESP/Rio Claro – DPM

² UNICER - União Cerâmicas Ltda – Cordeirópolis,

Rua 08, 2028, Bairro Santa Cruz – 13500-210 Rio Claro - SP

e-mail: serich@bol.com.br

Resumo: O presente estudo refere-se a caracterização tecnológica das mesmas 35 amostras que tratam a parte I deste trabalho¹, e que foram coletadas nas jazidas escolhidas como ponto de partida deste mapeamento. Os resultados obtidos permitem estabelecer correlações entre as variações geológicas descritas e os resultados tecnológicos (ensaios físicos cerâmicos), as análises químicas e mineralógicas do material. Finalmente, é importante frisar que nem sempre as variações nas propriedades tecnológicas podem ser explicadas unicamente pela litoestratigrafia, mas por vezes é preciso considerar os processos diagenéticos e pós-diagenéticos que variam de um local para outro, dentro do mesmo nível estratigráfico, e também os diferentes graus de alteração apresentados por estas litofácies a depender do contexto geomorfológico em que se encontram.

Palavras-chaves: *Mapeamento geológico, Caracterização Cerâmica, Matérias-Primas Cerâmicas, Revestimentos*

Introdução

Devido às características peculiares do segmento mineral de matérias-primas para indústria cerâmica, é fundamental que todo trabalho de pesquisa geológica nesta área venha acompanhado da caracterização tecnológica. Isto porque, se por um lado os trabalhos de geologia trazem todas as vantagens da compartimentação espacial, localização e extensão dos diferentes litotipos, fácies e litofácies encontradas, a caracterização tecnológica simultânea das amostras obtidas nestes diferentes compartimentos geológicos permite vislumbrar o desempenho industrial dos mesmos.

Com a associação destas duas abordagens é possível, então, traçar os planos de continuidade em um trabalho de prospecção regional, ou os planos de lavra em caso de estudos localizados em uma jazida específica.

Desta forma, a caracterização tecnológica das amostras coletadas vem complementar as informações geológicas, compondo um conjunto de dados e informações fundamentais para auxiliar nas questões acima.

Cabe ressaltar que o presente projeto é de caráter pioneiro devido ao seu enfoque geológico/tecnológico para mapeamento da formação em apreço, sendo que ele vem complementar os trabalhos preliminares já realizados dentro deste mesmo grupo de pesquisa²⁻⁴.

Materiais e Métodos

As análises químicas foram executadas por meio de Fluorescência de Raios X (FRX), equipamento marca Philips modelo PW2400, com pastilhas prensadas.

A mineralogia foi obtida por Difractometria de Raios X (DRX), com o equipamento Siemens D5000, para amostras totais moídas à malha 200 e fração argila menor que 2 µm,

Tabela 1. Resultados dos ensaios tecnológicos: perda ao fogo (PF), retração linear de queima (RLQ), retração linear total (RLT), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), densidade aparente (DA) em % e Tensão de Ruptura à Flexão (TRF) em N/mm².

