



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM)

Gustavo da Silva Paulo



Caracterização Tecnológica de Argilas, Comparação entre *Blends*
Objetivando Otimização Logística.

Poços de Caldas

2022

Gustavo da Silva Paulo

Caracterização Tecnológica de Argilas, Comparação entre Blends Objetivando Otimização Logística.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Carolina Del Roveri

Poços de Caldas

2022

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

da Silva Paulo , Gustavo .

Caracterização Tecnológica de Argilas, Comparação entre Blends
Objetivando Otimização Logística. / Gustavo da Silva Paulo . - Poços de
Caldas, MG, 2022.

30 f. : il. -

Orientador(a): Carolina Del Roveri.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de
Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Argila . 2. Cerâmica . 3. Porcelanato . 4. Caracterização . I. Del Roveri,
Carolina , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

Gustavo da Silva Paulo

Caracterização Tecnológica de Argilas, Comparação entre Blendes Objetivando Otimização Logística.

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

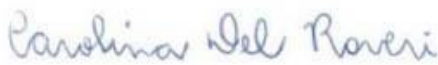
Área de concentração:

Aprovada em: 14 de fevereiro de 2022

Orientador: Profa. Dra. Carolina Del Roveri

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura:



Examinador 1: Prof. Dr. Matheus Fernando Ancelmi

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura:



Examinador 2: Msc. José Tadeu Gouvêa Junior

Instituição: EPUSP – PMI - USP

Assinatura:



Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Ângela e José, por sempre me apoiarem nas minhas decisões.

Agradeço ao Adailton Duarte Borges pela permissão do uso de dados e informações, além da colaboração ao trabalho realizado.

Agradeço a Unifal pela oportunidade de aprender ao longo do curso de especialização (CEEM) e na realização deste trabalho científico.

Agradeço a professora Carolina Del Roveri pela orientação e ajuda na realização desse trabalho, principalmente também pela motivação na continuidade do estudo com prováveis novas orientações.

Agradeço a todos os alunos do curso de Especialização (CEEM) pela troca de experiências e conhecimentos sobre a atividade de mineração em diferentes locais, portes e minérios. Entendendo as dificuldades rotineira em cada situação.

Epigrafe - "Para quem não tem nada, metade é o dobro"

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura cristalina dos Argilominerais T-O e T-O-T. (ZATTA, 2010).

Figura 2 – Classificação das Argilas para Uso Cerâmico (MEIRA, 2001).

Figura 3 - Fases do processo Produtivo Cerâmico via Úmida e Seca (CABRAL JR et al., 2005).

Figura 4 – Processo produtivo e industrial de Porcelanatos (OLIVEIRA; HOTZA, 2015)

Figura 5 – Produção do Mercado Brasileiro de Revestimentos Cerâmicos de 2011 - 2017 (CABRAL JR et al., 2019).

Figura 6 - Mapa de Localização das Poligonais das Minas Piteiras e Tanquinho. Coordenadas Geográficas Datum Sirgas 2000. Fonte: Autor.

Figura 7 - Imagem de Satélite com as distâncias das frentes em relação à infraestrutura.

Figura 8 – A: Blendagem e formação do lote final de minério, notar minérios distintos presentes nas pequenas leiras para formação da mistura. B: Trator com enxada rotativa acoplada, usado para cominuição do minério bruto.

Figura 9 - Fluxograma Produtivo das Minas.

Figura 10 – **A**: Primeira bancada da frente de lavra da Mina Piteiras com a indicação das Argilas A, B e a fina camada orgânica entre elas. **B**: Bancada mais profunda da frente lavra da Mina Piteiras com a indicação da Argila B. **C**: Frente de Lavra da Mina Piteiras mostrando a disposição horizontal com a diferentes camadas de minério. **D**: Frente de Lavra da Mina Tanquinho.

Figura 11 - **A**: Leira pulmão de Argila T; **B**: Amostragem da Argila B ao longo da Frente de Lavra; **C**: Leira pulmão de Argila A, as setas indicam os lugares de amostragem uniformemente espessados ao longo da leira.

Figura 12 - Corpos de Prova queimados das Argilas A, B e T.

Figura 13 - Corpos de Prova queimados dos Blends de Composição 1 e 2.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipologias de Placa Cerâmica (CABRAL JR et. al 2019).

Tabela 2 - Resultado dos ensaios tecnológicos físicos das Argilas A, B e T.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios tecnológicos físicos para os materiais blendados.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Dap – Densidade aparente.

Dap Q. - Densidade aparente pós-queima.

RMF – Resistência Mecânica à Flexão.

Aa – Absorção de água.

RL – Retração Linear.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	2
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1	MINERAIS INDUSTRIAIS.....	2
3.2	ARGILAS: DEFINIÇÃO, ESTRUTURA E MINERALOGIA	4
3.3	ARGILAS: DEPÓSITOS E JAZIDAS	7
3.4	ARGILAS: CLASSIFICAÇÃO INDUSTRIAL	9
3.5	CERÂMICA DE REVESTIMENTOS	11
3.6	PORCELANATOS.....	15
3.7	MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS EM PORCELANATOS.....	17
4.	CARACTERIZAÇÃO MINAS PITEIRAS E TANQUINHO.....	18
4.1	LOCALIZAÇÃO	18
4.2	PROCESSO PRODUTIVO	20
4.3	FRENTES DE LAVRA E TIPOS DE MINÉRIOS.....	22
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
5.1	AMOSTRAGEM	24
5.2	METODOLOGIA DOS ENSAIOS	25
5.3	CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO	26
6.	RESULTADOS.....	26
6.1	MINÉRIOS BRUTOS (A, B e T).....	26
6.2	BLENDS.....	27
7.	DISCUSSÃO	28
8.	CONCLUSÕES	29

RESUMO

O Brasil e o estado de São Paulo possuem tradição no ramo cerâmico de revestimentos, possuindo um parque industrial bem estabelecido e alta produtividade, com tendência do mercado em direção a produtos como o Porcelanato. Dessa maneira existem várias minas que lavram o minério argila objetivando seu fornecimento para as indústrias cerâmicas paulistas, como o caso das minas Piteiras e Tanquinho localizados em Mogi Mirim/SP. A argila é o material mineral mais utilizado como matéria prima em indústrias cerâmicas de revestimento, possuindo vários tipos e diferenças de composição química, mineralógica, física e de gênese. As argilas presentes nas minas Piteiras e Tanquinho são provenientes de jazidas sedimentares quaternárias em áreas de várzea, com reservas de pequeno porte e caracterizadas pela presença de M.O, plasticidade e quantidade variável de quartzo. Para atender uma das indústrias cerâmicas paulistas, foi confeccionado um *blend* com a mistura de 20% da argila denominada como “argila A” e 80 % da argila denominada como “argila T”, composição essa já testada e aceita pelo mercado. Porém a “argila B”, possui características a olho nu parecidas com a argila T, e está localizada em uma frente de lavra mais próxima do pátio de estocagem, armazenamento e homogeneização. Assim foram feitos testes físicos nas argilas A, B e T, e em *blends* da composição 1 (20%A + 80%T) e composição 2 (20% A + 50%T + 30% B), vislumbrando conhecer a possibilidade de substituição total ou parcial da argila T pela argila B. Pois a incorporação da argila B ao *blend* ocasiona otimização logística da mina e economia de combustível. Percebeu-se com os resultados dos testes físicos que não era impossível a substituição total da argila T pela B, devido a diferenças significativas de parâmetros físicos relevantes como porcentagem de resíduo e cor de queima. Porém os testes mostraram semelhanças em vários parâmetros físicos para os *blends* de composição 1 e 2. Mostrando que existe a possibilidade de substituição de uma fração da argila T pela B. Conclui-se que apesar de resultados animadores, necessita-se de mais análises para constatar o emprego do *blend* de composição 2 para comercialização. Principalmente testes em escala industrial com grande quantidade de material testado e empregado na composição de massas cerâmicas.

Palavras-chave: Argila, *Blend*, Cerâmica e Porcelanato.

ABSTRACT

Brazil and the state of São Paulo have a tradition in the ceramic tile industry, having a well-established industrial park and high productivity, with a market trend towards products such as porcelain. Thus, there are several mines that mine clay ore aiming at its supply to the ceramic industries of São Paulo, such as the Piteiras and Tanquinho mines located in Mogi Mirim/SP. Clay is the most used mineral material as a raw material in various ceramic coating industries, and it has several types with differences in chemical, mineralogical, physical and genesis composition. The clays present in the Piteiras and Tanquinho mines come from quaternary sedimentary deposits in floodplain areas, with small reserves and characteristics such as the presence of M.O, plasticity and variable quantity of quartz. To serve one of the ceramic industries in São Paulo, a blend was made with a mixture of 20% of the clay known as “clay A” and 80% of the clay known as “clay T”, a composition that has already been tested and accepted by the market. However, “clay B”, has characteristics, to the naked eye, similar to clay T, and is located on a mine front closer to the stockyard, storage and homogenization. Thus, physical tests were carried out on clays A, B and T, and on blends of composition 1 (20%A + 80%T) and composition 2 (20% A + 50%T + 30% B), with a view to knowing the possibility of total or partial replacement of clay T by clay B. Since the incorporation of clay B into the blend leads to logistical optimization of the mine and fuel economy. It was noticed from the results of the physical tests that it was impossible to completely replace clay T with clay B, due to significant differences in relevant physical parameters such as percentage of residue and burning color. However, the tests showed similarities in several physical parameters for the blends of composition 1 and 2. Showing that there is the possibility of replacing a fraction of clay T by B. It is concluded that despite encouraging results, further analysis is needed for verify the use of the blend of composition 2 for commercialization. Mainly tests on an industrial scale with a large amount of material used in the composition of ceramic masses.

Keywords: Clay, Blend, Ceramics and Porcelain

1. INTRODUÇÃO

Tanto no Brasil quanto principalmente no estado de São Paulo, existem várias indústrias cerâmicas diversas, localizadas em polos bem estabelecidos e altamente produtivos. Nesse contexto para fornecer matérias primas para essas indústrias, temos várias mineradoras espalhadas pelo estado de São Paulo. Com exploração de diferentes minérios utilizados nas massas cerâmicas como filito, talco e principalmente argilas com diversos tipos e características.

