

# Formulações com as Matérias Primas da Formação Corumbataí pelo Processo Via Seco

Sergio Ricardo Christofolettia\*, Maria Margarita Torres Morenob

<sup>a</sup> Instituto Florestal do Estado de São Paulo – IF, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, SP, Brasil

<sup>b</sup> Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, SP, Brasil

\*e-mail: sergioricardoc@gmail.com

#### Resumo

O presente artigo teve por objetivo estabelecer formulações com as argilas da Formação Corumbataí pelo processo via-seco. Para isto foi realizado o levantamento de três seções geológicas localizadas em minerações ativas, sendo uma no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes-Seção P-19 e as outras duas nas cidades de Porto Ferreira- P-3 e Santa Rosa do Viterbo P-15. Observou-se uma variação geológica nas características da Formação Corumbataí nas seções estudadas o que refletiu nas propriedades tecnológicas e geoquímicas. Quando caracterizadas individualmente, de acordo com a ABNT/NBR-13818 as amostras da seção P-15 foram classificadas de BIb (gres), as da Seção P-19 de BIIb (semiporoso) e a P-3 de BIII (poroso). Os resultados das formulações 1 e 3 indicaram que as amostras das seções P-15 e P-19 quando misturadas em proporções iguais ou aditivadas (Formulações 2,4,5,6) apresentaram ótimos resultados. O conhecimento da exposição da Formação Corumbataí em outros locais torna-se essencial para a diversificação de produtos e processos e na melhora dos produtos atualmente fabricados.

Palavras-chave: Formação Corumbataí, diversificação de produtos, cerâmica, formulações.

## 1. Introdução e Justificativas

A Formação Corumbataí foi utilizada inicialmente como matéria-prima no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes-PCSG entre os anos de 1918-1930 na produção de telhas francesas, manilhas e ladrilhos coloniais denominados comercialmente lajões, sendo seu processo através de extrusão. A partir de 1987 iniciou-se a produção de placas pelo processo via seca e atualmente reponde por 65% da produção nacional, atingindo 575,58 milhões de m<sup>2</sup> no ano de 2014<sup>1</sup>. Também é considerado o dententor da tecnologia de produção de revestimento pelo processo via seco no mundo. Esse panorama fez com que se tornasse o maior polo cerâmico das Américas. Atualmente dois tipos de processo de produção principais são utilizados na fabricação de revestimentos cerâmicos no PCSG, por via-seco (predominante) na fabricação de semiporoso e por via-úmido na produção de grés e porcelanato. Além de placas cerâmicas, a Formação Corumbataí fornece matéria-prima na produção de telhas esmaltadas pelo processo de prensagem e na composição de porcelanatos pelo processo via úmida. Na região do polo cerâmico de Tambaú-Porto Ferreira/Santa Rosa do Viterbo a Formação Corumbataí é utilizada com muito sucesso na produção de telhas, blocos, pastilhas e na composição de matérias-primas na produção de porcelanatos e grés. Esses inúmeros usos da Formação Corumbataí como matéria-prima na fabricação de diversos produtos cerâmicos é reflexo da variação das características geológicas, químicas e mineralógicas da formação destes depósitos.

O maior desafio do PCSG é desenvolver uma tecnologia para produzir porcelanato pelo processo via-seco com as argilas da Formação Corumbataí que seja atrativo ao mercado consumidor. Atualmente apenas uma empresa do polo produz o porcelanato pelo processo via seco porem com dimensões  $30 \times 30$  cm não sendo o formato preferido no mercado consumidor. Melchiades et al.<sup>2</sup> enfatiza que para viabilizar a fabricação de porcelanato pelo processo via-seco é necessário alterar as condições de moagem e granulação da massa, em relação aos padrões utilizados pelas empresas, sendo necessária a obtenção de resíduos de moagem bastante finos e da granulação da massa através de granuladores capazes de gerar massas de elevada fluidez para o carregamento das prensas.

O presente trabalho tem como objetivo estabelecer formulações com argilas da Formação Corumbataí em três localidades onde esta unidade geológica é utilizada como matéria-prima na fabricação de diversos produtos cerâmicos com intuito de melhorar os revestimentos cerâmicos produzidos pelo processo via-seco no PCSG o que torna esta contribuição inédita.