Amostras	PF (%)	RLQ (%)	RLT (%)	TRF N/mm ²	AA (%)	PA (%)	DA (%)
C1	2,92	0,69	0,69	37,1	16,1	28,74	2,10
C3	3,07	0,40	0,40	14	14,1	29,92	2,12
C4	3,33	7,77	7,77	275,96	4,03	8,58	2,13
C5	3,09	7,06	7,06	284,74	4,69	9,74	2,08
C6	2,78	6,22	6,36	222,89	6,03	12,47	2,07
C7	3,1	7,3	7,43	339	0,89	1,93	2,14
C8	4,57	8,23	8,36	418,01	0,47	1,03	2,18
C9	5,45	7,81	7,94	337,36	1,63	3,46	2,12
C10	4,55	7,04	7,18	328,41	4,05	8,23	2,12
C11	8,19	7,4	7,4	210,96	8,88	17,37	1,98
B1	4,43	6,78	7,31	231,28	11,32	21,67	1,91
B2	3,52	6,73	6,86	261,17	6,54	13,66	2,1
B3	3,65	3,38	3,79	307,05	1,11	1,96	1,77
B4	3,65	5,3	5,7	278,91	2,06	3,95	1,92
B5	3,46	6,37	6,64	351,19	2,02	4,11	2,04
B6	5,34	10,08	10,34	399,6	2,22	4,91	1,11
B7	3,16	5,21	5,47	193,11	12,2	22,96	1,88
B8	6,5	4,35	5,16	134,39	18,54	32,49	1,75
B9	4,15	6,87	7,14	251,01	9,44	18,43	1,95
B10	4,36	4,38	4,92	168,42	13,67	25,17	1,84
B11	3,98	0,42	0,56	59,4	23,89	36,94	1,55
B12	4,89	11,86	12,11	484,95	0,44	0,99	2,51
B13	6,92	4,8	5,07	208,89	16,2	29,64	1,83
B14	6,71	7,15	7,41	313,33	10,68	21,39	2,01
B15	5,62	2,63	3,04	170,38	20,37	35,01	1,72
B16	5,70	4,5	5,04	194,41	13,75	25,3	1,93
B17	5,42	1,41	1,69	118,17	22,3	35,92	1,61
T1	5,07	5,91	6,05	122,42	12,70	24,47	1,93
T2	8,46	6,3	6,3	168,94	13,02	24,62	1,89
T3	5,15	8,64	8,64	318,13	1,44	3,08	2,14
T4	4,36	9,01	9,01	259,38	3,92	8,42	2,15
T5	5,06	8,39	8,39	232,89	6,37	13,34	2,1
T6	5,81	8,69	8,56	266,85	5,82	12,15	2,1
T7	4,59	10,08	10,08	360,48	0,18	0,41	2,2
T8	7,59	5,56	5,56	174,5	12,26	23,45	1,91
T9	10,97	4,1	4,1	151,94	15,06	27,3	1,82
T10	6,2	9,19	9,58	298,77	7,66	16,26	2,13

medidos com radiação CuK α e velocidade do goniômetro de 2°/minuto (2 θ). O *software* utilizado foi o EVA 2.0.

Os equipamentos de laboratório para ensaios cerâmicos utilizados foram: moinho de martelo marca Tigre; prensa de laboratório, com molde de 2 x 7 cm; paquímetro digital; forno de queima rápida marca BP, com corpos confec-

cionados para três temperaturas (1030 °C, 1070 °C, 1120 °C), sendo que os resultados apresentados por enquanto limitam-se a temperatura maior, na faixa de 1120 °C.

Os ensaios cerâmicos realizados foram: absorção de água (AA); porosidade aparente (PA); tensão de ruptura à

flexão (TRF); massa específica aparente (MEA); retração linear de queima (RLQ); entre outros, todos seguindo as metodologias para ensaios propostas na norma **ABNT-NBR 13818**.

Os resultados são apresentados e sistematizados de acordo com as colunas litoestratigráficas levantadas e apresentadas em detalhes na parte I deste trabalho¹, sendo reproduzidas aqui por questões de melhor visualização e comparação entre os diversos resultados obtidos. A figura 1 abaixo sintetiza a metodologia utilizada:

Resultados da Caracterização Tecnológica e Química

Seguindo o mesmo padrão utilizado na apresentação dos dados geológicos¹, os principais resultados dos ensaios tecnológicos e químicos são apresentados a seguir, de acordo com a subdivisão de amostragem e dentro dos compartimentos faciológicos delimitados *a priori*. A tabela I, com todos os resultados dos ensaios cerâmicos pode ser encontrada no final deste item, após a apresentação das colunas litoestratigráficas. A coluna abaixo (figura 2a) é a parte inferior da coluna apresentada na próxima página, abaixo da qual são apresentadas as considerações referentes a ambas.

A coluna da mina Cruzeiro, toda a parte inferior (figura 2a) e base da superior (figura 2b), são marcadas pelo predomínio de fácies pelíticas (litofácies I em geral) que, no entanto, apresentam resultados cerâmicos diversos a depender da presença ou não de carbonatos. Porém, uma amostra da litofácies “Ib” apresentou resultado muito bom, mesmo esta fácies sendo carbonática pela descrição de campo, e acredita-se que este seja um problema de amostragem, uma vez que nesta litofácies o modo de ocorrência do carbonato é distinto daquele nas litofácies do tipo VIII, tornando necessário um número maior de amostras para melhorar a representatividade das mesmas. Isto é corroborado pelos resultados químicos e mineralógicos que não mostram anomalias para o cálcio e/ou calcita/dolomita.