Em Mogi Mirim, cidade no interior do estado de São Paulo, ocorre a operação de lavra de duas minas do minério argila, denominadas Mina Piteiras e Tanquinho. Ambas as minas se encontram próximas e sua operação é realizada pela mesma empresa, que comercializa a argila lavrada e beneficiada para as indústrias cerâmicas paulistas na confecção de revestimentos, sendo o principal produto o porcelanato.

Como na maioria das jazidas de Argila, o minério presente não é homogêneo, possuindo diferenças de características físicas e químicas principalmente em profundidade, apresentando camadas distintas. Essa heterogeneidade da jazida faz com que seja necessário a mistura ou o *blend* das argilas lavradas seletivamente para a comercialização. Assim após a lavra e cominuição, ocorre a mistura dos minérios provenientes das diferentes frentes de lavra, com objetivo formar um lote que atenda ao padrão imposto pelas indústrias cerâmicas compradoras. Em geral cada indústria cerâmica exige um material mineral com diferentes características, que faz com que ocorram *blends* específicos dos minérios das frentes de lavra das minas Piteiras e Tanquinho, para suprir cada indústria ou tipo de revestimento que será produzido.

Dessa maneira a mineradora responsável pelas operações de lavra, desenvolveu um *blend* composto por 20% da argila denominada como “Argila A”, que se trata da primeira camada mineralizada da atual frente de lavra da mina Piteiras. E 80 % da argila denominada como “Argila T”, proveniente da segunda camada mineralizada da atual frente de lavra da mina Tanquinho. Para ser utilizado como uma das matérias primas incorporadas na massa de revestimento do tipo Porcelanato. Porém a camada de argila localizada imediatamente abaixo da Argila A (Argila B), no perfil da frente de lavra da mina Piteiras, possui características visuais e ao tato semelhantes à Argila T, e se encontra em local bem mais próximo ao pátio onde ocorrem os procedimentos de secagem, cominuição, blendagem e homogeneização dos materiais de lavra. Nesse trabalho essa argila localizada em camada abaixo da Argila A é denominada como “Argila B”.

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

A infraestrutura da empresa mineradora está situada na Mina Piteiras, onde estão instalados os locais de apoio como sanitários, refeitório, garagem, almoxarife, mecânica e etc. Também na Mina Piteiras é onde se encontram as pilhas pulmão dos minérios brutos lavrados e o Pátio onde ocorre o processo de beneficiamento da argila.

Como a Argila B é semelhante a Argila T, através apenas de análise prévia a olho nu, e sua reserva está localizada bem mais próxima ao pátio de blendagem e armazenamento. Esse trabalho tem por objetivo fazer a caracterização tecnológica física das argilas A, B e T, comparando os resultados entre si, para elaborar um *blend* que introduza uma porcentagem da Argila B, e caracteriza-la juntamente com o *blend* atual (20% A e 80% T). Com o intuito de comparar os parâmetros levantados pelos testes de caracterização, vislumbrando a possibilidade de substituição, ou incorporação da argila B ao *blend*.

A justificativa para esse trabalho é que caso seja constatado, através das caracterizações, que é possível a formação de um *blend* onde a Argila B substitua parte da Argila T. A empresa mineradora terá vantagens logísticas e econômicas. Visto que a reserva da Argila B está localizada mais próxima ao Pátio, economizando combustível utilizado pelas máquinas e veículos empregados na lavra, bem como tempo, possibilitando maior agilidade na formação dos lotes finais. O tráfego da Argila T da frente de lavra até a pilha pulmão, é feita através de caminhões terceirizados, caso seja possível o emprego da Argila B ao *blend*, diminuirá a necessidade de utilização desses caminhões, visto que o transporte da Argila B poderá ser feito direto da lavra para o pátio, sem necessidade de pilha pulmão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MINERAIS INDUSTRIAIS

O Termo minerais industriais pode ser explicado como todas as rochas ou minerais de minério que por suas características físicas ou químicas, e não pela extração de um metal ou energia gerada, podem ser empregados em processos industriais com possível múltiplas funções, através de material usado diretamente da lavra ou beneficiado, com variação de valor agregado (CIMINELLI, 2003).

Os Minerais Industriais não metálicos podem ser classificados pela sua funcionalidade ou aproveitamento, através de características intrínsecas de cada material como capacidade de

adsorção, propriedades reológicas, resistência ao impacto, entre outras. Podendo eles serem divididos em minerais físicos ou químicos (CIMINELLI, 2003). O grupo dos minerais físicos mantém a sua estrutura e identidade física original quando empregados, havendo no máximo alterações em superfície como adsorção e absorção, ou modificação granulométrica. Os agregados são um exemplo bem didático deste tipo de mineral industrial estrutural, onde ocorre o uso em diversas granulometrias sem modificação estrutural física. O grupo dos minerais químicos, diferentemente, são empregados em processos industriais onde ocorre a alteração física original, com mudanças de fases líquidas ou gasosas, originando novos compostos com arranjos cristalográficos e possíveis fases vítreas. Um exemplo de mineral industrial químico são as argilas ou matérias primas usadas em cerâmicas de revestimento, devido a queima do material após conformação, ocorrendo alteração física original das substâncias (CIMINELLI, 2003).

Diferentemente do que ocorre em empreendimentos de minerais metálicos, ou onde o produto mineral é uma *commodities*, o modelo de negócio requer que o minerador esteja próximo do consumidor (indústria), com a formação de elos na cadeia produtiva com a aplicação da substância (CIMINELLI, 2003). Isso acontece pela funcionalidade múltipla dos minerais industriais, com diferentes usos entre consumidores, regiões, possibilidades de substituição, variação de características de depósitos, entre outros (CIMINELLI, 2003).

No contexto dos Minerais industriais temos o estado de São Paulo como um importante produtor e consumidor mineral em diversos segmentos como cerâmica vermelha e de revestimentos, vidros, cimentos, entre outras. Em geral esses bens minerais são consumidos internamente, visto que o estado de São Paulo possui o maior conglomerado industrial nacional e da América do Sul. A geologia do estado também favorece esse contexto, onde as reservas de minerais metálicos são poucas e restritas, porém ocorrem várias jazidas em diferentes escalas de minerais industriais (CABRAL JR M. et al. 2008).

A partir dessa produção de minerais industriais para consumo no próprio estado de São Paulo, com transportes jazida consumidor geralmente em trajetos curtos, ocorre a formação de polos ou aglomerados produtivos, denominados de APL's (Arranjos Produtivos Locais de base Mineral). Como exemplo típico de APL temos alguns aglomerados minero-cerâmicos que correspondem a produção de argilas para cerâmica vermelha e revestimentos como porcelanato. O APL mais famoso nesse caso é o conglomerado cerâmico de Santa Gertrudes, no interior de São Paulo (CABRAL JR M. et al. 2008).

Nesse contexto temos uma importante participação das empresas mineradoras de argilas no Estado de São Paulo. Sendo esse estado brasileiro que mais produz, vende e consome essa substância. Através de empreendimentos majoritariamente de pequeno e médio porte (AMN, 2010).

3.2 ARGILAS: DEFINIÇÃO, ESTRUTURA E MINERALOGIA

O termo argila pode ser empregado em diversos sentidos, sendo usualmente usado para se referir a material esférico com granulometria menor que $>2\mu\text{m}$, ou material mineral contendo argilominerais. Porém também pode ser usado para designar a fração ativa do solo, material sedimentar fino, entre outros (GOMES, 1986).

A gênese de partículas argilosas está intimamente ligada ao intemperismo químico e físico de rochas ígneas, metamórficas e até sedimentares, quando expostas a superfície, em ambiente bem distinto de sua formação. O intemperismo acontece pela ação da água, vento, geleira, clima e etc. Essa influência nas condições superficiais da rocha causa reorganização química e física formando espécies minerais neoformadas, em equilíbrio com a atmosfera, que são as argilas (MEIRA, 2001).

Na natureza encontram-se materiais argilosos de origem sedimentar e residual, com maior presença de argilominerais, porém são constituídos de uma mistura desses com quartzo, feldspatos, mica, calcita e óxidos e hidróxidos diversos (Moreno, 2012).

As propriedades mais comuns em argilas segundo Meira, 2001 são:

- Superfície Específica: As argilas possuem elevada superfície específica, que é um fator importante para muitos usos e exprime o teor em fração argilosa, sendo fator fundamental para processos de capacidade de adsorção/dessorção.
- Capacidade de Troca Catiônica (CTC): Os argilominerais possuem a capacidade de Troca de Cátions na superfície exterior do cristal ou nos espaços entre camadas estruturais (alguns argilominerais possuem maior capacidade de troca que outros). Onde essa troca de cátions é resultado do desequilíbrio de cargas elétricas proporcionando substituições isomórficas, influenciando em algumas propriedades do material.
- Viscosidade: As argilas, em geral, ao adicionar água formam uma mistura que oferece resistência a fluência, evidenciando seu comportamento reológico. Porém esse parâmetro, como todos, é variável dependendo do argilomineral empregado.

- Plasticidade: A plasticidade de um material se refere a capacidade de mudança de forma de uma mistura de um certo material com água. As argilas em geral possuem características de plasticidade com deformação visível quando misturadas com certo volume de água e aplicação de forças.
- Endurecimento após secagem ou queima: Argilas (em geral) ao serem secas apresentam maior coesão e contração de volume, com possibilidade de formação de gretas ou rachaduras. Já argilas ou materiais cerâmicos após queima ou cozedura, apresentam reorganização de seus compostos minerais e estrutura cristalina, ocasionando em retrações, expansões e/ou formação de fases vítreas. Que costumam proporcionar certa resistência a peça.