## 2. Área de Estudo e Contexto Geológico

A Formação Corumbataí representa uma unidade estratigráfica de idade Neopermiana da Bacia do Paraná constituída principalmente por fácies argilosas compostas por siltitos, ora maciços, ora laminados, ora intercalados, argilitos, folhelhos e arenitos finos a médios, de cores variadas, intercalados com siltitos arenosos ou argilosos de diferente granulometrias Christofoletti<sup>3</sup>. Há algumas décadas, estas argilas constituem principal fonte de matéria-prima na fabricação de revestimento na região centro-nordeste do Estado de São Paulo. A Formação Corumbataí como matéria-prima cerâmica foi estudada por diversos autores, com destaque para: Christofoletti<sup>4</sup>, Gaspar Júnior<sup>5</sup>, Roveri<sup>6</sup>, Moreno<sup>7</sup>. Christofoletti<sup>3</sup> classifica a Formação Corumbataí na região do PCSG nas litofácies: Maciço, Laminado, Intercalado Siltoso, Intercalado Arenoso e Alterado.

Alguns trabalhos buscaram a diversificação e melhora do comportamento tecnológico da Formação Corumbataí através de aditivações e formulações, dentre destes podemos citar: Souza<sup>8</sup>, Grego<sup>9</sup>, Gaspar Júnior<sup>10</sup>, Romano<sup>11</sup>, Moreno<sup>7</sup>, Christofoletti et al.<sup>12</sup>. Esta três seções estão situadas na faixa aflorante da Formação Corumbataí no Estado de São Paulo sendo uma localizada na porção central do Estado de São Paulo na cidade de Araras (P-19) pertencente ao perímetro do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes e as outras duas na região nordeste do Estado de São Paulo nas cidades de Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo (P-3 e P-15). O acesso principal para as seções (P-3 e P-15) se dá pela Rodovia Anhanguera SP-330 e para a seção P-15 pela Rodovia Padre Donizete, SP 332 (Figura 1).



Figura 1. Mapa de Geológico da área de estudo com os pontos estudados. Extraído do Projeto Mogi-Pardo<sup>13</sup>.

#### 3. Materiais e Métodos

Os trabalhos iniciaram com a etapa de campo que consistiu no levantamento de três seções geológicas verticais, onde foram realizadas as descrições geológicas através da identificação das litofácies cerâmicas segundo Christofoletti<sup>3</sup>, prosseguida da coleta de amostras na forma de calha e posteriormente encaminhada para a caracterização laboratorial que teve por objetivo avaliar as características mineralógicas, químicas e tecnológicas das litofácies. A mineralogia foi identificada através da difração de raios X, onde as amostras foram analisadas na sua constituição total e na fração argila <2µm. A separação da fração argila foi necessária para a identificação dos argilominerais. A geoquímica foi realizada por ICP-OES (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente) e ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente) fundidas com metaborato de lítio. A caracterização tecnológica cerâmica foi realizada inicialmente nas 18 amostras coletadas nos trabalhos de campo e em sete formulações definidas após os resultados da caracterização individual das amostras. A caracterização tecnológica foi realizada pelo processo via-seco em condições laboratoriais no LabCer do Instituto de Geociências da Unesp. Rio Claro e seguiram a Norma ABNT 13818/199713. Inicialmente as amostras foram moídas em moinhos de martelo e umedecidas a 8%, posteriormente confeccionaram-se corpos de prova de dimensão 2×7cm por prensagem e queimados em forno de laboratório programado na temperatura máxima de 1050 °C para as amostras individuais e 1080 °C e 1100 °C para as formulações. Os testes realizados após queima foram: absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), densidade aparente (DA), retração linear de queima (RLQ) e de secagem (RLS), módulo de resistência à flexão (MRF), perda ao fogo (PF) e análise granulométrica a laser (AGL).