O carbonato de cálcio (CaCO_3) ocorre na forma do mineral calcita ou na composição de outros minerais, como veios centimétricos ou disseminados na matriz distribuídos ao longo da jazida⁵. Quando estes cristais são maiores que 500 μm e estão preenchendo os veios, estes provocam defeitos pontuais (furos escuros, depressões) por reações localizadas⁶; por outro lado, quando estes ocorrem na forma disseminada em baixas quantidades este auxilia a retração linear de queima.

O fato a ser destacado nos resultados tecnológicos referentes à coluna superior da Mina Cruzeiro (figura 2b) é a forte correlação existente com a variação litoestratigráfica. Para o topo, com o aumento na proporção de areia em relação à argila e do conteúdo de carbonato, há uma tendência de decréscimo na qualidade dos resultados cerâmicos. Ressalva-se, no entanto, que os melhores resultados são apresentados por uma amostra com proporções moderadas entre areia e argila.

Os resultados cerâmicos da jazida Bela Vista (figura 3) seguem a mesma tendência encontrada na Mina Cruzeiro (figuras 2a e 2b), apresentando bons resultados para as fácies pelíticas não carbonáticas, com o melhor desempenho para uma amostra de litofácies compostas pela associação de níveis arenosos e argilosos, em proporções equilibradas, e pouco ou não carbonáticas.

Um fato a ser verificado é a diferença significativa nos resultados de absorção de água das amostras b2 e b4, apesar da semelhança nas feições de campo, além da composição química e mineralógica similares. O caminho será uma nova amostragem para feito comparativo e busca de novas feições de campo distintas.

Os valores dos ensaios cerâmicos da Mina Tutte (figura 4), mostram novamente o fato de que amostras mais pelíticas tendem a bons resultados e as carbonáticas a resultados ruins, ressalva feita à amostra T7 que apesar de muito carbonática mostra resultados muito bons, o que deverá ser verificado do ponto de vista cerâmico/tecnológico e geológico.

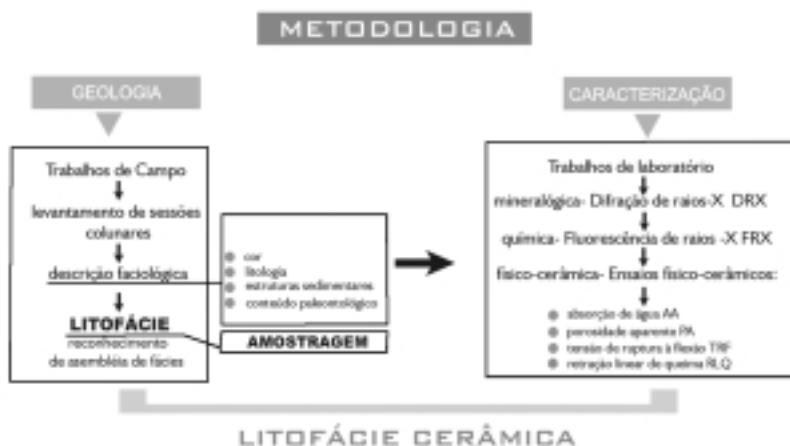


Figura 1. Diagrama geral da metodologia de trabalho adotada.