Em termos geológicos visando rochas sedimentares formadas predominantemente de argilominerais, temos a terminologia “folhelho” que designa rochas com textura foliada de aspecto estratificado, e os “argilitos” que apresentam estrutura adensada dura e maciça. Existem também argilas mais friáveis ou menos adensadas, que geralmente são classificadas como sedimentos transportados e depositados (SANTOS, 1975).

Argilominerais são quimicamente considerados silicatos de alumínio hidratado com possibilidade de abrigar certo teor de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos como ferro, magnésio, cálcio, sódio e potássio. Possuindo estrutura cristalina fibrosa em forma de camadas lamelares (SANTOS & COELHO, 1988). Eles pertencem a classe dos minerais filossilicatos, sendo formados por folhas com arranjo de tetraedros de SiO_4 e octaedros de AlO_6 . Para os tetraedros o cátion principal é o Si^{4+} , podendo o Al^{3+} substituí-lo ou mais raramente o Fe^{3+} . Os octaedros são caracterizados pelo empacotamento de oxigênio em dois planos com cátion ocupando a parte central da folha, que em geral é o Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} ou Fe^{3+} (MOORE, 1989).

A estrutura cristalina dos argilominerais podem ser classificadas como camadas T-O ou T-O-T, sendo T a folha tetraédrica e a O a folha octaédrica (Figura 1). Onde a estrutura das argilas é uma repetição de folhas T-O ou T-O-T, ligadas através da força de Van der Waals, que são reconhecidamente mais fracas que as demais, ocasionando assim clivagem nesses planos e fácil deslizamento (DANA, 1969).

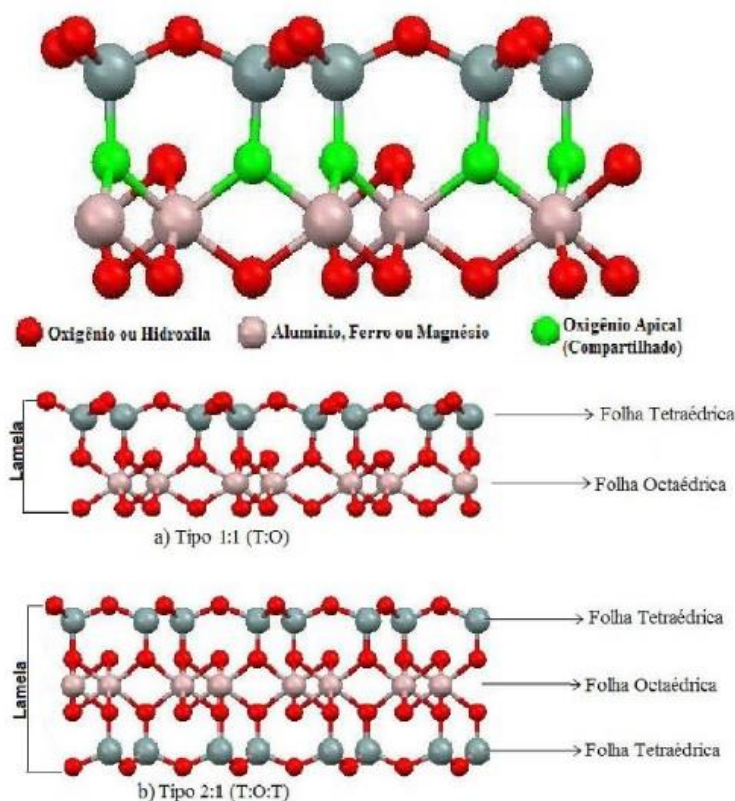


Figura 1 – Estrutura cristalina dos Argilominerais T-O e T-O-T. (ZATTA, 2010).

Os argilominerais possuem várias classificações em função das diferentes composições químicas, estruturas cristalinas e organização de celas unitárias, onde temos os principais grupos: caulinitas, lilitas, esmectitas, vermiculitas e cloritas. Nesse trabalho vamos abordar de maneira detalhada o grupo das caulinitas, esmectitas e lilitas.

A caulinita é o argilomineral do grupo dos filossilicatos que possui fórmula química geral $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, possuindo 3 polimorfos dickta, halloysita e nacrita. A estrutura da caulinita possui arranjo em camadas sobrepostas de composição T-O, ou seja, uma folha tetraédrica (T) e uma folha Octaédrica (O), que se repetem. A gênese da caulinita é secundária através de intemperismo de feldspatos e feldspatóides, podendo ter acúmulo por transporte e sedimentação ou residual (NAVARRO et al., 2017).

A lilita é um argilomineral do grupo dos filossilicatos que possui fórmula química geral $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$, onde seu nome é derivado do estado de Illinois nos EUA, local onde foi constatada a primeira ocorrência desse mineral. A estrutura das lilitas possui arranjo em camadas sobrepostas de composição T-O-T, ou seja, duas folhas tetraédricas (T) com uma folha Octaédrica (O) entre elas, que se repetem. Entre as camadas T-O-T temos átomos ou

moléculas em coordenação que unem as duas camadas, como o potássio (K^+), mas pode também ser outros átomos monovalentes (Na, Rb, Cs, etc...), e a molécula de água (H_2O). Nas ilitas temos uma maior quantidade de átomos monovalentes entre camadas em relação a moléculas de H_2O (NAVARRO et al., 2017). As propriedades mais importantes desse grupo são o caráter fortemente negativo, substituições isomórficas de Al^{+3} por Si^{+4} nos tetraedros, camadas de T-O-T ligadas mais fortemente, não expansivas e área superficial entre 70 – 175 m^2/g . No Brasil a principal ocorrência e exploração desse mineral ocorre na formação Corumbataí na bacia sedimentar do Paraná, onde são lavrados argilitos e folhelhos com alto teor de ilita.

A Esmectita ou Montmorilonita é um argilomineral do grupo dos filossilicatos que possui fórmula química geral de $(Na,Ca)_3(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$. A estrutura das esmectitas possui arranjo em camadas sobrepostas de composição T-O-T, ou seja, duas folhas tetraédricas (T) com uma folha Octaédrica (O) entre elas, que se repetem. Entre as camadas T-O-T temos átomos mono e bivalentes em menor quantidade que nas ilitas, e maior presença de moléculas de H_2O . Proporcionando um arranjo de menor empacotamento comparado com Ilitas e Caulinitas. Sua gênese é supergênea ou residual, com condições de baixa lixiviação e alcalinas, sendo produto de substituição de outros minerais em rochas e tufo vulcânicos e pegmatitos (NAVARRO et al., 2017). As propriedades mais importantes desse grupo são a alta CTC, capacidade de expandir, alta adsorção de cátions entre camadas com alta área superficial entre 650 – 800 m^2/g . A Bentonita é o grupo mineral mais famoso e importante das esmectitas, sendo usado em vários setores da economia.

3.3 ARGILAS: DEPÓSITOS E JAZIDAS

A geologia dos depósitos ou jazimentos de argilas para cerâmicas brancas ou vermelhas podem ser divididas em depósitos residuais e sedimentares. Os depósitos sedimentares podem ser divididos em formacionais e quaternários.

Os depósitos primários ou residuais são formados “*in situ*”, através da alteração da rocha por eventos intempéricos ou hidrotermais, que alteram a rocha mãe com lixiviação e formação de argilominerais (MOTTA et al., 1993). Em geral quando alteração ocorre em rochas graníticas ou pegmatíticas, temos a formação de argilominerais como caulinitas com presença de outros minerais como quartzo e muscovita. Quando a rocha mãe alterada é máfica, temos a formação de montmorilonitas e outros minerais secundários gerados por alteração dessas rochas (NAVARRO et al., 2017).

Os depósitos formacionais ou de bacias sedimentares, para o território brasileiro, possuem idades Paleozóicas ou Mesozóicas. Compreendendo grandes áreas que no passado foram bacias marinhas ou lacustres, onde houve deposição e acúmulo de sedimentos durante um longo período, formando pacotes argilosos de mais de 100 metros de espessura. Ao longo dos anos, com as mudanças geológicas, esses pacotes sofreram diagênese ou litificação, se tornando rochas compactas como argilitos, siltitos e folhelho de natureza pelítica, conhecidos popularmente como “Taguá” (CABRAL JR et al., 2005). Em relação as características químicas e mineralógicas desses depósitos, predominam os argilominerais do grupo das Iltas, com caulinitas acessórias, sendo ricos em óxidos de potássio e por vezes ferruginosos, facilitando a sinterização (fundentes) quando queimados. Outra característica importante de jazidas de argilas formacionais é o grande porte das reservas com pacotes profundos e contínuos com relativa homogeneidade. Apesar dessa certa homogeneidade existem variações nas fácies de granulometria e composição principalmente (MOTTA et al., 2004). Apesar de relativa homogeneidade das reservas de argila formacionais, existe uma diferença no perfil principalmente nos horizontes superficiais mais alterados, onde ocorre o intemperismo e lixiviação dos óxidos fundentes, podendo modificar as características tecnológicas com incremento de refratariedade e aumento de plasticidade (CABRAL JR et al., 2014). O nome popular dado para os horizontes superficiais em depósitos formacionais mais alterados são “Tagua mole” ou “Taguá fraco”, enquanto a rocha sã é denominada “Taguá forte” ou “Taguá duro”.

Os depósitos quaternários estão localizados em áreas propícias para o acúmulo recente (quaternário) de sedimentos argilosos detríticos transportados principalmente por rios e córregos. Essas áreas propícias são regiões de várzeas ou planícies costeiras, que são zonas saturadas de baixa energia com inundações periódicas que favorecem a deposição de argila (MOTTA et al., 2004). As jazidas minerais formadas por esses depósitos constituem material argiloso inconsolidado com composição mineralógica predominantemente caulinitica, com quantidades variáveis de quartzo. De forma subordinada pode-se encontrar nesses depósitos outros argilominerais, óxidos e micas (CABRAL JR et al., 2014). As argilas de depósitos quaternários apresentam em geral características de alta plasticidade, com conteúdo significativo de matéria orgânica, que incrementa a plasticidade desse material. Entretanto esses depósitos são texturalmente heterogêneos, podendo encontrar horizontes ou camadas menos plásticas devido a quantidade elevada de quartzo (MOTTA et al., 2004). As reservas de depósitos quaternários

são menores em relação aos formacionais, compreendendo áreas de dezenas de hectares com espessura de porte métrico (CABRAL JR et al., 2014).

