

2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

usos e especificações



SUMÁRIO

PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

| | |
|---|---|
| 01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL <i>Fernando A. Freitas Lins</i> | 3 |
|---|---|

| | |
|--|----|
| 02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO <i>Renato R. Ciminelli</i> | 25 |
|--|----|

PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

| | |
|---|----|
| 03. AGALMATOLITO <i>Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins</i> | 69 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 04. AMIANTO <i>Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva e Adão Benvindo da Luz</i> | 79 |
|---|----|

| | |
|--|-----|
| 05. AREIA INDUSTRIAL <i>Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins</i> | 103 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| 06. AGROMINERAIS - ENXOFRE <i>Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam) e Fernando A. Freitas Lins</i> | 125 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| 07. AGROMINERAIS - FOSFATO <i>Francisco E. Lápido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento</i> | 141 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| 08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO <i>Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lápido Loureiro</i> | 175 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| 09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA <i>Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello Silvino Ferreira de Matos</i> | 205 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| 10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA <i>Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida</i> | 223 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| 11. ARGILA - BENTONITA <i>Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira</i> | 239 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| 12. ARGILA - CAULIM | 255 |
| <i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i> | |
| 13. BARITA | 295 |
| <i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i> | |
| 14. BAUXITA | 311 |
| <i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i> | |
| 15. BERILO | 339 |
| <i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i> | |
| 16. CALCÁRIO E DOLOMITO | 363 |
| <i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i> | |
| 17. CIANITA REFRATÁRIA | 389 |
| <i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i> | |
| 18. CROMITA | 403 |
| <i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i> | |
| 19. DIAMANTE | 427 |
| <i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i> | |
| 20. DIATOMITA | 451 |
| <i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i> | |
| 21. FELDSPATO | 467 |
| <i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i> | |
| 22. FLUORITA | 487 |
| <i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i> | |
| 23. GIPSITA | 505 |
| <i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i> | |
| 24. GRAFITA | 527 |
| <i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i> | |
| 25. HALITA | 551 |
| <i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i> | |

| | |
|--|-----|
| 26. LÍTIÓ | 585 |
| <i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i> | |
| 27. MAGNESITA | 605 |
| <i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i> | |
| 28. MANGANÊS | 633 |
| <i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i> | |
| 29. MICA | 649 |
| <i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i> | |
| 30. NEFELINA SIENITO | 663 |
| <i>João Alves Sampaio, Sílvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i> | |
| 31. QUARTZO | 681 |
| <i>Pedro Luiz Guzzo</i> | |
| 32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO | 723 |
| <i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i> | |
| 33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA | 747 |
| <i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i> | |
| 34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA | 771 |
| <i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i> | |
| 35. TALCO | 793 |
| <i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i> | |
| 36. TERRAS-RARAS | 817 |
| <i>Simon Rosental</i> | |
| 37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO | 841 |
| <i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i> | |
| 38. VERMICULITA | 865 |
| <i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i> | |
| 39. ZEOLITAS NATURAIS | 889 |
| <i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i> | |
| 40. ZIRCONITA | 917 |
| <i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i> | |

PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933
Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva
42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961
Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 34

Argila Plástica para Cerâmica Branca

José Francisco Marciano Motta¹
Adão Benvindo da Luz²
Carlos Adolpho Magalhães Baltar³
Marcelo Soares Bezerra⁴
Marsis Cabral Junior⁵
José Mario Coelho⁶

1. INTRODUÇÃO

Argilas plásticas (*ball clays*) são definidas como argilas caulínicas sedimentares de elevada plasticidade, refratárias, de coloração variada de creme-clara a branca, após queima em ambiente atmosférico oxidante e granulometria muito fina, com cerca de 80% em peso abaixo de 2 μm . Segundo Wilson (1998), o nome *ball clay* é atribuído ao seu método original de extração, na qual a argila era cortada no piso da cava da mina na forma de cubos de 25 cm de aresta, pesando de 15 a 17 kg, que por manuseio obtinha formas esféricas (argila em bola). Este método foi usado há 50 anos na Inglaterra e ainda é usado na ilha de Kalimantan (Indonésia). Quanto aos constituintes mineralógicos, as argilas plásticas contêm, além da caulinita, proporções variadas de illita, mica, ou sericita e quartzo de granulometria fina, com pequenas quantidades de matéria orgânica e outros minerais tais como esmectita. Os minerais contaminantes mais frequentes são óxidos de ferro, pirita, siderita, minerais de titânio, gipsita e dolomita. A forma, o tipo e quantidades destes, podem influenciar o uso, as rotas de processo e a aplicação da argila na indústria cerâmica. As argilas plásticas são valorizadas, comercialmente, porque aumentam a trabalhabilidade e a resistência mecânica, a seco, dos corpos cerâmicos, duas características importantes das argilas plásticas. Suas propriedades reológicas são ideais para colagem e usadas na preparação de

¹Geólogo/UNESP, M.Sc. em Geologia/USP, Pesquisador do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-Estrutura do IPT - SP.

²Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT

³Engº de Minas/UFPE, D.Sc em Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ, Professor do Departamento de Engenharia de Minas/UFPE.

⁴Engº de Minas/UFPE, Especialista em Engenharia Econômica/UNICAMP, Consultor.

⁵Geólogo/UNESP, M.Sc. em Geologia/USP, D.Sc./UNICAMP, Pesquisador do Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura do IPT/SP.

⁶Engº de Minas/UFPE, D.Sc. Economia Mineral/UNICAMP, Profesor do Departamento de Geologia/UFRJ.

massas cerâmicas para a produção de placas (revestimentos - pisos e azulejos), porcelanas e louça de mesa, peças sanitárias e isolantes elétricos (McCuistion e Wilson, 2006; Menezes *et al.* 2003; Motta *et al.* 1993).

A Inglaterra é detentora de depósitos de argila plástica de classe mundial, sendo que a qualidade dos seus produtos permitiu ao Reino Unido assumir a liderança mundial na exportação de argilas plásticas por várias décadas. As denominadas *ball clays* inglesas das clássicas jazidas de Devon e Dorset são usadas no mundo inteiro como agentes plásticos ligantes, sobretudo na produção de cerâmica sanitária.

O vigoroso crescimento mundial da indústria de revestimentos cerâmicos nas últimas duas décadas e, em especial, do porcelanato, provocou o aumento acentuado da demanda por argilas plásticas, propiciando a entrada de novos *suppliers* no mercado internacional, como a Ucrânia, Alemanha e China, desbancando a Inglaterra da liderança⁷.

Muitos países não distinguem as argilas plásticas das argilas comuns em suas estatísticas minerais oficiais. Desta forma, as informações aqui apresentadas são baseadas em artigos especializados (p.ex. McCuistion e Wilson, 2006; Motta *et al.* 2007) e análises setoriais, as quais têm como referências estatísticas o consumo de matérias-primas pelos diversos segmentos da indústria cerâmica.. Estima-se que em 2007 tenham sido consumidas por volta de 20 milhões de toneladas de argilas plásticas, distribuídas entre placas cerâmicas (17 milhões t), sanitários (1,1 milhão t), porcelana e louças de mesa (1,2 milhão t) e isoladores elétricos (0,3 milhão t). A regionalização da produção é liderada pela Europa (11 milhões t), seguida da Ásia e Oceania (6 milhões), América do Sul (1,5 milhão t) e América do Norte (EUA, 1,1 milhão). Quanto aos principais países produtores destacam-se a China (4 milhões), Ucrânia (3,5 milhões t), Alemanha (3 milhões), EUA (1,1 milhão) e Inglaterra (1 milhão).