Ensaio de caracterização

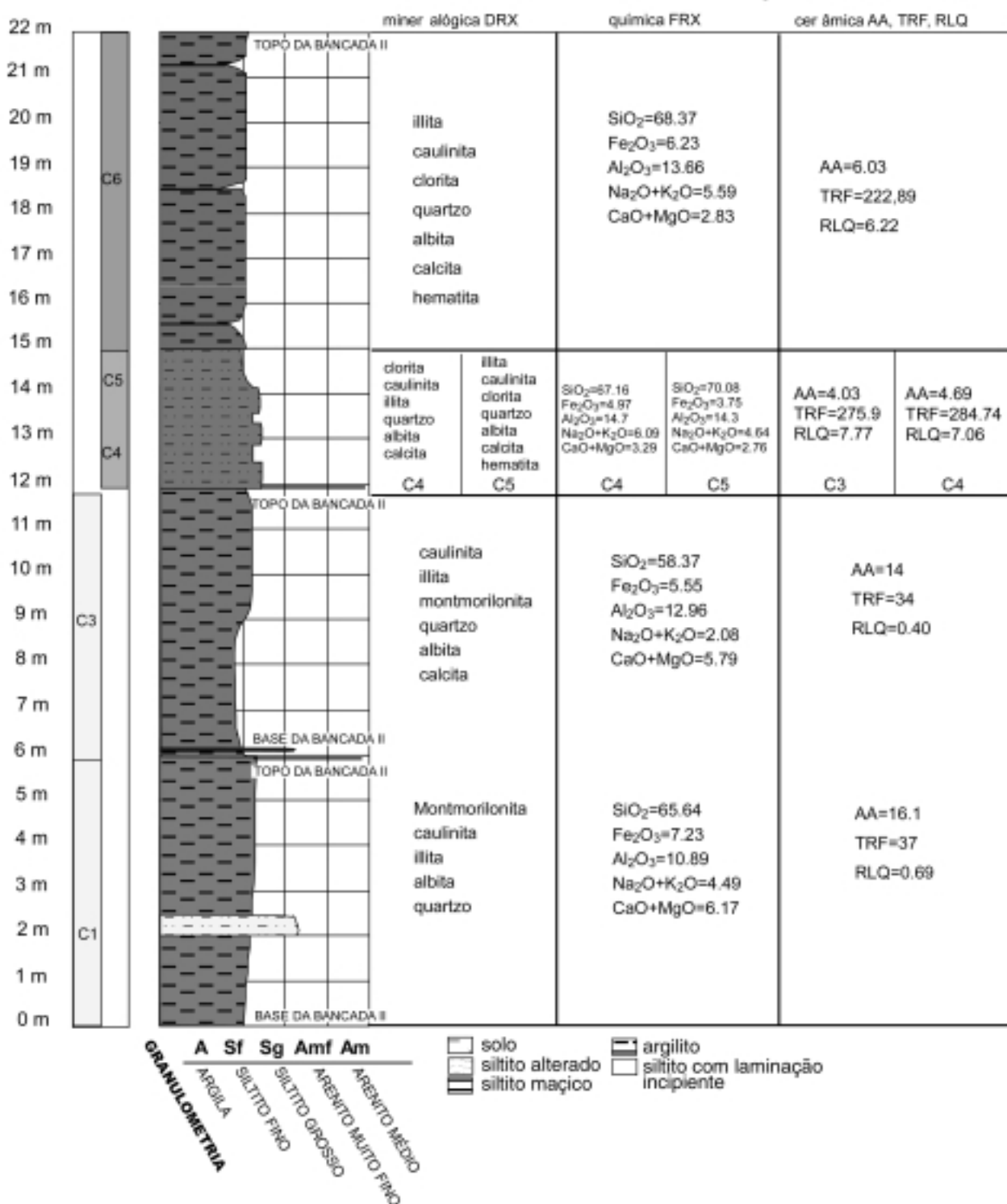


Figura 2a. Coluna Litoestratigráfica da Mina Cruzeiro – porção inferior, correlacionando a litologia com a análise mineralógica (DRX), química (FRX) e propriedades cerâmicas (AA e RLQ em % e TRF em N/mm²).