3.4 ARGILAS: CLASSIFICAÇÃO INDUSTRIAL

As argilas podem ser aproveitadas em diversos setores da economia como em cosméticos, paisagismo, sondagem, remediação ambiental, entre outros. Esse minério é majoritariamente usado para confecção de peças cerâmicas, com a utilização de milhões de toneladas anualmente. Isso evidencia a heterogeneidade desse minério, com diferentes tipos que refletem características tecnológicas diferentes, revelando os possíveis aproveitamentos.

Assim as argilas são classificadas em 6 tipos segundo Souza Santos (1989) e Ruiz (1990); argilas plásticas (*ball clay*), argilas refratárias (*fire clay*), argilas descorantes (*terra fuller*), argilas comuns (*common clay*), bentonita e caulim (*china clay*). A seguir a descrição de cada uma delas:

- Argilas Comuns: São as argilas mais abundantes na natureza e geralmente são empregadas em produtos cerâmicos de menor valor econômico, como cerâmica vermelha (telhas, manilhas e tubos), cerâmica estrutural (blocos e tijolos) e revestimento vermelho. Esse grupo é bem heterogêneo, podendo se enquadrar em materiais sedimentares inconsolidados como argilas de várzea, ou rochas mais competentes como argilitos, siltitos e folhelhos. Em geral os argilominerais presentes são caulinita e illita predominantemente (RUIZ, 1990).
- Argilas Plásticas: São internacionalmente chamadas de argilas *ball clay*, devido a sua alta plasticidade, que quando lavradas podiam ser divididas em cubos que rolavam por gravidade até os locais de estoque/transporte, tomando formas arredondadas (MEIRA, 2001). Suas principais características são a plasticidade, granulometria extremamente fina, boa resistência, queima branca ou clara, presença significativa de matéria orgânica e majoritariamente cauliniticas com illita associada. Seu uso é atribuído principalmente na fabricação de louças de mesa, sanitários e porcelanas. Os depósitos são sedimentares do tipo quaternários.
- Argilas Refratárias: São argilas denominadas de *Fire Clay* ou *Flint Clay*, dependendo do seu conteúdo de Alumina e refratariedade (MEIRA, 2001). Sua principal característica é a resistência a altas temperaturas ocasionando na grande aceitação para o ramo cerâmico refratário, devido ao baixo custo comparado a outras matérias primas empregadas nesse fim (SADIK et al., 2014). Sua composição química é majoritariamente Al_2O_3 e SiO_2 , com

baixa porcentagem de óxidos fundentes que caracterizam sua alta refratariedade. Em relação aos depósitos, em geral são sedimentares com conteúdo significativo de matéria orgânica e mineralogia essencialmente caulinitica (ou polimorfos), com conteúdo variado de quartzo (TANNO et al., 2014).

- **Caulim:** Argila com alto conteúdo de caulinita e queima de cores claras, diferentemente das argilas plásticas possuem menor quantidade de matéria orgânica e conseqüente menor plasticidade (MOTTA et al., 1998). A formação desse material é ocasionada pela alteração ou intemperismo de rochas ricas em feldspato e micas, com depósitos residuais de alteração da rocha mãe “*in situ*”, ou sedimentar com transporte e acúmulo (MEIRA, 2001). As principais propriedades dessa substância para interesse industrial são a inércia química, alvura, baixa abrasão, baixa condutividade, boa dispersão em meio fluido, entre outras. O caulim pode ser empregado em diversos usos industriais, como enchimento ou carga em fabricas de papel, tintas, borracha e demais (SENNA J. A.,2003). Para indústrias cerâmicas o uso de caulim pode ser empregado em revestimentos como matérias primas de queima clara, porém custos de transporte podem inviabilizar o uso (MOTTA et al., 1998).
- **Bentonitas:** São argilas residuais provenientes de alteração de cinzas e tufos vulcânicos, com granulometria muito fina e propriedades expansiva ao contato com água e tixotropia. O nome bentonita é uma designação ou nomenclatura atribuída para materiais argilosos com gênese e uso comercial específico, com composição majoritariamente montmorilonítica ou esmectítica (MEIRA, 2001). Esse material pode ser empregado em vários setores econômicos, como em lama de sondagem para atribuir viscosidade ao fluido e aglomerantes em processo de pelletização de minério de ferro (SENNA J. A.,2003). Nem todas as bentonitas são expansivas e possuem propriedades tixotrópicas, havendo duas variedades com diferentes características tecnológicas e químicas. As bentonitas sódicas são as que incham na presença de água, e as cálcicas ou magnesianas não incham, sendo usadas após tratamento prévio como material descorante (SENNA J. A., 2003).
- **Argilas Descorantes:** Também denominadas de *Terra Fuller*, é uma argila majoritariamente montmorilonítica ou esmectitas com estrutura em camada de illita-montmorilonita e clorita-montmorilonita. O termo descorante possui significado histórico que se refere as argilas com capacidade de absorver corantes, óleos e gorduras (MEIRA, 2001). As argilas desse grupo já possuem naturalmente propriedades interessantes para o uso pretendido como

alta CTC e área superficial específica, porém uma boa quantidade das argilas empregadas, principalmente para absorção de óleo, passam por tratamento ácido para ativação com incremento das propriedades de interesse (J. S. PATRICIO ET AL, 2014).

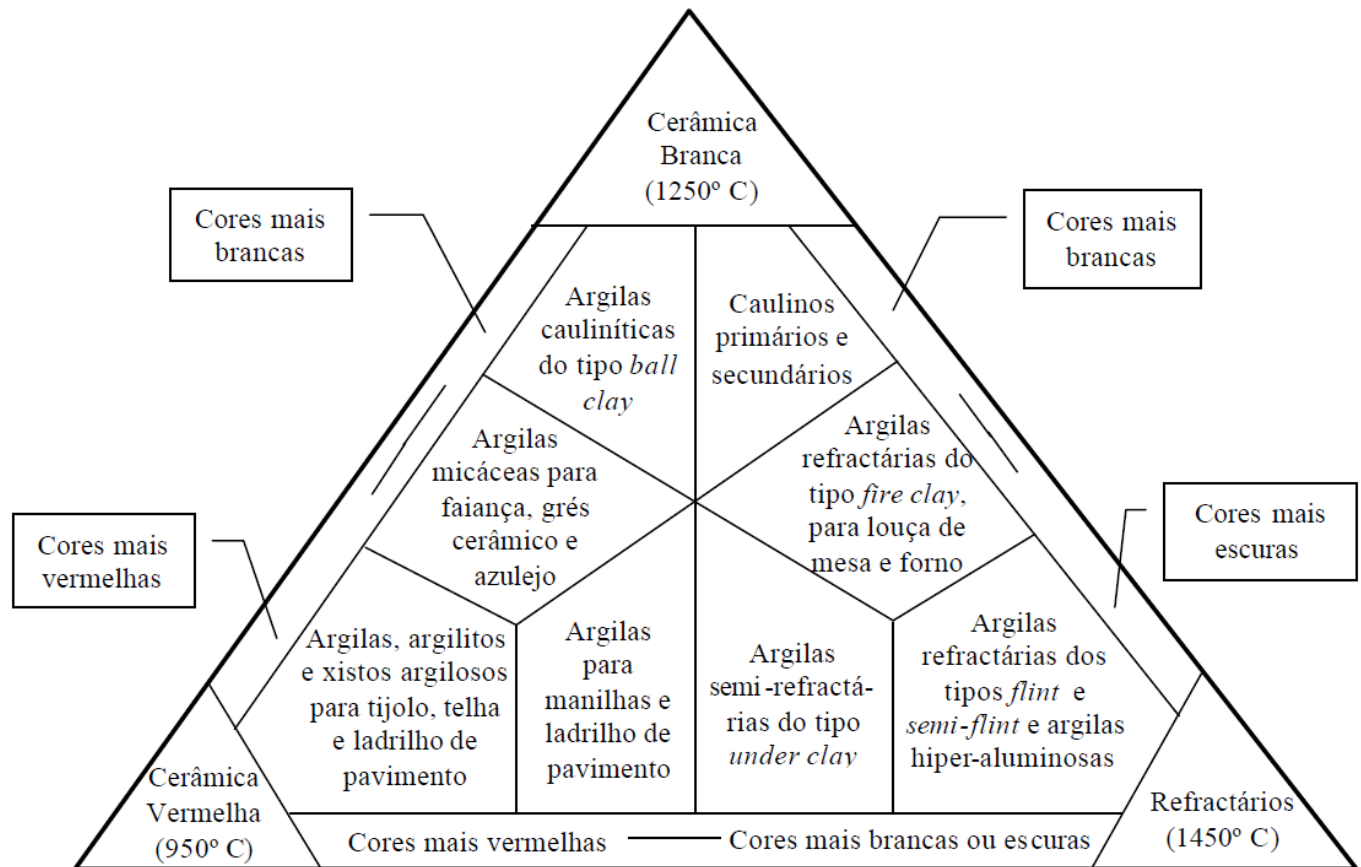


Figura 2 – Classificação das Argilas para Uso Cerâmico (MEIRA, 2001).

3.5 CERÂMICA DE REVESTIMENTOS

Em um sentido mais amplo, entende-se cerâmica tanto por um produto como por um processo industrial. Para Kingery, cerâmica é “a arte e ciência de fazer e usar artigos sólidos, que tem como seu componente essencial materiais inorgânicos e não metálicos.