No Brasil, a produção estimada em 2007 é de 1 milhão de toneladas de argilas plásticas, computando-se 900.000 t para revestimentos, sendo 700.000 t para a confecção de 150 milhões de placas não-porcelanizadas e 200.000 para 33 milhões de m² de porcelanato, 70.000 t para 20 milhões de peças de materiais sanitários, 10.000 t para isoladores, e 10.000 t para 200 milhões de peças de porcelana e louça de mesa (Motta, 2007).

⁷ Esse aumento da produção de argilas plásticas inclui variedades de matérias-primas menos nobres do que as clássicas *ball clay* empregadas, mormente, na cerâmica de sanitários. Isto se dá em função de que as argilas utilizadas na indústria de placas cerâmicas não requerem as mesmas características reológicas exigidas para a manufatura de materiais sanitários.

Historicamente, as duas regiões com depósitos clássicos brasileiros correspondem a São Simão (SP) e Oeiras (PI). Mais recentemente, com aumento da demanda e a tendência de regionalização do parque cerâmica brasileiro, entraram em produção mais de duas dezenas de novas minas. Algumas das principais jazidas e regiões com ocorrências de argilas plásticas no Brasil, individualizadas por tipo de uso, são relacionadas a seguir.

Para **sanitários** destacam-se as minas de São Simão-SP, Tijucas do Sul - PR e Ipojuca/Cabo e arredores - PE. Para **isoladores elétricos** são essenciais as argilas de Oeiras-PI e região, com complementos de argilas locais. No caso do setor de **porcelana e louças de mesa**, os pólos industriais de São Paulo e sul de Minas são supridos principalmente pelas argilas de São Simão-SP, enquanto que o de Campo Largo-PR é abastecido por argilas locais e do Rio Grande do Sul. Para a indústria de **revestimentos** o suprimento é mais regionalizado, sendo proveniente de inúmeras jazidas, como no **Rio Grande do Sul**, onde são minerados depósitos de alteração superficial em Pântano Grande e de argilas formacionais das bacias carbonosas da região de Cerro do Roque (camadas argilosas associadas aos carvões da Bacia do Paraná); em Santa Catarina, são lavrados pequenos depósitos quaternários na planície costeira, depósitos formacionais e de alteritas na região planáltica no centro do Estado e depósitos de alteritas em Campo Alegre; no Paraná, ocorrem depósitos sedimentares quaternários em Tijucas do Sul, Campo Largo e São Mateus do Sul; em São Paulo, são lavrados vários depósitos, destacando-se a região nordeste do Estado (Mogi-Mirim, Mogi-Guaçu, Porto Ferreira e Tambaú) e o Vale do Paraíba; em Minas Gerais, entre outras localidades, ocorrem depósitos nas regiões de Poços de Caldas, Guarda-Mór e Lavras; a Bahia apresenta grandes reservas, mas ainda com produção incipiente (Recôncavo e sul do Estado); Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte destacam-se pelos depósitos quaternários fluviais/costeiros de pequeno a médio porte.

Apesar do desenvolvimento de novas jazidas de argilas plásticas no Brasil a partir da década de 1990, continua a persistir uma série de dificuldades no suprimento dessas matérias-primas, envolvendo, sobretudo, a escassez de depósitos de argilas *premium* para sanitários e a oscilação da qualidade das demais argilas comercializadas, cujo mercado produtor não conseguiu ainda atingir o padrão tecnológico e nível de competitividade dos *suppliers* internacionais. Essas carências, já apontadas por diversos autores (Souza Santos, 1992; Motta, *et al.* 1998; Menezes *et al.* 2003), vêm se somar à falta de pesquisa geológica sistemática para a geração de novos depósitos no País, fato que vem ocorrendo em apenas alguns estados, como a Bahia.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Mineralogia

As argilas plásticas são constituídas por caulinita, quartzo, mica (illita), algumas vezes esmectita, clorita, podendo conter minerais contaminantes como óxidos de ferro, piritita, siderita, e titânio, gipsita e dolomita. Os dois principais constituintes mineralógicas das argilas plásticas são a caulinita e o quartzo. Existe uma diferença, do ponto de vista cristalográfico e granulométrico, entre a caulinita da argila plástica e a caulinita do caulim. Enquanto esta é moderadamente grossa e em geral bem ordenada, a caulinita na argila plástica apresenta uma distribuição granulométrica muito fina, sendo predominantemente desordenada no eixo b. Esta característica aumenta a plasticidade das argilas (McCuiston e Wilson, 2006).

As argilas plásticas podem apresentar cor escura e esta é atribuída à presença de matéria orgânica, em geral entre 1 e 2%. Esta pode estar na forma de fragmentos de lignina, como ácido húmico na forma de colóide, oxidado facilmente durante a queima da argila. O material carbonoso tem uma influência favorável significativa na resistência, a verde, das argilas plásticas. O módulo de ruptura desta aumenta com o conteúdo de material carbonoso, no entanto a partir de certo limite poderá prejudicar as propriedades dos corpos cerâmicos (Wilson, 1996; Menezes *et al.* 2003.).

A presença da esmectita nas argilas plásticas contribui para aumentar a sua plasticidade, a resistência a verde e a retração linear dos corpos cerâmicos. A presença da esmectita também aumenta a retração linear após a queima e, se essa contém ferro, provoca um efeito deletério na cor do corpo cerâmico após a queima. No entanto, o principal efeito da esmectita nas argilas plásticas é na conformação dos corpos cerâmicos, onde essa afeta o comportamento da defloculação da argila, aumentando a demanda por defloculante.

Segundo Souza Santos (1992), a plasticidade de uma argila é atribuída à:

- i) presença de matéria orgânica sob a forma de sais húmicos, que agem como se fossem colóides protetores das partículas de caulinita, resultando na formação de películas de água adsorvida na superfície das partículas, funcionando como agente lubrificante de forma a promover o deslizamento das partículas lamelares da caulinita, umas sobre as outras;
- ii) presença da esmectita ou illita, em granulometria fina, por estarem adsorvidas às partículas lamelares da caulinita,

dificultam a formação de agregados do tipo face-aresta; iii) elevada proporção (80%) de partículas com granulometria abaixo de 2 μm ; iv) finura significativa das lâminas hexagonais de caulinita das argilas plásticas.

Diferente do caulim, as argilas plásticas (*ball clay*) não comportam processo econômico de purificação após sua extração e, desta forma, os consumidores devem aceitá-las como tal, com todos os seus componentes mineralógicos presentes no sedimento. Esses principais constituintes mineralógicos são a caulinita desordenada, materiais micáceos e quartzo. Alguns pesquisadores sugerem uma forma de medição do grau de cristalinidade da caulinita, variando de zero (caulinita completamente desordenada) a 2, onde a caulinita apresenta-se com cristalinidade perfeita. O ferro e o magnésio substituindo o alumínio, na rede octaedral da caulinita, provocam um desbalanceamento de cargas elétricas, que afetam outras propriedades da argila, como, por exemplo, a capacidade de troca catiônica. As argilas plásticas de Devon (Inglaterra) contém uma quantidade significativa de materiais micáceos. O quartzo contido nas argilas plásticas é de granulometria mais fina e menos anguloso do que o encontrado na matriz do caulim, possivelmente por ter sido submetido a várias etapas de transporte (Wilson, 1998).