Ensaio de caracterização

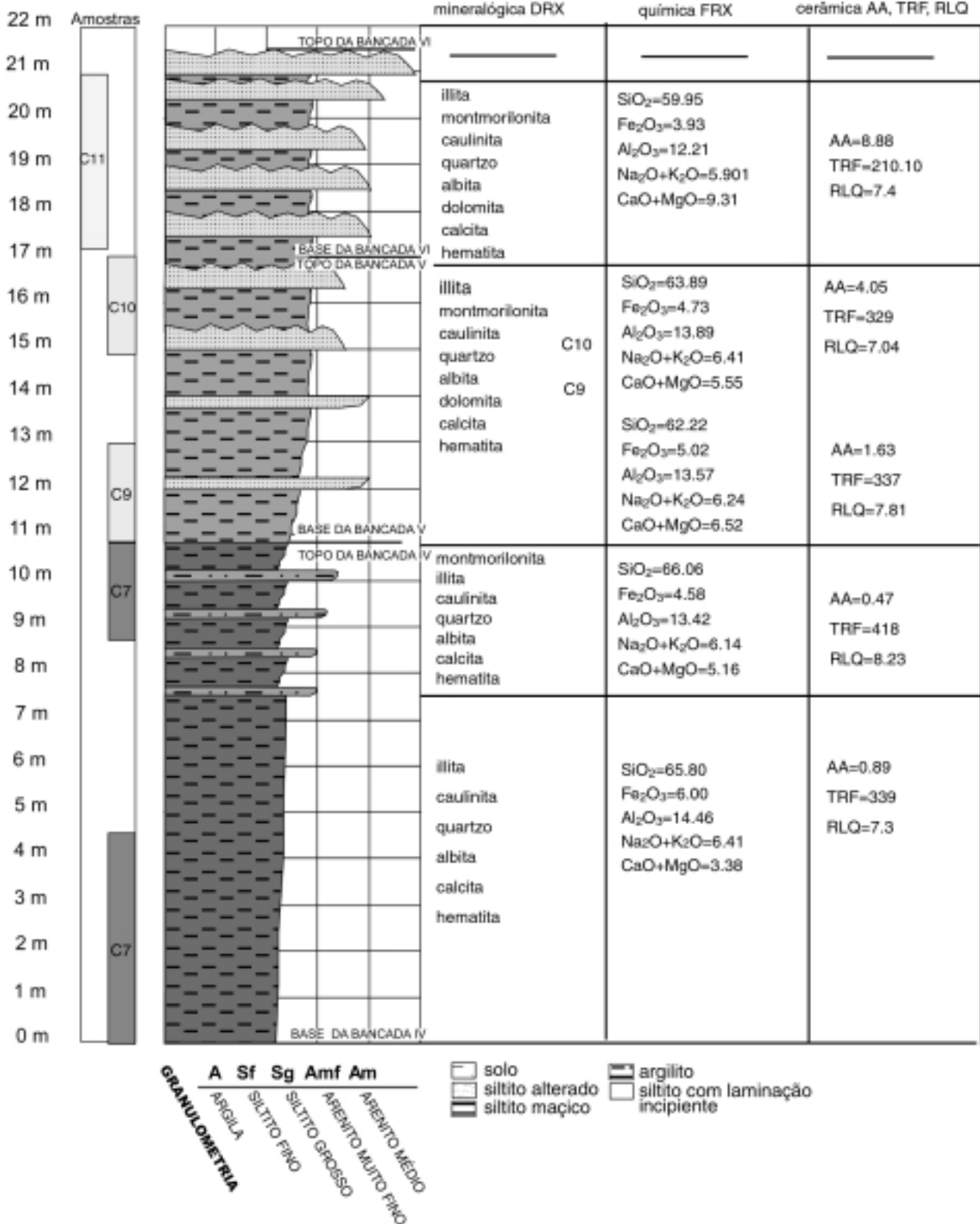


Figura 2b. Coluna Litoestratigráfica da Mina Cruzeiro – porção superior, correlacionando a litologia com a análise mineralógica (DRX), química (FRX) e as propriedades cerâmicas (AA e RLQ em % e TRF em N/mm²).