A Cerâmica pode ser dividida em tradicional e avançada. A cerâmica tradicional utiliza como matéria prima substâncias minerais com pouco ou sem beneficiamento e pureza variável, como as argilas. Em seu processamento incluem principalmente etapas de conformação como prensagem e extrusão, seguido por uma queima objetivando o adensamento da peça final. Por outro lado, a cerâmica avançada, também conhecida como de alto desempenho na engenharia,

se utiliza de matérias primas sintetizadas ou de alta pureza que passaram por processos de beneficiamento diversos. As técnicas utilizadas são bem mais sofisticadas e tecnológicas com maior controle dos procedimentos de conformação e queima, dando maior valor agregado as peças finais (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Dentro da Cerâmica Tradicional temos o ramo da cerâmica vermelha ou estrutural, para confecção de tijolos, blocos, manilhas e telhas; o ramo da cerâmica branca para confecção de louças, porcelanas, sanitários e pias; e o ramo da cerâmica de revestimento para confecção de pisos e azulejos.

A cerâmica de Revestimento por sua vez também pode ser dividida quanto a cor e processamento industrial. Assim temos a cerâmica de revestimento vermelha com moagem via seca e a cerâmica de revestimento branca ou de moagem via úmida (Figura 3). As cerâmicas de revestimento via úmida são realizadas pelo emprego de várias substâncias minerais diferentes onde ocorre a mistura e homogeneização através da dosagem em um moinho de bolas em meio aquoso. Os processos posteriores após a formação da barbotina (polpa cerâmica resultante da moagem) são a atomização onde ocorre a secagem, conformação através de prensagem, impermeabilização com o emprego de engobe e esmalte, decoração, e por último a queima e retífica da peça. Para a cerâmica de revestimentos via seca é utilizado apenas argilas de queima vermelha, onde após o procedimento de lavra ocorre a secagem e moagem seca. Após a moagem se tem o pó que passa pelos processos subsequentes de conformação e queima (MOTTA et al., 1998). A grande diferença entre os produtos via úmida e seca é diferença da cor da base do piso ou azulejo, e a máxima absorção de água da peça, onde a cerâmica de revestimento via úmida possui peças com menor absorção de água e cores mais claras.

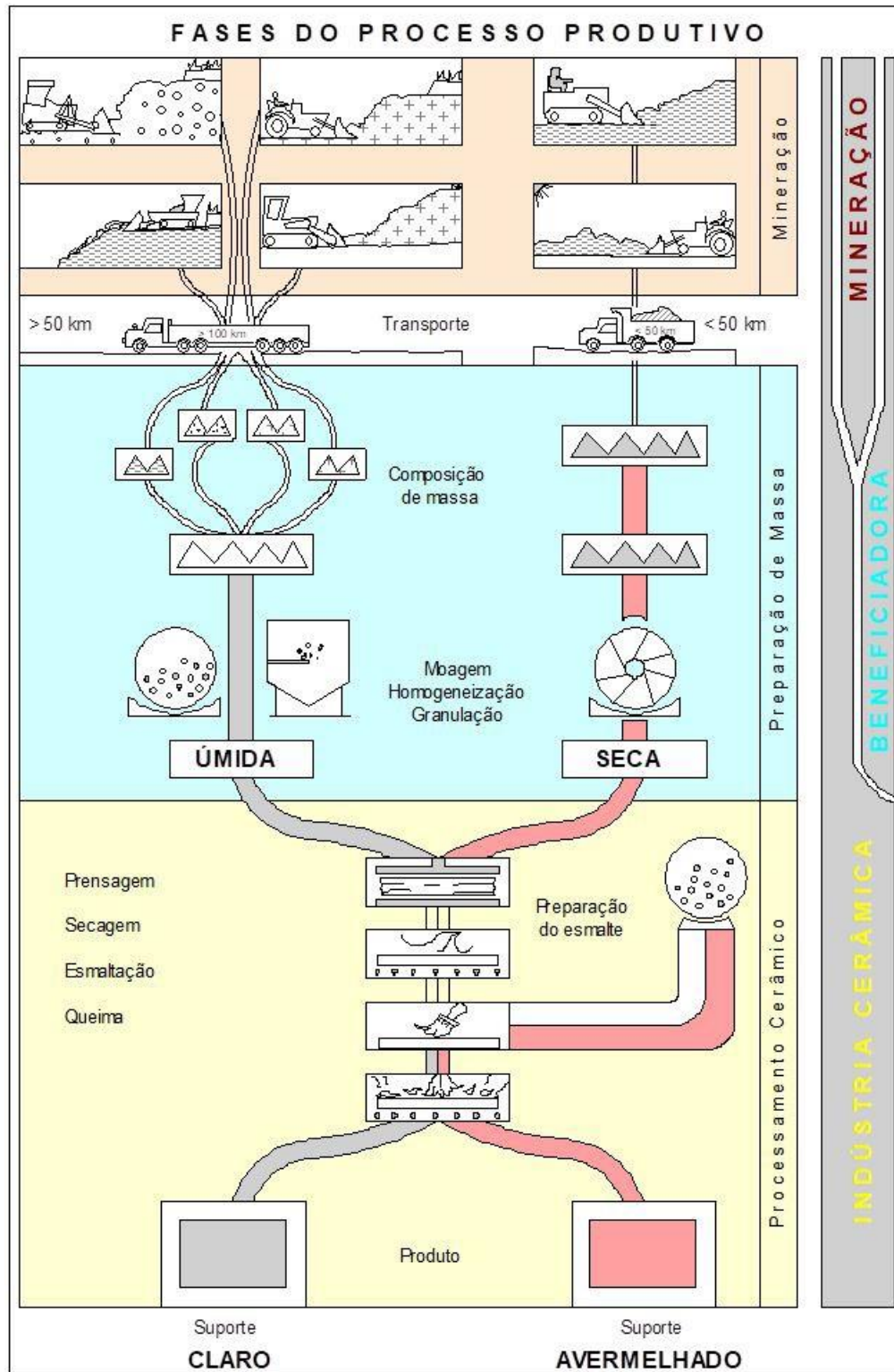


Figura 3 - Fases do processo Produtivo Cerâmico via Úmida e Seca (CABRAL JR et al., 2005).

Segundo a NBR 13818:1997 as placas cerâmicas podem ser classificadas através do acabamento de sua superfície em esmaltadas ou não; quanto ao método de fabricação em extrudadas (A), prensadas (B), e outras (C); e características físicas e químicas como a propriedade de absorção de água. Esta propriedade está diretamente relacionada a porosidade e resistência mecânica da peça, e classifica os revestimentos em Porcelanato, Grês, Semigrês, Semiporoso e Poroso (azulejo), da maior para a menor absorção respectivamente. A Tabela 1 exemplifica a classificação de revestimentos através do valor da absorção.

Tabela 1 – Tipologias de Placa Cerâmica (CABRAL JR et. al 2019).

Grupo	Absorção de Água (%)	Aplicações Residenciais
BIa	0,0 - 0,5	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Porcelanato)
BIb	0,5 - 3,0	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Grês)
BIIa	3,0 - 6,0	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semigrês)
BIIb	6,0 - 10	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semiporoso)
BIII	> 10	Paredes (Monoporosa / Azulejo)

A diferença dos materiais classificados através da absorção também reflete diferenças no processo industrial, como modo e tempo de queima, matérias primas empregadas e principalmente na aplicação da peça.

O parque industrial brasileiro de revestimentos cerâmicos engloba cerca de 90 empresas, com uma centena de plantas industriais e capacidade instalada de 1.050 milhões de m²/ano em 2016. Possui seus principais polos industriais situados no sul e sudeste do Brasil, com franca expansão no Nordeste (CABRAL JR et al., 2019). A produção nacional de revestimentos

abastece principalmente o mercado nacional, com exportação discreta não passando dos 5% produzidos (MOTTA et al., 1998).

3.6 PORCELANATOS

Segundo a NBR 15463 de 2013, Porcelanato é a placa cerâmica para revestimentos com baixa porosidade e elevado desempenho técnico, podendo ser esmaltada ou não, polida ou natural e retificada ou não. O porcelanato também pode ser denominado de grês porcelanato, a nomenclatura grês vem de materiais cerâmicos com estrutura compacta, sua composição é geralmente constituída de uma fase cristalina imersa em uma matriz vítrea predominante, com aproximadamente 55-65% de uma matriz vítrea, 20-25% de quartzo e 12-16% de mulita (J. A. BAUCIA et al., 2010).

O processo produtivo do porcelanato segue em geral as etapas de produção de um revestimento com moagem via úmida, com diferenças principalmente nas matérias primas empregadas e no tempo e temperatura de queima. Para porcelanatos temos a temperatura de queima variando de 1.180 a 1.230 °C, com ciclos rápidos de 50 a 70 minutos. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015). A Figura 4 mostra o fluxograma básico do processo produtivo de porcelanato.