Nas jazidas brasileiras, a caulinita é amplamente predominante entre os argilominerais, quando não exclusiva. No entanto, alguns depósitos podem ter participação variável de outros argilominerais, sobretudo naqueles formados por alteração superficial intempérica de rochas *in situ* (alteritas). Por exemplo, as argilas plásticas sedimentares *sensu strictu* de São Simão são constituídas predominantemente de caulinita, com participação muito pequena e ocasional de esmectita, além de outros minerais associados tais como quartzo e mica. Por outro lado, as argilas plásticas de Oeiras-PI (formada por alteração intempérica de sedimentos pelíticos da Bacia do Parnaíba) são constituídas de caulinita, e contam com presença mais significativa de illita e esmectita (Motta *et al.* 1993).

Geologia

Depósitos de Argila Plástica de Devon e Dorset

Segundo Wilson (1998), os depósitos comerciais de argila plástica na Inglaterra estão confinados em três bacias Terciárias no Sudoeste do País: bacias Bovey ao sul de Devon, de Petrockstow ao norte de Devon e de Wareham ao sudeste de Dorset. Esses depósitos se formaram no Período Terciário Inferior, em clima sub-tropical, onde as condições de muito calor e umidade resultaram num

intenso manto de intemperismo sobre os granitos e ardósias do Carbonífero e Devoniano. Os feldspatos dos granitos se transformaram em caulinita moderadamente ordenada. O processo de intemperismo converteu a clorita e alguma illita contidas nas ardósias, em caulinita desordenada. Bristow, citado por Wilson (1998), demonstrou que as ardósias intemperizadas do Carbonífero e preservadas sob as argilas plásticas, ao Norte de Devon, mostram uma gradação completa da ardósia fresca para uma mineralogia de argila plástica. Sedimentos derivados da espessa camada de intemperismo foram transportados através dos rios para os vales. As areias grossas e os cascalhos formaram os aluviões nos leitos dos rios e a argila, silte e vegetação foram depositados em lagos rasos. As bacias tectônicas de Bovey e Petrockstow foram áreas de fraqueza da crosta terrestre que permitiram a lenta acumulação das argilas plásticas, areias não consolidadas e linhitos.

Depósitos de Argila Plástica de São Simão-SP

As argilas plásticas de São Simão-SP e de Oeiras-PI, por suas propriedades físicas e químicas e seu uso consagrado na indústria cerâmica, são consideradas as argilas plásticas referências no Brasil e por isto foram selecionadas especialmente para compor este capítulo do livro Rochas e Minerais Industriais. Outros depósitos mais recentemente explorados também serão relacionados na apresentação das características tecnológicas.

Os depósitos de argila de São Simão fazem parte dos sedimentos quaternários que preenchem o fundo do Vale do Ribeirão Tamanduá, no noroeste do estado de S. Paulo, ocorrendo nos municípios de São Simão e Cravinhos. (Motta *et al.*, 1993).

Segundo ainda esses autores, as argilas encontram-se na forma de lentes ou camadas com espessura de até 2 m, associadas a terraços arenosos de idade neopleistocência. Os constituintes mineralógicos são caulinita, illita, quartzo e feldspato. Apresenta uma distribuição granulométrica com mais de 50% abaixo de 2 μm . Ao microscópio eletrônico de varredura foram observadas partículas de 1 a 3 μm , em forma hexagonal, pouco empilhadas ou dispersas, bem como partículas com bordas arredondadas.

Depósitos de Argila Plástica de Oeiras e S. José do Piauí

As argilas de Oeiras são conhecidas desde 1958, quando foram realizados os primeiros estudos pela Mineração Geral do Nordeste, que detinha os direitos de lavra da jazida, localizada no distrito de Buriti do Rei. Esta jazida encontra-se exaurida, mas posteriormente foi descoberta pela ARMIL, a jazida Mocambinho, também no distrito de Buriti do Rei, com uma reserva de 417.648 t (SETDETUR, 2005).

Segundo ainda a SETDETUR (2005), existem duas áreas situadas no município de São José do Piauí, onde foram descobertas duas jazidas de argilas plásticas, sendo uma na Fazenda Tabocas, com 1.477.434 t e a outra na Fazenda Vermelho, com 556.876 t. Estas duas jazidas, há cerca de 20 anos, foram explotadas por uma empresa de Belém-PA, mas até o ano de 2005 encontravam-se paralisadas.

Das duas minas de argilas plásticas, no distrito de Buriti do Rei, município de Oeiras, uma é a Mina Casa Nova (Grupo Brennand) e a Mina Mucambinho da ARMIL. Geograficamente estão distantes apenas 2 quilômetros uma da outra e geologicamente fazem parte dos sedimentos da Bacia do Parnaíba, mais precisamente da Formação Pimenteiras, uma seqüência de folhelhos, siltitos e argilitos, com intercalações de arenito no topo (Motta *et al.*, 1993; Luz *et al.*, 2007).

Em regra geral, os depósitos caulíníticos estão concentrados, em larga escala, nas bacias sedimentares e nas zonas de intemperismo supérgeno. Segundo Motta *et al.* (1993), o posicionamento geomorfológico desses depósitos, ocupando o topo de um morro aplainado e nivelado regionalmente, aliado ao seu perfil litológico, sugere a ação de processos supérgenos na geração do horizonte mineralizado com argila plástica, sendo portanto este, um guia para prospecção de novos depósitos.

A Mina de Casa Nova (Figura 1) é caracterizada por um banco de argilito com 6 m de espessura, de cores claras, finamente laminado. No topo, a camada é truncada por um horizonte laterítico com espessura de 2 m, ocorrendo percolação de soluções superficiais ricas em óxido de ferro, pelas fraturas, trazendo colorações indesejáveis para parte da argila.

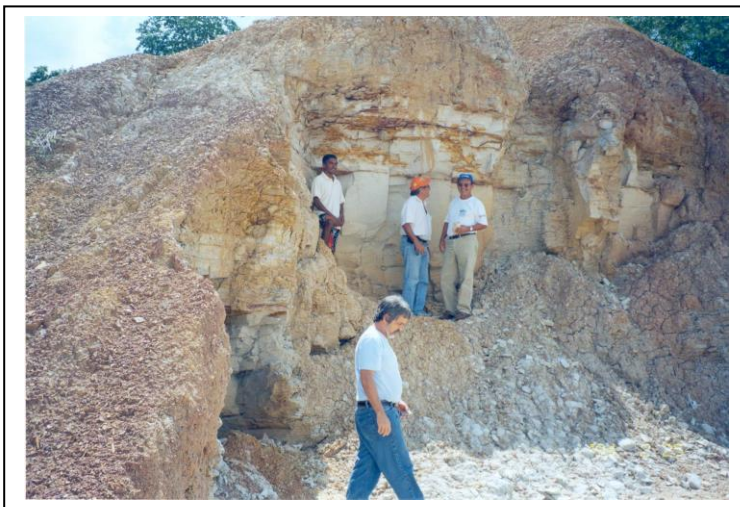


Figura 1 – Mina de Casa Nova (Grupo Brenannd), distrito de Buriti do Rei – pacote argiloso mostrando fratura e soluções ferruginosas (Luz *et al.*, 2007).