Ensaios de caracterização

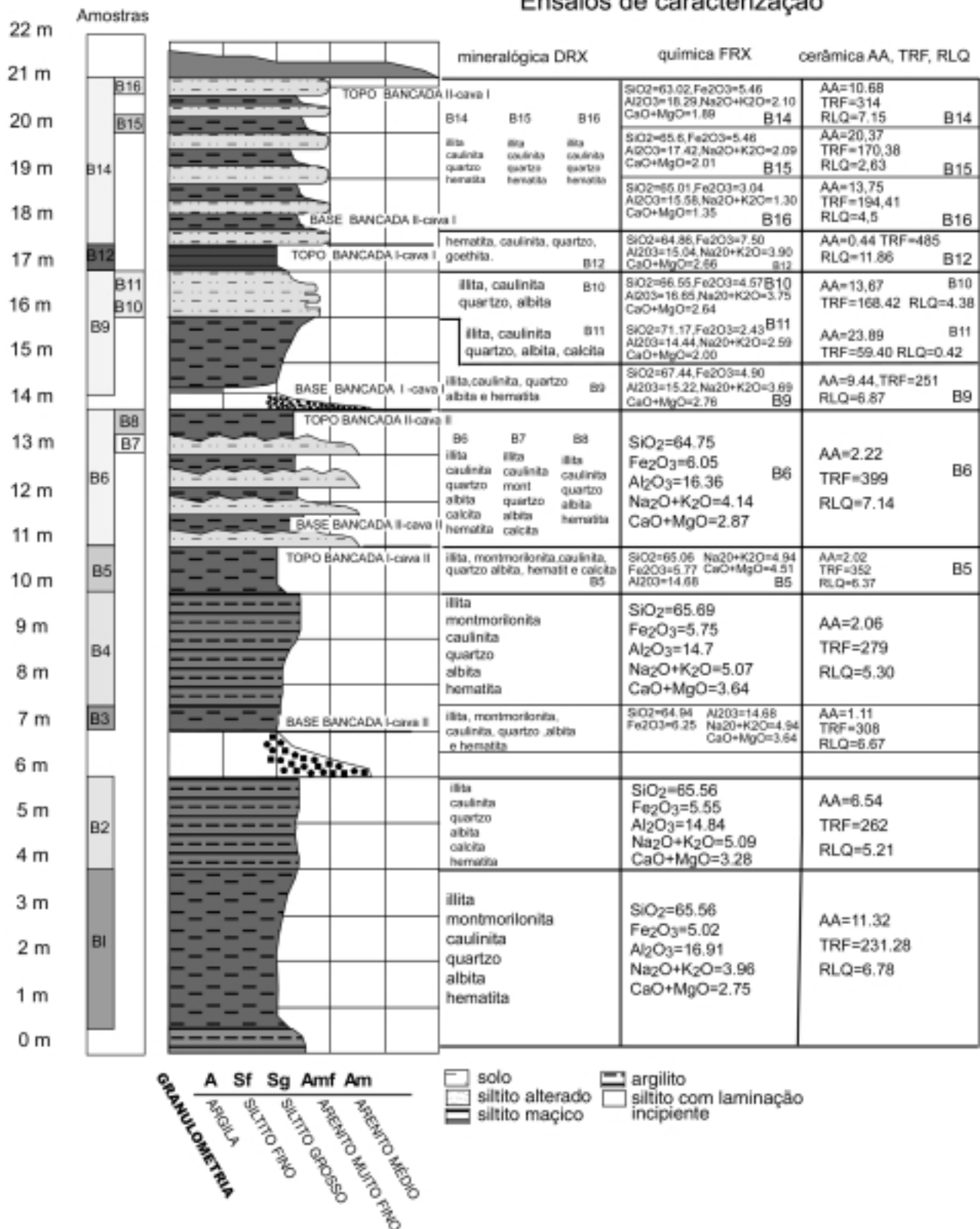


Figura 3. Coluna Litoestratigráfica da Mina Bela Vista, correlacionando a litologia com a análise mineralógica (DRX), química (FRX) e as propriedades cerâmicas (AA e RLQ em % e TRF em N/mm²).