#### 4. Resultados

#### 4.1. Geologia

De acordo com as litofácies descritas por Christofoletti<sup>3</sup> e Christofoletti et al.12, as litofácies identificadas na área de estudo são: (M), laminada (L) e intercalada (I), arenosa (A) e alterada (AL). A Figura 2 mostra a correlação geológica das seções estudadas onde pode-se observar uma variação lateral e vertical nítida das litofácies. A litofácies Intercalada apresenta espessura de 4 metros na seção P-15 e de 6 metros na seção P-19 e na seção P-3 esta não ocorre. Observa-se uma correlação marcante da litofácies arenosa na seção P-15 e P-19. A ausência das litofácies de topo na Seção P-3 advém de processo intempéricos e erosivos atuantes na região. Essas variações laterais e verticais que ocorrem na Formação Corumbataí são resultantes do ambiente deposicional de formação destas argilas, onde encontram-se em diferentes posições estratigráficas na bacia; sendo que a Seção P-19 localiza-se na porção central da bacia e as Seções P-3 e P-15 na borda. A Formação Corumbataí apresenta uma granocrescência ascendente em direção ao topo/superfície. Isto deve-se ao ambiente deposicional

plataformal da Formação Corumbataí com predomínio de litofácies maciça e laminada na base gradando para litofácies intercaladas, arenosas em direção ao topo.

#### 4.2. Mineralogia e química

Dentre os minerais identificados, ocorre o predomínio do grupo dos silicatos com destaque para o mineral quartzo identificado em todos os difratogramas analisados apresentando maior ocorrência nas amostras da Seção P-3 com pico principal de intensidade  $d_{001} = 3.33$ Å. Identificou-se a presença do feldspato, na forma sódica (albita)  $d_{001}=3,19$ Å e potássica (microclíneo)  $d_{001}=3,24$ Å nas amostras estudadas. A albita apresenta maior ocorrência na seção P-19 e o microclíneo na seção P-3 e P-15. No grupo dos carbonatos, observa-se a presença do mineral calcita nas seções P-3 e P-19 não sendo identificado este mineral nas amostras da Seção P-15. Em relação aos filossilicatos, grupo dos argilominerais, a illita representa o argilomineral principal apresentando distância interplanar entre camadas do plano basal d<sub>001</sub> de 10Å na condição natural e quando submetida ao aquecimento (500 °C) e ao tratamento com etilenoglicol, não se altera mantendo o pico de 10 Å. (Figura 3). O argilomineral do grupo da esmectita identificado foi a montmorilonita ocorrendo nas amostras das Seções P-3 e P-15 e na amostra P-19-A7 da Seção P-19 apresentando d<sub>001=</sub>14Å e quando submetida ao tratamento com etilenoglicol tem o valor de  $d_{001}$  deslocado para  $d_{001} = 17$ Å. A caulinita ocorre principalmente nas amostras da Seção P-19 em especial na amostra P-19-A9. Apresenta d<sub>001</sub> de 7Å na condição natural e quando submetida a aquecimento (500 °C) o pico desaparece (Figura 3).

De acordo com a análise dos óxidos maiores (Tabela 1), o SiO<sub>2</sub> representa o elemento mais presente nas amostras com valores médios de 69,74% para a Seção P-3 de 65,35% para a Seção P-15 e de 67,23% para a Seção P-19. Em relação ao Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> este elemento ocorre em porcentagens similares nas três seções estudadas com valores médios entre 13 e 14%. O Na<sub>2</sub>O ocorre com destaque na seção P-19 com valor médio de 3,21% resultante do conteúdo de albita.

### 4.3. Granulometria

De acordo com a distribuição granulométrica realizada após a moagem nas mesmas condições, as amostras estudadas apresentaram uma maior concentração nas faixas granulométricas  $1 \le \phi \le 10$ ;  $10 \le \phi \le 100 \mu$ m (Figura 4). A soma destes intervalos nas amostras das seções P-15, P-19 e P-3 não difere muito, sendo valores de 86,52% para a seção P-15, de 92,63% para a seção P-19 e de 92,52% para a seção P-3. Observou se uma distribuição mais uniforme e uma granulometria mais fina na seção P-15, com destaque para uma maior concentração de grãos no intervalo  $100 \le \phi \le 1000 \mu$ m de 9,96% e uma menor concentração no intervalo 0.1-1 com valor médio de 3,58%. Observa-se uma tendência das amostras da base das seções apresentarem uma menor concentração de partículas nos intervalos de  $1 \le \phi \le 10$ ;  $10 \le \phi \le 100 \mu$ m



Figura 2. Correlação das litofácies das seções estudadas. Obs. L=litofácies laminada; M=maciça; I=intercalada; A=arenosa.