Outros Depósitos Brasileiros

Além dos depósitos de São Simão e Oeiras, que se destacam, respectivamente, como fornecedores de matérias-primas essenciais para as indústrias de sanitários e isoladores elétricos, outros depósitos brasileiros de importância encontram-se relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação dos Principais Ocorrências de Argilas Plásticas do Brasil.

| UF | Região | Usos | Tipo | Reserva | Produção |
|-------------------------|---------------------------|---------|---------------|---------|----------|
| PB | Alhandra | S, R, I | Pa | P-M | P-M |
| RN | Macaíba / Ares/ Goianinha | Sic | Pa | P | P |
| PI | Oeiras / S.José do Piauí | I | Alt p S | M-G* | P |
| PE | Ipojuca/Cabo Sto. | S, R | Pa | M | P-M |
| SE | Itabaianinha | Sic | Pa | P-M | P |
| BA | Recôncavo – Mucugê | R | Alt p S | M-G | P |
| | Litoral Sul | R | Alt p mS | P-M | P |
| MG | Poços de Caldas | R | Co-Pa | P-M | P-M |
| | Lavras | R | Pa | M | P |
| | Guarda Mor | S | Co-Pa | G | P-M |
| SP | São Simão | S, L | Pa | P | P-M |
| | Mogi-Mirim | R | Pa | P | P-M |
| | Mogi-Guaçu | R | Pa | P | P-M |
| | Tambaú | R | Pa | P | P-M |
| | Porto Ferreira | R | Alt S | M-G | P-M |
| | Aguai | R | Pa | P-M | P |
| | Alto Tietê | S, R, L | Pa | P-M | P-M* |
| | Lagoinha | R | Pa | P | P |
| Vale Paraíba - Tremembé | R | Pa | P-M | P-M* | |
| PR | Tijucas do Sul | S, R, L | Pa | M-G | M |
| | Campo Largo | R, L | Pa | P-M | P-M |
| | São Mateus do Sul | R | Pa | M | P-M |
| SC | Campo Alegre | R | Alt p β | M-G* | M-G* |
| | Planalto Lages | R | Alt p S | M-G | Sic |
| | Alfredo Wagner | R | Alt p S | M-G | Sic |
| RS | Pântano Grande | R | Alt p Y | M-G | M-G* |
| | Cerro do Roque | R | Und-Clay | P-M | P-M |

Abreviaturas e convenções informais nesta tabela:

Usos: S - sanitários; I - isoladores; L - louças e porcelanas de mesa; R - revestimentos

Tipo de depósito: Pa - planície aluvionar; Co= coluvionar; Alt p - alterita de planalto (S= rochas pelíticas sedimentares; mS - rochas pelíticas metassedimentares; β - rocha vulcânica; y - anortosito; Und-Clay- under clay - argila sob camada de carvão

Reservas: P (pequena): até 500.000 t; M (média): de 500 mil a 5 milhões t; G (grande): > 5 Milhões t

Produção: P (pequena): até 50.000 tpa; M (média): de 50 mil a 100 mil tpa; G (grande): 100 mil tpa.

* conjunto de minas.

Sic - sem informação complementar

Fonte: extraído de Motta (2007).

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Lavra

De uma maneira geral, as argilas plásticas localizam-se em zonas baixas, sujeitas a inundação, e são explotadas pelo método de lavra a céu aberto. Fora do Brasil, em camadas sedimentares mais antigas, podem existir também lavra subterrânea quando se deseja extrair argila em camadas mais profundas e de qualidade superior. Na lavra a céu aberto, inicialmente é feito o decapeamento da mina, usando tratores e o material de superfície removido, pelas exigências ambientais, deve ser estocado em local adequado, para futura reabilitação da área lavrada.

Concluída a preparação da frente de lavra, na etapa seguinte tem-se o desmonte, normalmente usando retro-escavadeiras. Alguns depósitos de argilas plásticas possuem diferentes camadas de argilas e, por isso, a sua lavra deve ser conduzida de forma seletiva e o material explotado ser estocado em áreas separadas, para blendagem posterior. Cada camada deve ser amostrada e caracterizada, do ponto de vista tecnológico, de forma a prover as informações requeridas para o processamento posterior (Wilson, 1998 e MacCuistion e Wilson, 2006).

Tendo a situação fisiográfica de baixios (planícies aluvionares, planície costeira) como uma das características da maioria das minas de argilas plásticas brasileiras, a atividade de mineração é sazonal, intensificando-se nos períodos mais secos. Desta forma, há a necessidade de formação de estoque e, adequando este fato ao mercado, algumas minas realizam o estoque em uma única pilha, produzindo apenas um tipo de argila, com mistura de todas as camadas do depósito. Outras minas formam lotes específicos para determinados produtos ou consumidores, através de lavra e estoque seletivo. Em alguns casos, a liberação dos lotes sob encomenda está vinculada à aprovação dos mesmos pelo consumidor, que realiza amostragem e encaminha para as suas fábricas para a realização de ensaios tecnológicos específicos.

Em situação fisiográfica de morro, distinta das áreas baixas, ocorrem poucos, mas importantes depósitos, como é o caso das jazidas do município de Oeiras-PI. Na Mina de Mucambinho, no distrito de Buriti do Rei, o pacote é mais espesso do que na Mina Casa Nova, entretanto mergulha fortemente sob uma capa de sedimentos, o que dificulta a extração. A qualidade aparentemente é a mesma nas duas minas (Luz *et al.*, 2007).

Segundo ainda esses autores, nessa mina, a lavra é feita a céu aberto, em bancada única, por métodos manuais e de forma intermitente, pois as duas minas estavam paralisadas por ocasião da visita (janeiro/2007). A argila extraída é transportada in natura para o mercado, sendo feita uma lavra seletiva para descarte do material mais grosseiro, identificando-se aqui uma carência de estudos para desenvolver um processamento tecnológico mais adequado, que evite o desperdício desse material descartado.

Processamento

Segundo Wilson (1998), as argilas lavradas em Devon e Dorset, no sul da Inglaterra, são submetidas, em geral, a um mesmo sistema de processamento. As argilas são lavradas de acordo com as características químicas e físicas dos produtos solicitados pelos clientes. A argila, depois de minerada, deve ser envelhecida nos pátios de estocagem, para adquirir as características necessárias à sua defloculação. A oxidação e o ataque bacteriano, sobre a argila explotada, alteram e degradam a matéria orgânica com o passar do tempo. Sabe-se também que o envelhecimento da argila, nos pátios de estocagem, tem um efeito muito grande sobre os corpos cerâmicos, além de auxiliar no processo natural de secagem, contribuindo para diminuir os custos de produção (MacCuistion e Wilson, 2006).