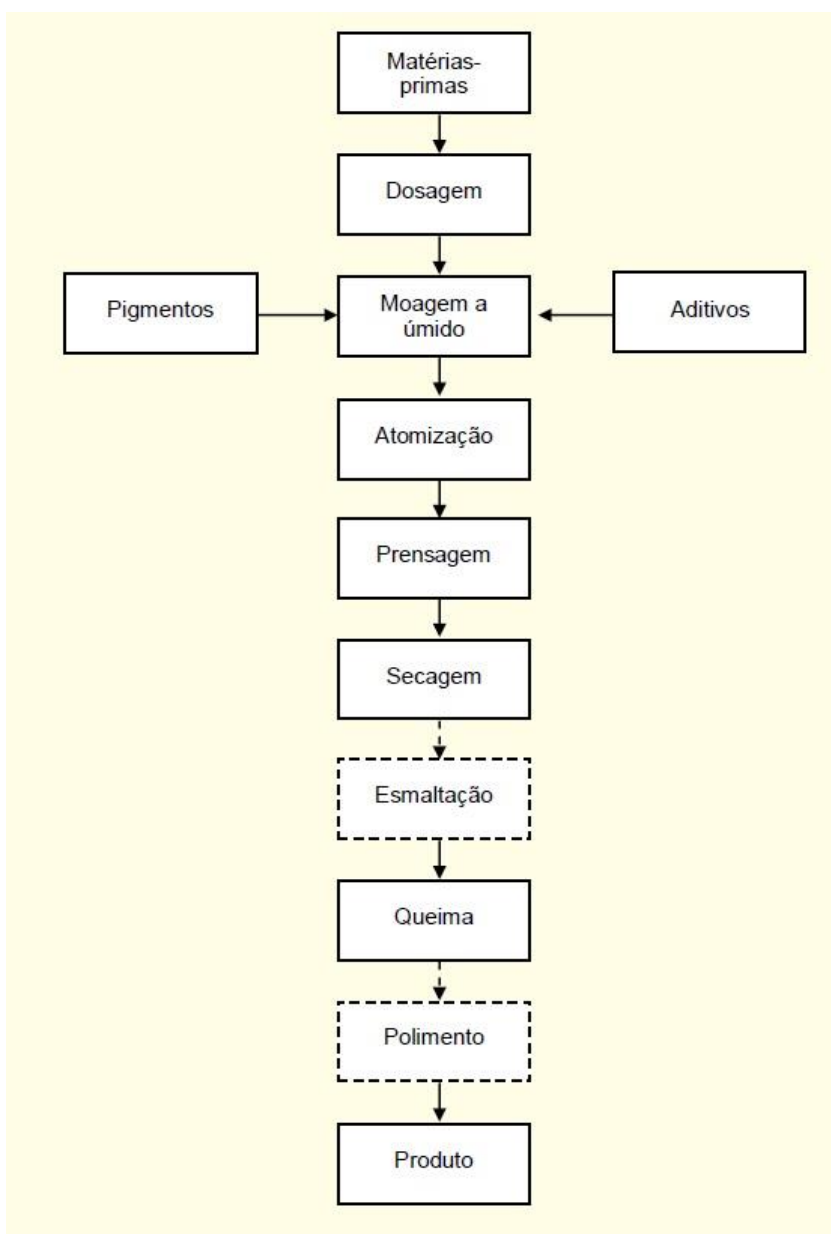


Figura 4 – Processo produtivo e industrial de Porcelanatos (OLIVEIRA; HOTZA, 2015)

Entre as características técnicas mais importantes para o emprego do porcelanato no mercado, são a alta resistência mecânica, química e ao congelamento, dureza superficial, isolamento elétrico e resistência a compressão (A. M. RODRIGUEZ, 2004).

Na última década o mercado brasileiro de revestimentos seguiu uma tendência de especialização e concentração em 2 produtos, o porcelanato por via úmida e as placas semiporosas por via seca (CABRAL JR et al., 2019). A figura 5 mostra a produção brasileira de

revestimentos via úmida e seca dos anos de 2011 até 2017, podendo observar o crescimento ao longo dos anos da produção de porcelanatos.

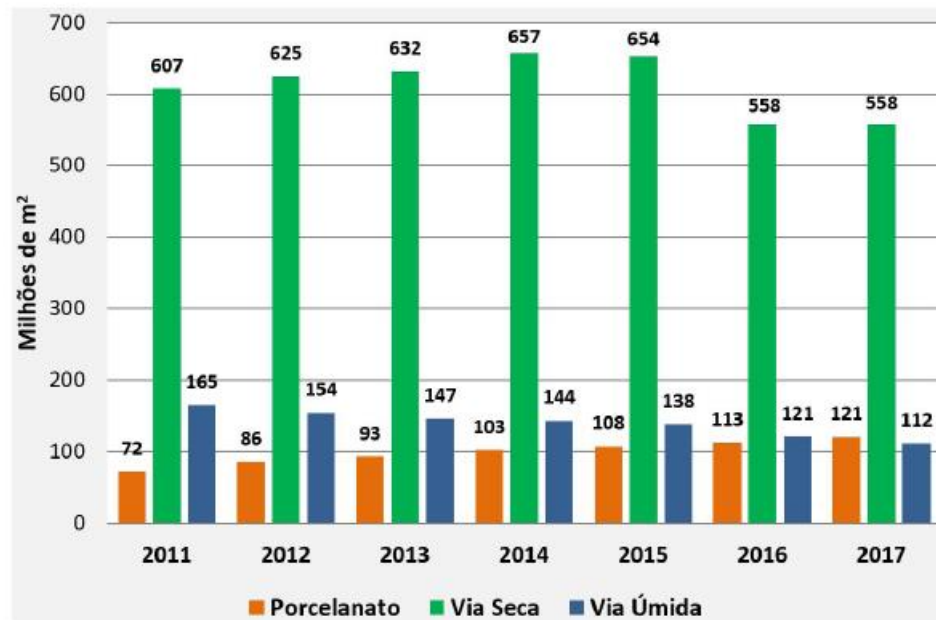


Figura 5 – Produção do Mercado Brasileiro de Revestimentos Cerâmicos de 2011 - 2017 (CABRAL JR et al., 2019).

3.7 MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS EM PORCELANATOS

Diferente da cerâmica via seca, em porcelanatos o emprego das matérias primas para formação da massa é mais rigoroso, buscando-se apresentar cor clara na base da placa e boa sinterização em condições de queima rápida (CABRAL JR et al., 2019). Para isso são utilizadas diversas matérias primas em quantidades diferentes (dosagem), visto que não existe apenas um material que possa acrescentar todas as características necessárias para a peça.

Em geral as matérias primas empregadas na confecção da massa de porcelanatos se dividem em plásticas, como as argilas, e não plásticas como fundentes, inertes e etc. A argila tem como função conferir características plásticas a verde auxiliando na compactação, resistência mecânica e ao transporte, porém também confere cor de queima clara e aumenta o teor de alumina para formação de mulita. As matérias primas fundentes utilizadas são em geral feldspatos ou feldspatóides e filitos, e possuem a função de facilitar a sinterização causando a densificação e resistência mecânica do material (OLIVEIRA; HOTZA, 2015). O emprego das matérias primas fundentes em porcelanato é restrito para materiais com alto teor de Fe_2O_3 e TiO_2 , pois tais óxidos conferem cor escura ou vermelha a peça, diminuindo o valor de mercado

(OLIVEIRA; HOTZA, 2015). Assim materiais com maior concentrações de óxidos fundentes como K_2O e Na_2O , que não conferem cores escuras ou vermelhas para a peça, são mais requisitados. Ampliando o mercado para o uso de filitos e outros materiais fundentes, com jazidas mais próximas à indústria e com menor custo de cominuição (britagem).

Para a fabricação do porcelanato, a mistura de matérias-primas utilizadas caracteriza-se por serem compostas por uma porcentagem variável de 30-50% em peso de caulim e/ou argilas e uma proporção similar à anterior de feldspato sódico/potássico. São utilizados ainda, para a preparação da massa, outros tipos de matérias-primas, em uma escala menor, tais como a areia (fonte de quartzo), argila bentonítica, talco, entre outros, para se conseguir atingir determinadas propriedades do produto, ou facilitar as etapas de processamento (J. A. BAUCIA et al., 2010).

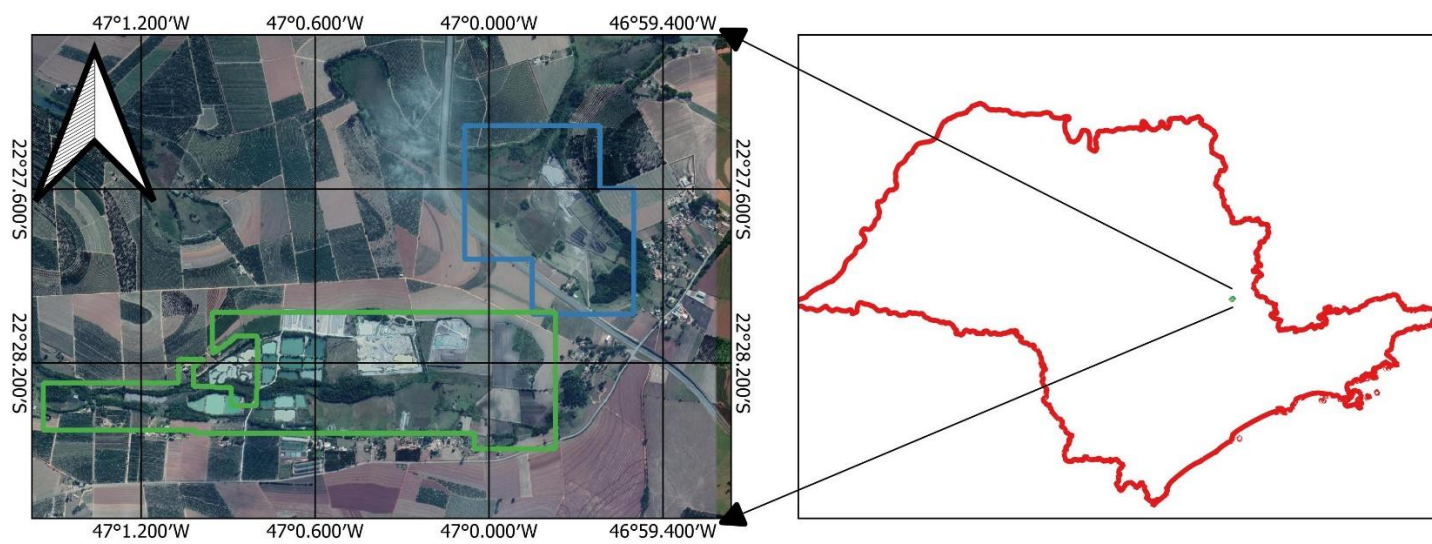
4. CARACTERIZAÇÃO MINAS PITEIRAS E TANQUINHO

4.1 LOCALIZAÇÃO

As minas estão localizadas no município de Mogi Mirim/SP em sua zona rural, próximo da Rodovia Agricultores ou MMR-347, estrada que liga os municípios de Mogi Mirim e Artur Nogueira no estado de São Paulo.

A duas minas estão próximas, porém a infraestrutura utilizada na produção do minério fica na Mina Piteiras. A Figura 6 mostra a localização das Minas Piteiras e Tanquinho em relação ao Estado de São Paulo. A Figura 7 mostra em uma imagem de satélite as minas com a identificação das frentes de lavras e infraestruturas utilizadas. A distância entre a frente de lavra da mina Piteiras até o Pátio é de 1,05 Km, enquanto que a distância da frente da mina Tanquinho até o pátio é de 5,07 Km.