Figura 3. Difração de raios X. Amostra Total e em detalhe fração <2µm.

Amostras	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	LOI
P3-Am-1	13,84	0,51	0,56	70,02	4,12	2,2	1,42	0,01	0,09	0,06	5,53
P3-Am-2	12,72	0,4	0,53	68,51	4,87	3,83	1,97	0,02	0,14	0,05	4,32
P3-Am-3	13,88	0,6	0,64	70,69	2,32	2,35	2,03	0,02	0,07	0,04	5,59
Média	13,48	0,50	0,57	69,74	3,77	2,80	1,80	0,01	0,10	0,05	5,14
P15-Am-1	13,25	0,73	0,53	69,26	4,38	2,96	2,99	0,04	0,61	0,19	3,93
P15-Am-2	14,76	0,45	0,67	62,71	5,04	3,12	3,33	0,04	0,64	0,06	4,62
P15-Am-3	13,69	2,29	0,54	62,6	4,75	2,92	3,17	0,05	0,47	1,05	4,61
P15-Am-4	12,67	0,85	0,30	69,6	3,4	1,61	2,72	0,03	0,36	0,07	5,68
P15-Am-5	14,96	0,63	0,65	62,31	6,04	3,27	3,21	0,07	0,40	0,11	4,94
P15-Am-6	14,26	0,73	0,59	66,57	4,17	2,68	2,57	0,04	0,33	0,11	5,06
Média	14,11	0,84	0,54	65,35	4,65	2,75	2,85	0,04	0,41	0,24	4,93
P19-Am-1	14,81	0,79	0,58	67,28	5,15	3,91	2,03	0,03	2,84	0,11	1,94
P19-Am-2	15,31	0,86	0.60	69,78	4,25	3,78	1,61	<0,01	3,58	0,20	1,96
P19-Am-3	15,35	1,94	0.55	66,74	4,59	3,68	2,63	0,08	4,08	0,14	2,25
P19-Am-4	15,88	0,76	0.53	66,42	4,91	4,02	1,76	0,02	3,23	0,20	3,00
P19-Am-5	13,50	1,95	0.42	67,81	3,73	2,77	1,84	0,03	3,93	0,13	2,72
P19-Am-6	15,65	0,68	0.48	67,10	4,07	2,53	2,29	0,06	4,24	0,14	2,62
P19-Am-7	11,51	5,20	0.42	61,70	3,45	2,12	3,77	0,08	3,70	0,16	6,04
P19-Am-8	21,28	0,18	0,68	60,72	5,57	1,76	1,19	<0,01	<0,01	0,04	7,92
P19-Am-9	10,88	0,22	0,48	77,56	3,21	1,73	1,15	0,11	0,06	0,10	4,04
Média	14,90	1,40	0,53	67,23	4,32	2,92	2,03	0,06	3,21	0,13	3,61

Tabela I. Análise dos óxidos maiores em %.

aumentando esta concentração em direção as porções superiores da seção.

#### 4.4. Caracterização cerâmica

Os resultados cerâmicos das 18 amostras das seções P-3, P-15, P-19 encontram-se na (Tabela 2), onde se observa que as amostras das seções P-15 e P-19 apresentaram os melhores resultados conforme a Classificação de Revestimento<sup>14</sup>, sendo que a maioria das amostras enquadraram-se no Grupo BIb e BIIb. Já as amostras da Seção P-3 predominou o Grupo BIII o que indica um comportamento mais refratário dessa seção.

Após os resultados tecnológicos, mineralógicos e químicos das amostras das seções estudadas foram estabelecidas sete formulações (Tabela 3). As formulações mostraram uma melhora significativa nas propriedades tecnológicas nas duas temperaturas de queima. As amostras das seções P-15 e P-19 foram utilizadas como base para compor as formulações pelo fato de apresentarem os melhores resultados cerâmicos. Já as amostras da seção P-3 por apresentarem um comportamento mais refratário foram utilizadas como aditivo nas porcentagens de 10 e 20%. Este critério foi estabelecido pelas características geológica, mineralógicas e granulométricas das amostras.