As argilas lavradas são então transportadas para uma central de processamento e depositadas, separadamente, em baias, aguardando blendagem, que poderá conter argilas de diferentes locais de produção. Cada argila, antes de ser depositada nas baias, é submetida a um processo de fragmentação para posterior blendagem, em função das características do produto que se deseja obter, para colocação no mercado. A maioria das argilas é comercializada após fragmentação, embora existam facilidades nas unidades produtoras, para secagem, granulação, moagem e classificação, caso o cliente solicite. A forma mais comum de processamento é moagem, onde a argila é inicialmente seca, desintegrada em pó e algumas vezes submetida a uma microseparação. Finalmente, o produto é acondicionado em sacos, paletizados e enrolados com plástico. Algumas vezes a argila é processada na forma de polpa e submetida à classificação em peneiras vibratórias, seguido de separação eletromagnética. Por fim, o produto pode ser colocado para o cliente, na forma de polpa ou desaguado em secador por aspersão (Spray Dryer).

O controle de qualidade do processo de produção é da maior importância e se inicia com o planejamento da lavra, amostragem na cava da mina, antes, durante e após a blendagem. As argilas são testadas visando determinar as suas diversas características, tais como composição química, módulo de ruptura, propriedades reológicas e de queima.

No caso brasileiro, o processamento mais complexo é efetuado na empresa Caulim, em Ipojuca-PE. Camadas de argilas são lavradas em frentes e minas distintas, seguindo para processo de mistura, desagregação em água, peneiramento/ hidrociclonação, espessamento, filtro-prensagem, extrusão (formação de *noddles*), secagem, embalagem e expedição.

4. USO E FUNÇÕES DA ARGILA PLÁSTICA

A argila plástica desempenha um papel importante na formulação de uma variedade de cerâmicas brancas, nas aplicações industriais (Bougher, 1995, modificado) e na produção de:

- (i) grês sanitário;
- (ii) porcelana, grês e louça de mesa e artística;
- (iii) placas cerâmicas (revestimento de parede e de piso);
- (iv) fritas e engobes e
- (v) porcelana elétrica.

No processo industrial, a argila plástica desempenha funções imprescindíveis na etapa de conformação das peças, conferindo resistência mecânica às peças a verde e a seco, reologia adequada nos processos de conformação a úmido e plasticidade nos processos tornearia e prensagem. Adicionalmente fornece cor às peças queimadas, preferencialmente mais brancas possível, e contribui na formação da mullita no processamento térmico, o que propicia a elevada resistência dos produtos cerâmicos. Caso tenha elementos fundentes, contribui também para reduzir a temperatura de sinterização.

Três são os principais processos de conformação: (a) colagem, (b) extrusão e (c) tornearia e prensagem. A colagem é utilizada para a produção de sanitários e parte das porcelanas e louças de mesa. Corresponde a etapa do processo cerâmico que consiste na retirada da água, de forma lenta, de uma suspensão água/sólido densa (barbotina), com a formação de parede ou torta, no contato

com a superfície filtrante, ou seja, vertendo-se a barbotina num molde de gesso, este absorve a água da barbotina, por capilaridade, enquanto as partículas sólidas se acumulam contra a superfície do molde. Neste processo, a peça formada apresenta uma configuração externa, que reproduz a forma interna do molde (Motta *et al.*, 1993). Segundo ainda esses autores, para que uma argila plástica seja usada na colagem de peças cerâmicas, são requeridas propriedades tais como elevada capacidade de defloculação, cuja propriedade é influenciada pelo arranjo da caulinita na suspensão coloidal (barbotina). Outro fator relevante é ter uma distribuição granulométrica que dê permeabilidade adequada e propicie a percolação da água entre as partículas de argila no processo de formação da parede da peça. Para tanto, não é desejável que a curva de distribuição granulométrica tenha comportamento normal e amplo, para não favorecer a intensificação do empacotamento das partículas, diminuindo a permeabilidade e dificultando a formação de parede no molde.

A extrusão é realizada com a massa cerâmica (mistura de argilas, caulim, quartzo, feldspato e outros componentes minerais) em estágio de umidade intermediário, para a conformação direta das peças ou para prepará-la para um segundo estágio de conformação, como tornearia e prensagem, muito utilizadas em cerâmica branca. A principal propriedade requerida na extrusão é a plasticidade da massa, propriedade aportada pelas argilas plásticas. Algumas massas extrudadas, geralmente no formato de cilindros, após um sazonalamento de alguns dias em ambiente úmido (recomendável), seguem para corte e prensagem via plástica (p.ex. pratos), prensagem e tornearia via plástica (p. ex. tijelas, canecas, etc.). Outras linhas de produção optam por secagem dos cilindros e tornearia a seco (p.ex. grandes peças de isoladores elétricos). A produção dessas peças requer grande plasticidade das argilas para a extrusão e moldagem plástica, e grande resistência mecânica para a tornearia a seco. Pequenos conteúdos de esmectita podem ser empregados para incrementar a resistência mecânica.

Outra forma de conformação de peças é através da prensagem a seco da massa. Essa técnica pode ser feita através de prensa uniaxial para peças de formas planas e regulares (p. ex. placas cerâmicas) ou prensas isostáticas (p. ex. alguns isoladores, bolas para moinhos). As argilas para essas peças, além da cor de queima desejada, geralmente branca, devem aportar plasticidade para exercer a função de ligação e dar resistência mecânica. Nesse tipo de conformação é desejável uma distribuição granulométrica ampla, com partículas de todos os tamanhos, para favorecer o empacotamento.

5. ESPECIFICAÇÕES

Devido às variações dos processos de produção (preparação, conformação e queima), das formulações de massas entre os diferentes produtos e indústrias, bem como das diferenças composicionais das argilas (variações entre depósitos e entre camadas do mesmo depósito), não existem especificações rígidas ou procedimentos padrões que caracterizem uma argila plástica para os seus diversos usos em cerâmica branca. Desta forma, as indústrias geralmente efetuam os seus próprios ensaios experimentais nas argilas individualmente e as testam em suas formulações. Contudo, alguns parâmetros básicos, como composição química e mineralógica, características físicas e ensaios cerâmicos preliminares são utilizados como referência para orientar os prováveis usos.

A composição química revela a constituição, em óxidos, dos principais elementos, permitindo analisar alguns parâmetros de desempenho tecnológico. Destacam-se os seguintes componentes:

Alumina (Al_2O_3) - o conteúdo de alumina revela a quantidade de argilomineral presente, ou seja, quanto mais alumina, maior a quantidade de caulinita e outros argilominerais. Por exemplo, no caso da Ucrânia, as argilas plásticas são comercializadas de acordo com o conteúdo de alumina: alta, média e baixa alumina.

Óxido de ferro - considerado o principal elemento cromóforo (junto com o titânio), a sua presença não é desejável, sobretudo em teores acima de 1% (em peso). Quando testada isoladamente, observa-se que a partir de valores de óxido de Fe ao redor de 4% acentuam-se as tonalidades avermelhadas, prejudicando os produtos de cor clara. A presença do ferro é mais comprometedor em minerais como a limonita e a siderita do que quando ocorre na estrutura cristalina dos argilominerais, substituindo o alumínio.

Óxido de potássio (K_2O) - tratando-se de óxido fundente, é importante a presença desse elemento para tornar a massa menos refratária. O ideal é que o potássio esteja associado aos argilominerais, caso da illita.

Sílica - maior componente químico das argilas, pois está presente em todos argilominerais, no quartzo, feldspato, etc. A sua presença em excesso revela a contaminação de quartzo, uma impureza que deve ser controlada e equilibrada com o quartzo presente em outras matérias-primas, quando na preparação das massas.