Ensaio de caracterização

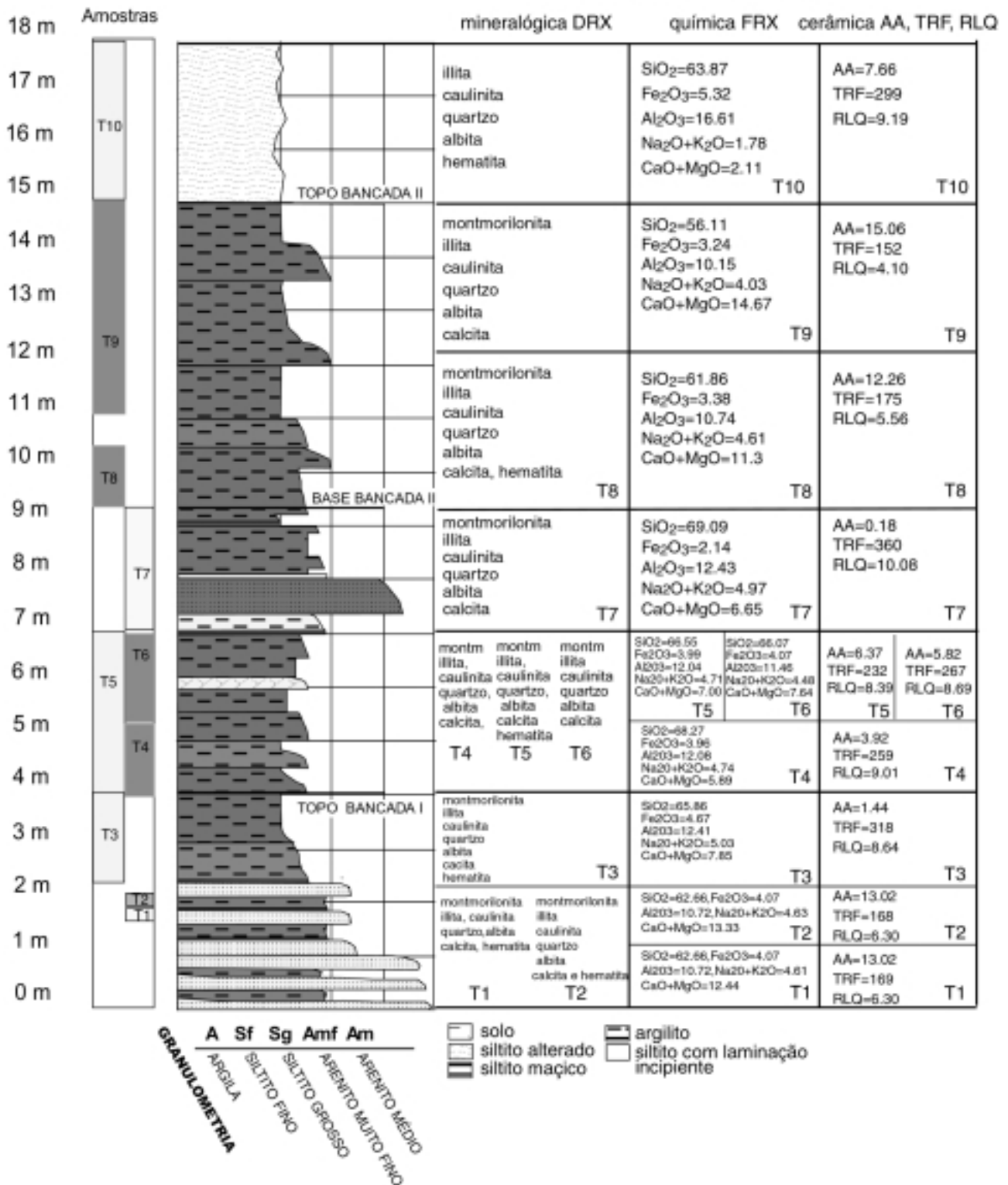


Figura 4. Coluna litoestratigráfica da Mina Tutte, correlacionando a litologia com a análise mineralógica (DRX), química (FRX) e as propriedades cerâmicas (AA e RLQ em % e TRF em N/mm²).

Conclusões

1. De modo geral, é possível afirmar-se que a comparação geológica apresentada em mais detalhes na parte I deste trabalho¹ mostra uma boa correlação com os resultados tecnológicos e químicos apresentados aqui;

2. A tendência geral é a seguinte:

- As litofácies pelíticas e localmente as areno-pelíticas, ambas não carbonáticas (assembléias **A** e **B**, respectivamente) conferem os melhores resultados cerâmicos;
- A assembléia **Ac**, (carbonática), apresenta resultados desde bons até eventualmente ruins, devendo haver algum fator determinante para tal distribuição;
- As litofácies areno-pelíticas (Assembléias **B**) podem, eventualmente, apresentar resultados muito bons, como citado acima, mas em geral apresentam resultados regulares a ruins em especial quando são carbonáticas.
- A Assembléia **Cc** (Moderadamente arenosa), apresentou apenas resultados regulares a ruins;
- Por fim, as amostras da Assembléia **D** não permitem sequer a preparação de corpos de prova para ensaios cerâmicos, tendo sido eventualmente coletadas apenas para a realização de estudos petrológicos;
- Existem algumas exceções a estas tendências gerais, que foram descritas na apresentação dos resultados, e que serão motivo de verificação no prosseguimento dos trabalhos;