Mapa de Localização - Minas Piteiras e Tanquinho



Legenda

- Mina Piteiras
- Mina Tanquinho
- Estado de São Paulo

Base: Google Satélites

Escala - 1:25.000

0 250 500 750 1.000 m



Observação: Mapa de Localização das Minas Piteiras e Tanquinho, Localizadas no Município de Mogi Mirim/SP.

Figura 6 - Mapa de Localização das Poligonais das Minas Piteiras e Tanquinho. Coordenadas Geográficas Datum Sirgas 2000. Fonte: Autor (QGIS).



Figura 7 - Imagem de Satélite com as distâncias das frentes em relação à infraestrutura.

4.2 PROCESSO PRODUTIVO

As duas minas encontram-se em operação com produção, principalmente, de argila para uso em cerâmica de revestimentos. Como o minério possui característica friável ou pouco compacta e de baixa profundidade, o desmonte é realizado sem o uso de explosivos. O método de lavra adotado na Mina Piteiras é a Céu Aberto, utilizando a técnica de lavra em tiras (*Strip Mining*). Esse método é o mais utilizado em jazidas horizontais com pouca espessura de capeamento e baixa profundidade do jazimento, características comuns em lavras localizadas em várzea que em geral apresentam cavas pouco profundas.

O processo produtivo na mina acontece em diferentes etapas, sendo a primeira denominada decapeamento. No decapeamento acontece a remoção da camada capeante ao minério para se atingir a profundidade mineralizada. O capeamento em geral é constituído de solo orgânico e uma camada de material argiloso e arenoso com muita matéria orgânica (estéril). O decapeamento sempre deve estar adiantado em relação lavra do minério, para não prejudicar a logística de produção na mina. Para o decapeamento é utilizada a escavadeira hidráulica para remoção do material, que já carrega os caminhões basculantes que transportam internamente o material estéril para as pilhas ou leiras provisórias de estoque. Esse material é reutilizado no próprio empreendimento como substrato para locais de reflorestamento, no caso do solo orgânico, ou como aterro no reafeiçoamento topográfico de cavas exauridas.

A próxima etapa do processo produtivo da mina é a lavra do minério propriamente dito, que utiliza os mesmos veículos e máquinas utilizados no decapeamento para escarificação, desmonte e transporte do minério. Ocorrendo de maneira seletiva, tentando separar as camadas dos diferentes tipos de argilas presentes nas frentes de lavra, para posterior blendagem. O avanço da lavra do minério em geral se inicia da cota mais baixa do terreno em direção a mais alta, evitando o acúmulo de água na cava. Os tipos de argilas extraídas são armazenados provisoriamente nas pilhas pulmão ou espalhados diretamente no pátio. O processo de confecção do lote final é realizado após a deposição de pequenas e finas leiras dos diferentes minérios que compõe cada blend, para secagem e cominuição através de tratores dotados de lâmina rotativa, que trituram os minérios nas leiras diminuindo sua granulometria e facilitando a mistura. Por último acontece a formação do lote e blendagem onde uma pá carregadeira ou trator esteira, empurram as pequenas leiras no sentido paralelo, para acúmulo, e posterior perpendicular, formando a pilha do lote final e conseqüente blendagem e homogeneização (figura 8).



Figura 8 – A: Blendagem e formação do lote final de minério, notar minérios distintos presentes nas pequenas leiras para formação da mistura. B: Trator com enxada rotativa acoplada, usado para cominuição do minério bruto.

Fluxograma do Processo Produtivo das Minas Piteiras e Tanquinho

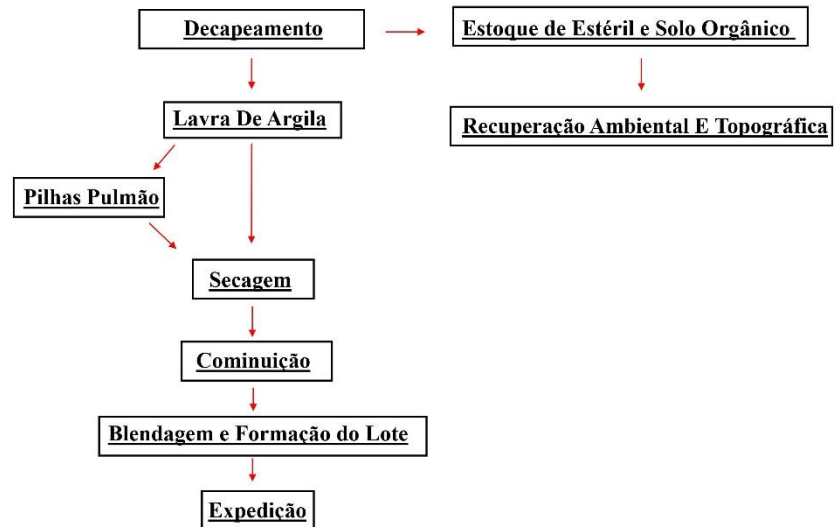


Figura 9 - Fluxograma Produtivo das Minas.

4.3 FRENTES DE LAVRA E TIPOS DE MINÉRIOS

Atualmente existem duas frentes de lavra em operação, uma situada na mina Piteiras e outra na mina Tanquinho. O minério presente nessas minas são argilas provenientes de depósitos sedimentares quaternários em regiões de várzeas de drenagens, onde houve pouca energia de transporte e deposição argilosa. A jazida em geral é de baixa profundidade e reserva, comparado a jazidas de argilas formacionais. O perfil estratigráfico das frentes de lavra seguem uma tendência semelhante à depósitos quaternários, com um capeamento de solo orgânico e material areno-argiloso com muita M.O (estéril), seguido por uma camada de argila refratária de cor clara variegada pouco plástica e com alta quantidade de areia, e por fim mais profundo uma camada de argila plástica de cor mais escura (maior teor de M.O). Entre as camadas de argila, principalmente na frente da mina piteiras, existe uma fina camada de turfa, provavelmente indicando um hiato de deposição terrígena. Essa camada orgânica entre as argilas é individualizada durante a lavra e destinada para a pilha de solo orgânico, evitando a ocorrência de contaminação de M.O ao minério.

Assim a Argila A seria a primeira camada após o decapeamento na frente de lavra da Mina Piteiras, e a Argila B a camada imediatamente mais profunda, ocorrendo uma fina camada orgânica entre elas. Na frente de lavra na Mina Tanquinho ocorre semelhante, sendo a Argila T, a segunda camada de argila mais plástica e de cor escura, com uma primeira camada mais refratária de cor mais clara com alto teor de resíduo (quartzo), por cima. Apesar desta tendência parecida dos minérios de ambas as minas, existem diferenças sensíveis de características primordiais para o aproveitamento cerâmico das argilas A, B e T, mostradas nos próximos tópicos deste trabalho. A figura 10 mostra as duas frentes de lavras com a variação horizontal das camadas.