Quanto à mineralogia, o principal argilomineral das argilas plásticas é do grupo da caulinita, mas pode conter quantidades apreciáveis de argilominerais dos grupos da illita e esmectita, e de gibbsita. A mineralogia é determinada pela difratometria de raios X e secundariamente por microscopia, que associada à composição química, pode ter as suas fases quantificadas, ao menos aproximadamente. De modo geral, as argilas caulíníticas isoladamente, se desestruturadas e com um pouco de matéria orgânica (por ex. argilas de várzeas puras), apresentam elevada plasticidade, bem como algumas impurezas que a torna pouco fundentes. À medida que as argilas tenham mais illita, incrementa-se a sua fundência (desejável), mas pode aumentar o seu conteúdo de ferro (não desejável). A presença de esmectita aumenta a plasticidade (desejável), mas o seu excesso pode aportar problemas de secagem, alta retração e problemas reológicos de defloculação (não desejável). A presença de gibbsita em excesso (mais comum nas argilas plásticas refratárias) também pode causar retração alta e problemas reológicos, dificultando a defloculação das barbotinas. A presença de minerais não argilosos e micas pode ser suportado em pequenas quantidades para alguns usos, mas não são muito desejáveis.

No aspecto granulométrico, as argilas plásticas internacionais, como as clássicas inglesas, as americanas, francesas, alemãs e ucranianas revelam uma alta quantidade (acima de 70%) de partículas abaixo de 2 μm , enquanto que as argilas nacionais são consideravelmente mais grossas (Motta, 2007). O desempenho plástico, reológico e o empacotamento do corpo cerâmico estão intimamente relacionados à distribuição do tamanho das partículas. Os aspectos físicos, químicos e mineralógicos determinam a base do desempenho tecnológico, mas podem ser parcialmente modificados na ocasião de processamento e da preparação da massa. Dentre os diversos setores usuários, o de grés sanitário é o mais complexo e o mais exigente quanto às características dessa matéria-prima, sobretudo devido à moldagem por colagem em gesso (ou em moldes orgânicos).

Como referências, algumas propriedades indicativas das argilas plásticas são apresentadas por MacCuistion e Wilson (2006):

- (i) umidade entre 18 e 22%;
- (ii) cor branca, várias tonalidades de cinza e marron, preta, rosa e bronzeada e a gradação para todas as tonalidades;
- (iii) distribuição granulometria entre 15% < 0,5 μm e 65% < 0,5 μm ;
- (iv) área de superfície específica entre 8 m^2/g e 40 m^2/g ;

- (v) carbono de 0,1 a 3%;
- (vi) enxofre contido < 10 ppm e máximo de 7000 ppm;
- (vii) com o envelhecimento, o sulfato contido deve estar entre 200 e 5000 ppm;
- (viii) resíduo em peneira de 200 malhas de traço a 30%;
- (ix) demanda por defloculante (dispersante) de muito baixo a muito alto;
- (x) cor após a queima pode ser branca, pêssego ou rosa;
- (xi) SiO_2 de 50 a 70%;
- (xii) Al_2O_3 de 18 a 35%;
- (xiii) teor médio de Fe_2O_3 próximo de 1%.

Na Tabela 2 são apresentados 22 exemplos de argilas brasileiras e suas propriedades cerâmicas.

Tabela 2 – Algumas características das argilas nacionais.

| Argila | Geologia | Cor de queima | TRF 1.200°C (MPa) | Visc. min (cPs) | CTC meq/ 100g | SE m ² /g | Composição Química (%) | | | | | P.F. |
|---------------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|
| | | | | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | |
| São Simão-SP | Qa | Creme | 11.5 | 150 | nd | nd | 60 | 26.3 | 0.35 | 1.07 | 0.91 | 11.5 |
| Oeiras- PI | Alt_p | Cinza escuro | 66.0 | 150 | 10.6 | 98 | 54.0 | 27.2 | 2.90 | 4.46 | 0.96 | 9.0 |
| Ipojuca- PE | Qa | Bege claro | 12.3 | nd | nd | nd | 47 | 34.4 | 0.26 | 2.39 | 0.75 | 14.8 |
| Vale do Paraíba- SP | Qa | Creme | 11.1 | 150 | 5.0 | 46 | 54 | 29.2 | 0.88 | 1.57 | 1.16 | 12.5 |
| Guarda-Mór- MG | Qa | Creme | 25.9 | nd | nd | nd | 46 | 26.0 | 1.93 | 1.67 | 1.04 | 22.5 |
| Tijucas do Sul- AD44- PR | Qa | Creme | 20.9 | 300 | 4.6 | 43 | 48 | 34.2 | 0.84 | 1.96 | 1.36 | 13.5 |
| Tijucas do Sul -FSM120-PR | Qa | Bege claro | 66.0 | 100 | 3.4 | 32 | 55 | 29.4 | 0.33 | 1.51 | 1.87 | 12.0 |
| S.Mateus do Sul - PR | Qa | Bege | 9.5 | nd | nd | nd | 50 | 31.7 | 0.21 | 1.11 | 2.43 | 13.9 |
| Campo Largo- PR | Qa | Branco | 14.5 | nd | nd | nd | 54 | 31.4 | 0.22 | 1.00 | 1.01 | 12.5 |
| Lagoinha- SP | Qa | Creme | 2.7 | 50 | 2.4 | 22 | 66 | 22.8 | 0.35 | 0.97 | 1.16 | 8.9 |
| A.Tietê CZ- SP | Qa | Branco | 1.0 | 10 | 1.6 | 15 | 50 | 38.4 | 0.51 | 1.91 | 1.47 | 7.5 |
| A.Tietê BR- SP | Qa | Creme | 11.9 | 100 | 3.8 | 35 | 55 | 29.5 | 0.75 | 0.87 | 1.77 | 11.6 |
| Castro- PR | Qa | Cinza | 16.3 | nd | nd | nd | 69 | 19.8 | 5.16 | 0.87 | 0.73 | 3.7 |
| C.Roque- RS | P | Creme | 14.8 | 41 | 3.8 | 35 | 57 | 29.7 | 0.40 | 0.64 | 1.25 | 11.0 |
| Pântano Grande- RS | Alt_pe | Branco | 11.8 | 50 | 26.0 | 242 | 50 | 33.0 | 1.31 | 0.72 | 0.11 | 12.6 |
| Campo Alegre- SC | Alt_pe | Branco | 11.0 | nd | nd | nd | 65 | 23.9 | 0.19 | 0.56 | 0.35 | 9.7 |
| Lavras- MG | Qa | Creme | 7.7 | 60 | nd | nd | 59 | 26.0 | 0.95 | 1.04 | 1.49 | 11.2 |
| Poços de Caldas- MG | Qa | Bege claro | 21.9 | 60 | nd | nd | 43 | 37.9 | 1.49 | 1.77 | 1.66 | 14.1 |
| Mogi-Mirim- SP | Qa | Bege escuro | 3.9 | 200 | nd | nd | 78 | 12.1 | 0.34 | 1.83 | 1.06 | 6.1 |
| Tambaú- SP | Qa | Bege | 1.9 | 100 | nd | nd | 69 | 17.3 | 1.13 | 2.14 | 1.98 | 8.0 |
| Porto Ferreira- SP | Alt_p | Bege alaranjado | 27.8 | 1300 | nd | nd | 74 | 12.2 | 1.67 | 2.25 | 0.54 | 6.8 |
| Região do Recôncavo- BA | Alt_p | Creme | 2.1 | 100 | 2.0 | 19 | 66 | 23.4 | 0.20 | 0.89 | 0.74 | 8.9 |