Para as formulações processadas a 1080 °C os resultados enquadraram-se dentro do Grupo BIb de absorção de água e na temperatura de 1100 °C dentro do Grupo BIa, exceção feita para as formulações 2 e 7 que classificaram-se dentro do Grupo BIb.

Nas formulações 1 e 3, realizada entre as amostras da mesma seção houve uma melhora significativa nas

propriedades cerâmicas nas duas temperaturas de queima. Na formulação 2 onde foi utilizado a composição de 70% das amostras da seção P-15, exceção feita para a amostra P-15-Am-6 a qual foi adicionada a 30%, por representar uma litofácies intercalada com níveis de areia muito fina, observou se uma melhora significativa em relação a Formulação 1. As formulações 4, 5, 6, 7 que representam amostras das Seções P-15 e P-19 aditivadas com 10 e 20% das amostras da Seção P-3, apresentaram resultados ótimos, possibilitando classificar as amostras no Grupo BIb e BIa como grés e porcelanato (Tabela 4).

Na Figura 5 são mostrados a coloração dos corpos de prova das formulações a seco à temperatura de 110 °C e queimados nas temperaturas de 1080 °C e 1100 °C. Nota-se diferenças de tonalidades dos corpos de prova com cores cremes quando submetidos a secagem e queimados apresentaram cores de queima que variaram de vermelho a marrom escuro/chocolate. Essa coloração vermelha escura a chocolate é característica das argilas da Formação Corumbataí quando submetida a queima principalmente pela oxidação do ferro Fe<sup>+2</sup> (liberado das estruturas cristalinas) a Fe<sup>+3</sup>, assim como da desidratação dos hidróxidos de ferro que após a perda de água intensificam a cor vermelha resultando em aumento da quantidade original de hematita.

## 5. Discussões dos Resultados

Os resultados mostraram que as matérias-primas da Formação Corumbataí nas seções estudadas apresentaram características químicas e mineralógicas distintas refletindo diretamente no comportamento tecnológico. Observou-se





Figura 4. Análise granulométrica a laser.

claramente uma variação vertical e horizontal nas litofácies das seções estudadas com presença de litofácies mais argilosas na base passando para arenosas em direção ao topo/superfície.

Essas diferenças faciológicas da Formação Corumbataí são resultantes do ambiente de formação destes depósitos, com posterior alteração hidrotermal gerada pelo magmatismo basáltico da Serra Geral de idade Cretácea<sup>15</sup> e nos estratos expostos acrescenta se a ação intempérica que promove mudanças na mineralogia (transformação, entrada e/ou saída de elementos). Uma característica importante para fins cerâmicos é a existência de albita neoformada, a qual contribui com a sinterização a baixas temperaturas, o que, segundo Costa<sup>15</sup> resultou da substituição de evaporitos, os quais são capazes de fornecer grande quantidade de sódio. O mapeamento das litofácies da Formação Corumbataí é a principal ferramenta para um melhor aproveitamento das rochas da Formação Corumbataí para uso cerâmico.

As amostras da seção P-3 apresentaram um comportamento do ponto de vista cerâmico mais refratário em relação às amostras das seções P-15 e P-19, isto deve-se ao fato das amostras desta seção apresentar litofácies mais arenosas contendo altos valores de quartzo (SiO<sub>2</sub>) e baixas concentrações dos minerais illita e ausência do feldspato