3. Os resultados obtidos mostram uma clara coerência com os conceitos básicos de tecnologia cerâmica e formulação de massas cerâmicas para revestimento, e o aperfeiçoamento na definição das fácies cerâmicas, poderá proporcionar um modelo geológico/tecnológico que pode ser usado como guia de prospecção de novas jazidas, de caráter regional, e orientação nas fases de pesquisa, de caráter local;

Outro foco é dar subsídios para implantação de técnicas de controle de lavra mais apuradas, ainda não utilizadas na região, e que por isso carecem de parâmetros iniciais, uma vez que, apesar das recomendações gerais sobre formulação e comportamento de matérias-primas cerâmicas já consolidadas na literatura mundial, cada local possui suas especificidades faciológicas. As questões relacionadas a estas duas últimas considerações apenas podem ser resolvidas com eficiência e aplicabilidade prática dentro da filosofia de trabalho de mapeamento geológico, uma vez que são de caráter eminentemente espaço - dependente e necessitam assim da abordagem do mapeamento e conseqüente espacialização das variáveis em estudo;

Dentro deste contexto, vem sendo feita uma abordagem estatística multivariada⁷ da base de dados aqui utilizada, que mostra os primeiros resultados de sistematização es-

tatística em caráter regional e que foram de grande ajuda para visualizar as conclusões acima.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelo apoio técnico e financeiro oferecido. Ref. Proc. FAPESP (99/00364-3), ao CNPq Proc. 140634/1999-1, e a UNICER - União Cerâmicas Ltda, e especialmente ao "Prof. Dr. José Vicente Valarelli" (*in memoriam*) pelo convívio dos anos que esteve entre nós ensinando-nos com toda sua sabedoria e simplicidade de ser.

Referências Bibliográficas

1. Masson, M.R., Christofolletti, S.R.; Thomazella, H.R., Fugie, A. Zanardo, A., Alegri, V.-Mapeamento e caracterização geológica/tecnológica da Formação Corumbataí com vistas ao seu emprego na indústria de revestimentos cerâmicos - *Parte I - Geologia e correlação entre as minas e jazidas estudadas*. Revista Cerâmica Industrial, Associação Brasileira de Cerâmica, Vol 6, n° 5, 2000.
2. Christofolletti, S.R., Campos e Souza, P.E., Valarelli, J.V. Relação entre as características das argilas da Formação Corumbataí (Jazida Cruzeiro), a ação do intemperismo e a qualidade de produtos cerâmicos. In: 42º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Poços de Caldas, 1998, pp.154-157.
3. Christofolletti, S.R., Oliveira Souza, M.H., Gaspar Jr, L.A., Amarante Jr, A., Fernandes, A.C., Moreno, M.M.T., Valarelli, J.V.- Caracterização geológica e tecnológica das matérias-primas para cerâmica vermelha do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes. Anais do V Simpósio de Geologia do Sudeste, Penedo-RJ, 1997, pp.409-410.
4. Masson, M.R.; Zanardo, A.; Valarelli, J.V.; Moreno, M.M.T. 1998. Contribuição ao Estudo das Bolhas Negras que Surgem como Defeitos em Revestimentos de Cerâmica Vermelha. In: 42º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Poços de Caldas, pp.266-299.
5. Christofolletti, S.R.; Masson, M.R., Mijolaro, W.; Moreno, M.M.T.; Os principais contaminantes minerais das rochas sedimentares da Formação Corumbataí, e sua influência na matéria-prima cerâmica. In 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro (SP) no prelo.
6. Amorós, J.L., *et al.* Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos, Valência (Espanha), Instituto de Tecnología Cerámica, (199-), 168 p.
7. Masson, M.R., Thomazella, H.R.; Christofolletti, S.R.; Zanardo, A. Análise Estatística Multivariada Aplicada ao Mapeamento e Caracterização de Jazidas de Matérias-Primas para Revestimentos Cerâmicos. 44º

Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro (SP) no
prelo.