Nota: Geologia: Qa (Quaternário aluvionar); Alt_S (Alterita de sedimentos gondwânicos); p (Paleozóico); ps – Pré-Cambriano
 Visc.min = Viscosidade mínima; CTC = capacidade de troca catiônica; SE = superfície específica; P.F. = perda ao fogo; nd = não disponível
 Fonte: modificado de Motta, 2007

Constata-se a predominância de jazidas associadas a depósitos sedimentares quaternários aluvionares (Qa), seguidos de depósitos de alteração intempérica de rochas (alteritas - Alt), relacionados a litotipos sedimentares (folhelhos, argilitos) metamórficos (filitos) e ígneos (rochas vulcânicas, anortositos). Em geral, as argilas quaternárias são plásticas e refratárias (p.ex. São Simão), sendo que as alteritas apresentam características mais variáveis, a depender do grau de alteração e da mineralogia remanescente. Por exemplo, enquanto os depósitos de Oeiras são bastante plásticos, os do Recôncavo Baiano são menos plásticos e mais refratários. Na Tabela 3 é mostrado, em maior detalhe, os característicos cerâmicos das argilas de São Simão e Oeiras.

Tabela 3 – Características físico-químicas e cerâmicas das argilas de Oeiras (PI) e São Simão (SP).

| Parâmetros Analisados | | Oeiras (PI) | São Simão (SP) |
|-----------------------|--|----------------------|----------------|
| 110°C | Limite de Plasticidade (%) | 31,4 | 32,9 |
| | Umidade de Prensagem (%) | 10,3 | 9,7 |
| | Varição Linear após secagem (%) | -0,2 | -0,8 |
| | Tensão Ruptura à Flexão (kgf/cm ²) | 49 | 32 |
| | Cor | cinza | cinza escuro |
| 1150°C | Perda ao Fogo (%) | 0,0 | 15,2 |
| | Contração Linear (%) | 11,3 | 9,6 |
| | Tensão Ruptura à Flexão (kgf/cm ²) | 327 | 159 |
| | Absorção de Água (%) | 0,4 | 19,4 |
| | Porosidade Aparente (%) | 1,0 | 34,6 |
| | Massa Específica Aparente (kg/m ³) | 2495 | 1787 |
| Cor | creme escuro | branca | |
| 1250°C | Perda ao Fogo (%) | 8,5 | 15,3 |
| | Contração Linear (%) | 11,0 | 14,9 |
| | Tensão Ruptura à Flexão (kgf/cm ²) | 334 | 243 |
| | Absorção de Água (%) | 0,0 | 6,9 |
| | Porosidade Aparente (%) | 0,0 | 14,3 |
| | Massa Específica Aparente (kg/m ³) | 2493 | 2255 |
| Cor | cinza | branca | |
| Argilominerais* | | K.E.I | K (I) |
| Análise Química | Perda ao Fogo | 15,37 | 16,57 |
| | SiO ₂ | 43,76 | 45,26 |
| | Al ₂ O ₃ | 29,19 | 33,48 |
| | Fe ₂ O ₃ | 2,78 | 1,50 |
| | TiO ₂ | 1,02 | 1,34 |
| | CaO | 0,36 | 0,23 |
| | MgO | 3,98 | 0,43 |
| | Na ₂ O | 0,14 | 0,04 |
| | K ₂ O | 4,11 | 0,66 |
| | Total | 100,71 | 9,51 |
| Uso Principal** | | Extrusão e tornearia | Colagem |

Nota: Argilominerais: K=Caulinita; I=Illita; E=Esmeclita.

Fonte: modificado de Motta *et al*, 1993.

Existem propriedades que são extremamente importantes para apontar os usos potenciais das argilas plásticas tais como colagem, alvura após a queima, módulo de ruptura, plasticidade etc. (Tabela 4).

Tabela 4 – Características e usos dos principais tipos de argila plástica.

| Tipo de argila | Principais Propriedades | Uso |
|--|-------------------------|---|
| Elevada colagem (hycast) | Boa fluidez | Louça sanitária |
| Elevada alvura (hywhite) | Elevada alvura | Porcelana e louça de mesa |
| Elevado módulo de ruptura a seco (hymod) | Elevada resistência | Placas cerâmicas, porcelana elétrica, etc., processadas por prensagem, tornearia (e extrusão) |
| Elevada plasticidade (hyplast) | Boa plasticidade | porcelana elétrica e peças processadas por extrusão e moldagem plástica |

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas especificações de vários tipos de argilas plásticas de Devon e Dorset, para comparação com as argilas plásticas brasileiras, identificando seu uso potencial.

Tabela 5 – Propriedades das argilas plásticas da ECC/Imerys de Devon.

| PROPRIEDADES | | HYPLAS 64 | HYPLAS 71 | HYWITE SUPERB | HYWITE ALUM | HYCAST RAPIDE | HYROC MR | HYPURE VECTOR | |
|---|--------------------------------|-----------|-----------|---------------|-------------|---------------|----------|---------------|------|
| Análise Química | SiO ₂ | 63 | 69 | 50 | 45 | 55 | 58 | 49 | |
| | Al ₂ O ₃ | 24 | 20 | 31 | 32 | 29 | 28 | 32 | |
| | Fe ₂ O ₃ | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,3 | |
| | TiO ₂ | 1,6 | 1,7 | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 1,3 | 1,0 | |
| | CaO | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | |
| | MgO | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | |
| | K ₂ O | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 0,9 | 1,6 | 2,0 | 2,2 | |
| | Na ₂ O | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | |
| | P.F. | 6,8 | 5,4 | 14,0 | 20,0 | 12,0 | 9,0 | 12,5 | |
| C | 0,2 | 0,1 | 2,5 | 6,0 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | | |
| Distribuição Granulométrica de Partículas | >125um | 0,4 | 1,0 | 1,5 | 4,0 | 2,0 | 0,6 | 0 | |
| | >53um | 3,0 | 6,0 | 2,5 | 6,0 | 3,0 | 1,8 | 1 | |
| | <5um | 85 | 70 | 94 | 93 | 87 | 81 | 97 | |
| | <2um | 75 | 57 | 84 | 85 | 70 | 56 | 87 | |
| | <1um | 65 | 50 | 75 | 77 | 60 | 43 | 77 | |
| | <0,5m | 55 | 40 | 63 | 64 | 45 | 43 | 65 | |
| Módulo de Ruptura a seco (110 °C) | MNm ⁻² | 8,5 | 6,5 | 5,5 | 4,5 | 3,5 | 2,5 | 10,9 | |
| | Kgf/cm ² | 85,0 | 65,0 | 54,0 | 45,0 | 35,2 | 24,6 | 109,0 | |
| Cola gem | Concentração | % sólidos | 64,5 | 68,5 | 65,0 | 65,0 | 70,0 | 71,0 | 61,5 |
| | Demanda | 0,7 Pa.s. | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,47 |
| | Floculante | 0,5 Pa.s. | 1,2 | 0,9 | 1,3 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,81 |
| Propriedades de Queima | % Absorção de água | 1120°C | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 20,0 | 15,0 | 12,5 | 9,9 |
| | | 1180°C | 4,0 | 6,0 | 6,5 | 14,0 | 8,0 | 7,0 | 5,8 |
| | | 1240°C | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 10,0 | 4,0 | 3,0 | 3,2 |
| | % Alvura | 1120°C | 62 | 61 | 78 | 85 | 75 | 70 | 74 |
| | | 1180°C | 54 | 54 | 72 | 82 | 68 | 60 | 66 |
| | | 1240°C | 46 | 45 | 68 | 80 | 58 | 50 | 63 |
| | % Contração Linear | 1120°C | 7,8 | 5,2 | 11,8 | 11,5 | 9,0 | 8,5 | 10,9 |
| | | 1180°C | 9,0 | 6,5 | 14,0 | 14,0 | 11,5 | 11,0 | 11,8 |
| | | 1240°C | 10,0 | 8,1 | 15,0 | 16,0 | 13,5 | 13,0 | 13,4 |