Amostras	M.R.F	A.A (%)	DA-seco	PA (%)	RLQ (%)	GABs
P3-A1	190,15	12,08	1,78	23,67	4,16	BIII
P3-A2	312,01	5,37	1,76	11,65	7,59	BIIa
P3-A3	236,70	10,72	1,73	21,48	6,22	BIII
P15-A1	340,00	2,24	1,94	5,29	6.97	BIb
P15-A2	410,60	1,34	1,97	3,28	7.82	BIb
P15-A3	320,62	2,22	1,92	5,19	7.09	BIb
P15-A4	220,14	13,26	1,79	25,20	2,85	BIII
P15-A5	490,64	1,48	1,95	3,63	8,59	BIb
P15-A6	290,90	4,05	1,97	9,35	5,46	BIIa
P19-A1	474,00	1,17	1,84	2,81	8,43	BIb
P19-A2	461,90	1,37	1,81	3,24	8,78	BIb
P19-A3	338,40	7,82	1,87	16,83	4,88	BIIb
P19-A4	571,30	0,26	1,91	0,63	8,24	BIa
P19-A5	273,70	8,74	1,79	18,29	5,31	BIIb
P19-A6	299,10	6,43	1,71	14,14	7,94	BIIb
P19-A7	146,60	18,27	1,88	33,44	0,40	BIII
P19-A8	271,30	15,40	1,75	29,67	4,65	BIII
P19-A9	87,00	17,47	1,82	31,54	0,28	BIII

Tabela 2. Resultados cerâmicos das amostras queimadas a 1050 °C.

Obs. MRF=Módulo de Ruptura a Flexão em Kgf/cm<sup>2</sup>; AA=Absorção de água em %; PA=Porosidade Aparente em %; D(seco) densidade Aparente a seco em g/cm<sup>3</sup>; RLQ=Retração linear de queima; GABS=Grupo de absorção de água.

Tabela 3. Composições das formulações em gramas.

	Temperatura de queima de 1080 °C e 1100 °C Amostras					
Formulação 1	100% das amostras da seção 15 em % iguais					
Formulação 2	70% das amostras da seção 15 em % iguais, menos P15-Am 6	+30% da amostra da seção P15-Am 6				
Formulação 3	100% das amostras da seção 19 em % iguais					
Formulação 4	90% da formulação 3	+10% das amostras da seção P3*				
Formulação 5	80% da formulação 3	+20% das amostras da seção P3*				
Formulação 6	90% da formulação 1	+10% das amostras da seção P3*				
Formulação 7	80% da formulação 1	+20% das amostras da seção P3*				

\*(P3-Am1+P3-Am2+P3-Am3) em % iguais.

Tabela 4. Resultados cerâmicos das formulações queimadas a 1080 °C e 1100 °C.

Formulações	MRF	AA	PA	D(seco)	RLQ	GABs			
		Queimada a 1080° C							
Formulação - 1	313,4	1,59	3,76	1,91	7,21	BIb			
Formulação - 2	370,9	1,61	3,78	1,92	7,53	BIb			
Formulação - 3	410,4	1,75	4,18	1,85	8,37	BIb			
Formulação - 4	358,6	1,83	4,35	1,84	8,44	BIb			
Formulação - 5	358,0	2,21	5,23	1,84	8,44	BIb			
Formulação - 6	272,5	1,77	4,15	1,89	7,84	BIb			
Formulação - 7	321,3	2,40	5,43	1,88	7,69	BIb			
		Queimada a 1100 °C							
Formulação - 1	358,4	0,33	0,76	1,91	7,07	BIa			
Formulação - 2	358,5	0,68	1,59	1,92	7,19	BIb			
Formulação - 3	426,7	0,15	0,34	1,84	7,99	BIa			
Formulação - 4	428,5	0,19	0,44	1,84	8,53	BIa			
Formulação - 5	401,5	0,16	0,37	1,83	8,37	BIa			
Formulação - 6	320,1	0,58	1,34	1,89	7,50	BIa			
Formulação - 7	366,2	1,72	4,06	1,89	7,94	BIb			

Obs. MRF=Módulo de Ruptura a Flexão em Kgf/cm<sup>2</sup>; AA=Absorção de água em %; PA=Porosidade Aparente em %; D(seco) densidade Aparente a seco em g/cm<sup>3</sup>; RLQ= Retração linear de queima; GABS=Grupo de absorção de água.



Figura 5. Cor de secagem e queima à 1080 °C e 1100 °C das formulações.

do tipo albita, sendo estes os principais responsáveis pela formação da fase líquida no processo de sinterização. Essas características mineralógicas e geológicas refletiram diretamente no comportamento tecnológico das amostras desta seção, sendo os valores médios de densidade a seco das amostras da Seção P-3 de 1,75 gcm<sup>3</sup> resultando em valores altos de absorção de água e baixos de porosidade aparente e resistência mecânica (Tabela 2), classificando as amostras no Grupo BIII comercialmente denominada "porosa".