Tabela 6 – Propriedades das argilas plásticas da ECC/Imerys de Dorset.

| PROPRIEDADES | | HYMOD EXCELSIOR | HYMOD PRIMA | HYMOD KC | HYMOD HSM | HYMOD SM | HYMOD AT | HYCAST MEGA | |
|---|--------------------------------|-----------------|-------------|----------|-----------|----------|----------|-------------|------|
| Análise Química | SiO ₂ | 49 | 54 | 54 | 63 | 74 | 54 | 55 | |
| | Al ₂ O ₃ | 35 | 30 | 30 | 24 | 17 | 29 | 29 | |
| | Fe ₂ O ₃ | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 2,3 | 1,2 | |
| | TiO ₂ | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | |
| | CaO | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | |
| | MgO | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | |
| | K ₂ O | 1,2 | 3,1 | 3,3 | 2,6 | 1,7 | 3,1 | 1,8 | |
| | Na ₂ O | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | |
| | P.F. | 12,0 | 8,8 | 8,7 | 6,8 | 4,7 | 8,5 | 11,7 | |
| | C | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 1,9 | |
| Distribuição Granulométrica de Partículas | >125um | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 2 | |
| | >53um | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 2,7 | 5,5 | 0,6 | 3 | |
| | <5um | 96 | 96 | 95 | 80 | 64 | 95 | 87 | |
| | <2um | 92 | 88 | 85 | 69 | 48 | 85 | 72 | |
| | <1um | 87 | 79 | 75 | 61 | 40 | 78 | 62 | |
| | <0,5m | 80 | 67 | 64 | 51 | 35 | 65 | 48 | |
| Módulo de Ruptura a seco (110 °C) | MNm ⁻² | 7,5 | 8,0 | 7,5 | 7,0 | 4,5 | 7,0 | 4,5 | |
| | Kgf/cm ² | 74,9 | 80,2 | 74,9 | 69,96 | 45,0 | 70,0 | 64,0 | |
| Colagem | Concentração | % sólidos | 58,5 | 61,5 | 62,0 | 67,5 | 73,0 | 61,5 | 69,0 |
| | Demanda Floculante | 0,7 Pa.s. | 3,4 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 0,7 | 1,4 | 0,5 |
| | | 0,5 Pa.s. | 3,8 | 2,1 | 2,0 | 1,4 | 0,9 | 1,6 | 0,8 |
| Propriedades de Queima | % Absorção de água | 1120°C | 6,5 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 11,0 | 3,5 | 13,5 |
| | | 1180°C | 4,5 | 2,5 | 2,0 | 4,0 | 9,0 | 2,0 | 7,0 |
| | | 1240°C | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 5,0 | 1,0 | 3,5 |
| | % Alvura | 1120°C | 71 | 62 | 60 | 61 | 62 | 41 | 73 |
| | | 1180°C | 68 | 53 | 52 | 54 | 57 | 35 | 65 |
| | | 1240°C | 63 | 48 | 48 | 47 | 49 | 33 | 56 |
| | % Contração Linear | 1120°C | 13,5 | 11,3 | 11,1 | 7,5 | 2,9 | 11,4 | 9,3 |
| | | 1180°C | 14,5 | 12,0 | 12,0 | 8,8 | 4,2 | 12,1 | 11,5 |
| | | 1240°C | 15,3 | 12,5 | 12,5 | 9,7 | 6,3 | 12,5 | 13,4 |

Fonte: Wilson (1998) – Modificado. Nota: p.s.i.: libra/pol² e MNm⁻²: Meganewton/m².

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

No Brasil, as argilas plásticas são produzidas pelo pequeno minerador, principalmente no Estado de São Paulo. Com algumas exceções, a maior parte dessas argilas plásticas produzidas está mais próxima de um caulim cerâmico do que de uma verdadeira argila plástica. Em virtude disto, é muito comum se fazer a blendagem de diferentes tipos de argila, para se obter um corpo cerâmico adequado (Mc Cuistion e Wilson, 2006).

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, pela contribuição dos seus pesquisadores, na preparação deste capítulo de argilas plásticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUGHER, A. K (1995). Ball Clay. Mineral Review, American Ceramic Society Bulletin, vol. 74, nº 6, June 1995, p. 105.
- LUZ, A. B., MAGALHÃES BALTAR, C. A., COELHO, J. M., CABRAL JÚNIOR, M., BEZERRA, M. S. (2007). Relatório técnico de visita a minas de vermiculita e argila plástica do Piauí. M. S. RV 2007-005-00, CETEM, 2007.
- MCCUISTION J., WILSON I (2006). Ball Clays. In: Industrial Minerals and Rocks, 7th Edition, Edited by Jessica Elzea Kogel, Nikhil C. Trivedi, James M. Barker and Stanley T. Krukowski, p 343-356, 2006.
- MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S. NEVES G. A., FERREIRA H. C.(2003). Caracterização de argilas plasticas do tipo “ball clay” do litoral paraibano. Cerâmica, vol. 49, p. 120-127.
- MOTTA, J. F. M., TANNO, L. C., CABRAL JUNIOR, M.(1993). Argilas plásticas para cerâmica branca no estado de São Paulo – Potencialidades Geológicas. Revista Brasileira de Geociências, vol. 23, 1993, p 159-173.
- MOTTA, J. F. M. (2007). Estudo da tipologia e caracterização geológico-tecnológica de depósitos de argilas plásticas brasileiras e o desenvolvimento de massas para cerâmica branca (Processo Fapesp 03/13762-4). Inédito, p. 190. 2007.
- SETDETUR - Secretaria do Trabalho e do Desenvolvimento Econômico, Tecnológico e Turismo (2005). Diagnóstico e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Piauí, Convênio nº 004/2004 MME, p.149.
- SOUZA SANTOS, P. (1992). Caulins e argilas para cerâmica branca. In: Ciência e Tecnologia de Argilas, 2ª Edição revisada e ampliada, vol. 2, p. 476-505.
- WILSON, I. R. (1998). The construction, evaluation and ceramic properties of ball clays. Cerâmica, vol. 44, nº 287-288, S. Paulo, May/June/August 1998. p. 88-117.