Nas amostras das Seções P-15 observou-se na descrição geológica de campo e nos resultados da análise granulométrica a laser uma granulometria mais fina em relação às amostras da Seção P-3 e P-19 o que resultou em uma maior concentração de argilominerais em especial a montmorillonita (que fornece maior plasticidade e grãos finos) e illita (que age como principal fundente junto com a albita) resultando em uma densidade aparente mais elevada de 1,92 gcm<sup>3</sup> decorrente de um melhor preenchimento/empacotamento dos grãos durante o processo de prensagem facilitando o processo de sinterização. As amostras destas seções foram classificadas dentro do Grupo BIb (grés), exceção feita para a amostra P-15-Am 4 que apresentou baixa densidade a seco com valores de 1,79 g/cm<sup>3</sup> por representar uma litofácies arenosa.

Em relação à Seção P-19, seção representante do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, observou-se comportamento tecnológico típico das argilas da região do Polo, com predomínio da illita como argilomineral dominante e feldspato do tipo albita. Geologicamente tende a apresentar litofacies mais argilosas e finas na base passando para litofácies mais arenosas no topo. De acordo com as características tecnológicas as amostras desta seção apresentaram densidade a seco média de 1.82g/cm<sup>3</sup> o que permitiu classificar as amostras de acordo com as características tecnológicas dentro do Grupo BIIb e as amostras do topo P19-Am 6 e P19-Am 8 dentro do Grupo BIII por apresentaram densidade aparente a seco baixa, sendo valores de 1,71 e 1,75 g/cm<sup>3</sup>. As amostras P-15-Am 4, P19-Am 6 e P19-Am 8 litologicamente representam a mesma litofácies e são correlacionáveis (Figura 2).

Em relação às formulações observou-se uma melhora significativa nos resultados cerâmicos. As seções P-15 e P-19 quando as litofácies/amostras são misturadas em proporções iguais (Formulações 1 e 3) ocorre uma melhora nas duas temperatura de queima. Na temperatura de 1080 °C os resultados cerâmicos enquadraram-se dentro do Grupo BIb (grés) e quando queimados a 1100 °C no BIa (porcelanatos). As demais formulações que foram utilizadas proporções de 10 e 20% das amostras da Seção P-3 apresentaram resultados satisfatórios. Observou-se que a aditivação das amostras da Seção P-3 nas demais formulações contribuiu para um melhor empacotamento dos grãos.

## 6. Conclusões

Através da descrição geológica de campo observou-se uma variação lateral e vertical nas seções estudadas onde foi possível identificar as litofácies maciça, laminada, intercalada, arenosa e alterada. Estudar estas variações na matéria-prima é muito importante para se estabelecer a melhor formulação entre as diferentes litofácies. A composição entre litofácies mais finas/argilosas com litofácies mais arenosa favoreceu o empacotamento das partículas.

De acordo com os resultados tecnológicos, observou-se que estas variações litológicas refletem nas características tecnológicas. As seções P-3, P-15 e P-19 apresentaram características distintas, sendo que os resultados das amostras da Seção P-3 sugerem que elas sejam utilizadas preferencialmente na fabricação de produtos cerâmicos porosos ou na composição de revestimentos pelo processo via úmida e pelo processo via seco. Os resultados mostraram que esta argila apresentou uma granulometria mais grossa, caráter refratário e desplastificante e quando foi utilizada como aditivo nas amostras das Seções P-15 e P-19 melhoraram as propriedades cerâmicas com um melhor empacotamento dos grãos, facilitando a sinterização das pecas quando submetidas a queima. Já as amostras das seções P-15 e P-19 apresentaram ótimos resultados quando queimadas a 1050 °C pelo fato de apresentar uma melhor distribuição granulométrica. Em relação às formulações realizadas observou-se que as amostras das seções P-15 e P-19 quando misturada em proporções iguais apresentaram resultados satisfatórios possibilitando a obtenção de produtos BIb na temperatura de 1080 °C e BIa a 1100 °C. A utilização das amostras da seção P-3 nas formulações melhorou os resultados cerâmicos. Uma importante propriedade cerâmica que deve ser utilizada como ferramenta é a densidade aparente a seco (110 °C), onde observou-se que quanto maior os valores deste parâmetro, resultam na melhora das propriedades cerâmicas quando queimados devido ao melhor preenchimento dos poros resultando em uma sinterização mais eficiente.

Observou-se nos trabalhos de campo que a extração das matérias-primas nas minerações estudadas é realizada sem critérios geológicos, sendo o aspecto visual preponderante para o processo de extração. De acordo com os resultados das formulações 1 e 3 é possível utilizar as litofácies das seções P-15 e P-19 por completo através da mistura em proporções iguais onde obteve-se produtos BIb e BIa em condições laboratoriais.

Vale ressaltar que a caracterização tecnológica das amostras foi realizada em laboratório sendo necessários testes industriais para a confirmação dos resultados com queima em temperaturas menores. Os resultados obtidos para as amostras da Seção P-15 sugerem estudos mais aprofundados em escala industrial visando à obtenção de porcelanatos pelo processo via seco.

Para a busca da diversificação, sustentabilidade e melhora dos produtos cerâmicos atualmente fabricados com as rochas da Formação Corumbataí é necessário o aprofundamento do conhecimento científico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa – FAPESP através do Processo de  $n^{\circ}$  2012/24219-9.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTO-ASPACER. Estatísticas. Santa Gertrudes. Disponível em: <www.aspacer.com.br/estatisticas>. Acesso em: 8 set. 2105.
- MELCHIADES, F. G. et al. Viabilidade da fabricação de porcelanatos por via seca a partir de massas de cor de queima clara. Parte I: condições de moagem e homogeneização da massa. Cerâmica Industrial, v. 17, n. 4, p. 13-21, 2012. http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.020.
- CHRISTOFOLETTI, S.R. Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. 2003. 187 f. Tese (Doutorado em Geociências)– Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CHRISTOFOLETTI, S. R. Estudos mineralógicos, químicos e textural das rochas sedimentares da Formação Corumbataí Jazida Cruzeiro e suas implicações nos processos e produtos cerâmicos. 1999. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

- 5. GASPAR JÚNIOR, L. A. Estudo mineralógico, químico e textural das rochas sedimentares da Formação Corumbataí (Jazida Peruchi) e suas implicações como matéria prima para cerâmica vermelha. 1998. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
- ROVERI, C. D. Petrologia aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro, SP) e produtos cerâmicos. 2010. 203 f. Tese (Doutorado em Geociências)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- MORENO, M. M. T. Composição mineralógica, distribuição, granulométrica e consistência de pastas. 2012. 125 f. Tese (Livre Docência)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP.
- SOUZA, M. H. O. Utilização das rochas da formação Irati como aditivos na massa cerâmica de revestimento do Polo de Santa Gertrudes. 1999. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- GREGO, M. I. B. Estudo dos efeitos da aditivação de argilas com tortas de filtração para produzir blocos de vedação. 1998. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- GASPAR JÚNIOR, L. A. Adição experimental de novos materiais às argilas da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (SP). 2003. 170 f. Tese (Doutorado em Geociências)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- ROMANO, R. Avaliação do potencial de aplicação de um folhelho argiloso no município de Jundiaí (SP), na indústria cerâmica de pisos e revestimentos. 2003.
   92 f. Monografia (Graduação em Geologia)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- 12. CHRISTOFOLETTI, S. R., BATEZELLI, A., MORENO, M. M. T. 2015. Caracterização geológica, mineralógica, química e cerâmica da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo-SP, visando aplicação e diversificação de produtos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Geociências, v. 34, n. 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

   ABNT. ABNT NBR 13818: placas cerâmicas para revestimentos: especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Projeto Mogi-Guaçu/Pardo. Carta Geológica Compilada. São Paulo, 1998. 92 p. v. 3.
- COSTA, M. N. S. Diagênese e alteração hidrotermal em rochas sedimentares da Formação Corumbataí, Permiano Superior, Mina Granusso, Cordeirópolis/SP. 2006. 140 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006