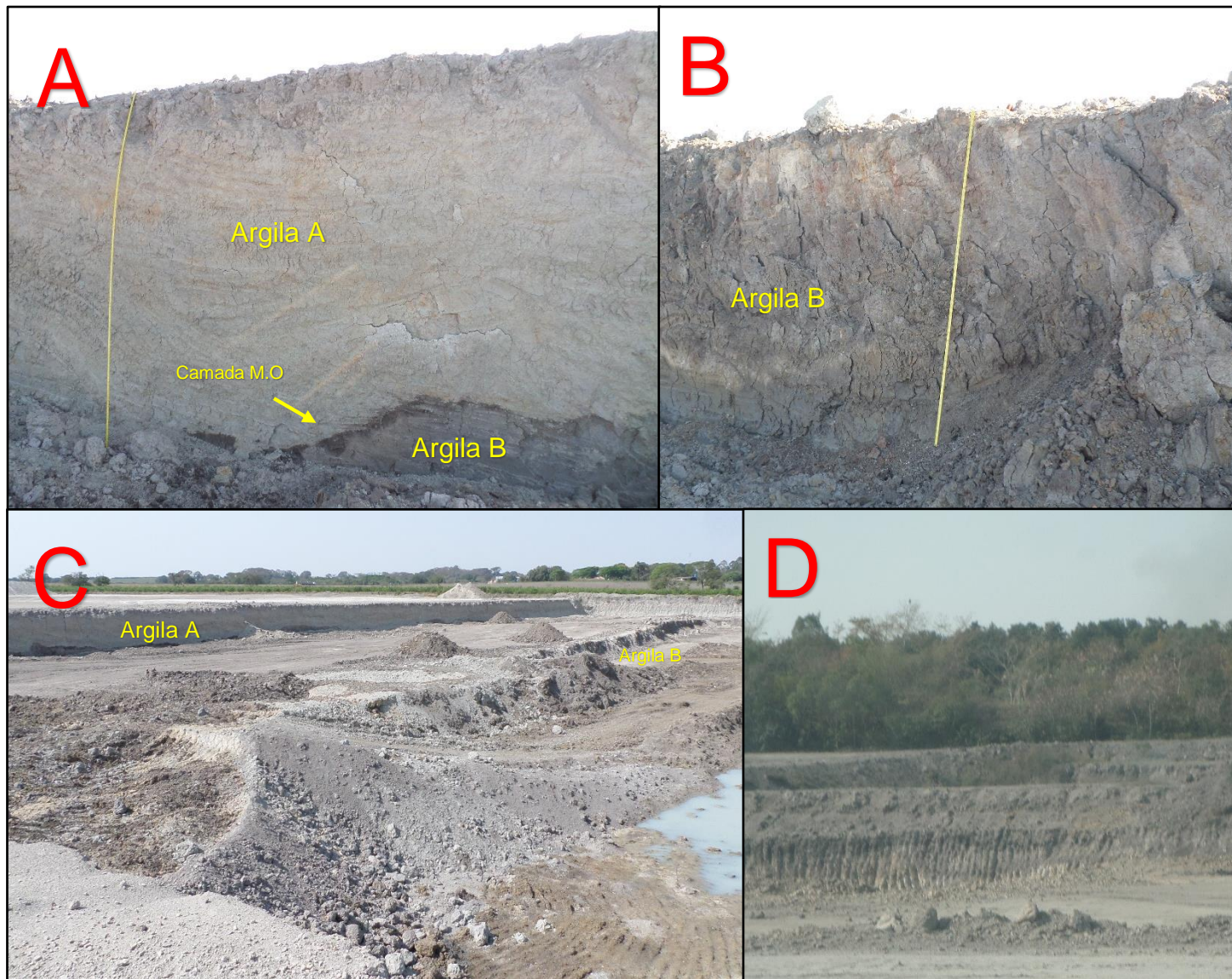


Figura 10 – **A**: Primeira bancada da frente de lavra da Mina Piteiras com a indicação das Argilas A, B e a fina camada orgânica entre elas. **B**: Bancada mais profunda da frente lavra da Mina Piteiras com a indicação da Argila B. **C**: Frente de Lavra da Mina Piteiras mostrando a disposição horizontal com a diferentes camadas de minério. **D**: Frente de Lavra da Mina Tanquinho.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo o objetivo proposto nesse trabalho foram executadas amostragens nos minérios brutos das Argilas A, B e T nas frentes de lavras ou pilhas pulmão, e das 2 pilhas de lotes blendados na composição 1 (20% A + 80% T) e 2 (20% A + 50% T + 30% B). Em seguida foram elaborados ensaios físicos nos minérios brutos A, B e T, e nos matérias blendados de composição 1 e 2. Ambos os testes realizados quantificam parâmetros importantes para seu aproveitamento como matéria prima em porcelanato e revestimentos diversos.

Para determinação das propriedades tecnológicas físicas, foram confeccionados corpos-de-prova circulares para cada amostra coletada, que foram secos em estufa até peso constante, e queimados em forno mufla de laboratório. O resfriamento foi realizado por convecção natural, desligando-se o forno. As propriedades tecnológicas determinadas foram: resíduo, densidade aparente, absorção de água, retração linear, resistência mecânica a flexão e cor de queima. A metodologia dos ensaios físicos e sua condição de processamento estão em tópicos posteriores.

5.1 AMOSTRAGEM

As amostragens dos minérios brutos A, B e T, ocorreu através da coleta de pilhas pulmão ou frentes de lavra (figura 11). Para a coleta das pilhas pulmão (Argila A e T) foram realizadas amostragens sistemáticas ao longo das leiras pulmão de forma uniformemente espaçada, onde uma pá carregadeira ajudou na homogeneização e coleta de material de toda a altura da leira. Na amostragem da frente de lavra (Argila B) foram feitas intervenções com a escavadeira ao longo da frente da lavra originando uma série de amostras também espessadas uniformemente. As amostras analisadas, foram elaboradas com a homogeneização e quarteamento das amostras coletadas em campo, para formar amostras de cada material (A, B e T), enviadas para preparação e análises por parâmetros físicos.

Para a amostragem das leiras dos *blends* de composição 1 e 2, foram feitas coletas nos mesmos moldes das pilhas pulmão. E as amostras analisadas também foram homogeneizadas, quarteadas e enviadas para testes de ensaios físicos.

A metodologia empregada na amostragem contribui para tomar amostras representativas do material, utilizando os métodos praticados por várias indústrias cerâmicas ou laboratórios credenciados de caracterização.



Figura 11 - **A**: Leira pulmão de Argila T; **B**: Amostragem da Argila B ao longo da Frente de Lavra; **C**: Leira pulmão de Argila A, as setas indicam locais de amostragem uniformemente espaçados ao longo da leira.

5.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

- **Determinação do resíduo bruto** – Determinação do material retido em peneira #200 mesh (abertura de 0,075 mm), por meio de peneiramento via úmido. O resultado é expresso em percentual.
- **Determinação da densidade aparente a seco** - Ensaio realizado por imersão em mercúrio de corpos-de-prova secos em estufa entre 100 e 110 °C.

- **Determinação da resistência mecânica à flexão a seco** - Determinação da resistência mecânica à flexão em 3 pontos, de corpos-de-prova secos em estufa entre 100 e 110 °C. Ensaio realizado com equipamento Flexímetro Nanneti Modelo FM/96.
- **Determinação da retração pós-queima** - Determinação da variação das dimensões dos corpos de prova, provocada pela sinterização. Ensaio realizado com paquímetro digital.
- **Determinação da absorção de água** - Determinação do percentual de água absorvido por corpos-de-prova sinterizados, quando submetidos ao deprimômetro.
- **Determinação da densidade aparente pós-queima** - Ensaio realizado por imersão ao mercúrio de corpos-de-prova sinterizados.
- **Determinação da cor de queima (coordenadas colorimétricas)** - Determinação das coordenadas colorimétricas no espaço CIE L*a*b* de corpos-de-prova sinterizados, utilizando equipamento Espectrofotômetro CM-2500d, marca Konica Minolta.

5.3 CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

- Sistema de moagem: via úmida;
- Resíduo de moagem (%): 0,2 a 0,3 #325;
- Umidade (%): 7,0 de água;
- Pressão específica de prensagem (kgf/cm²): 350;
- Queima: em forno contínuo de laboratório; ciclo 51 minutos; Temperatura 1200 °C

6. RESULTADOS

6.1 MINÉRIOS BRUTOS (A, B e T)

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios físicos para os minérios brutos ou Argilas A, B e T. A figura 12 mostra os corpos de prova elaborados a partir do material das Argilas A, B e T, pode-se perceber a diferença entre a cor pós queima dos materiais nas condições efetuadas no ensaio.

Tabela 2 - Resultado dos ensaios tecnológicos físicos das Argilas A, B e T.

Resultado Físicos para Argilas A, B e T									
	Resíduo bruto #200 (%)	Dap seco (g/cm ³)	RMF seco (kgf/cm ²)	1200°C			Coordenadas Colorimétricas		
				RL (%)	Aa (%)	Dap Q.(g/cm ³)	Branco	Vermelho	Amarelo
Argila A	17,06	1,964	34,02	3,39	10,62	2,052	84,5	3,08	14,61
Argila B	6,23	1,865	36,46	9,15	5,46	2,317	65,63	10,04	29,08
Argila T	0,14	1,842	30,93	10,58	3,78	2,395	82,24	2,84	18,87



Figura 12 - Corpos de Prova queimados das Argilas A, B e T.

6.2 BLENDS

A Tabela 3 mostra as médias dos resultados dos ensaios físicos para os *blends* de composição 1 e 2. A figura 13 mostra os corpos de prova elaborados a partir da amostra dos *blends*, pode-se perceber a diferença entre a cor após queima dos materiais nas condições efetuadas no ensaio.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios tecnológicos físicos para os materiais blendados.

Resultado Físico para os materiais Blendados									
	Resíduo bruto #200 (%)	Dap seco (g/cm ³)	RMF seco (kgf/cm ²)	1200°C			Coordenadas Colorimétricas		
				RL (%)	Aa (%)	Dap Q.(g/cm ³)	Branco	Vermelho	Amarelo
Blend 1	9,38	1,887	30,07	6,17	8,68	2,128	80,79	4,51	18,49
Blend 2	12,97	1,852	25,35	6,66	9,08	2,113	77,95	5,56	22,45

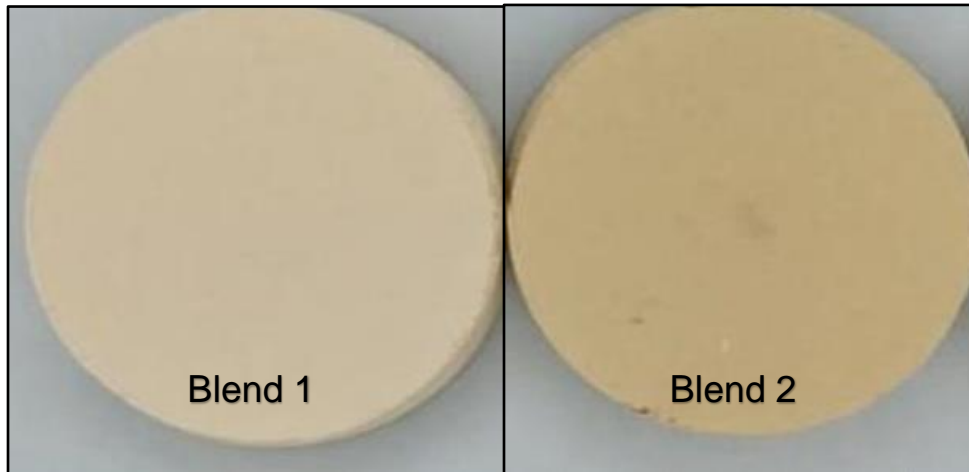


Figura 13 - Corpos de Prova queimados dos Blends de Composição 1 e 2

7. DISCUSSÃO

Para a Argila A percebe-se que ela possui porcentagem maior de resíduo bruto livre que os outros materiais, esse fato se deve devido ao alto conteúdo de quartzo presente nessa argila, e perceptível ao tato e olho nu. Essa característica influencia no parâmetro de retração linear, que para Argila A, é menor que os outros materiais, pois o quartzo constitui material refratário que dificulta a retração pós queima. A absorção segue a mesma tendência, onde maiores valores de absorção representam menores retrações lineares, com maior porosidade e menor compactação da peça. Pela figura 12 e coordenadas colorimétricas, percebe-se que a Argila A possui cor pós queima bem clara, devido principalmente a falta ou baixo teor de óxidos de ferro e titânio, porém não temos análises químicas para máxima clareza a respeito.

A Argila T, assim como a Argila A, possui cor de queima clara evidenciada pelas coordenadas colorimétricas e figura 12. Porém diferentemente, possui resíduo livre muito baixo, devido à baixa quantidade de quartzo ou areia em sua composição, o que pode representar maior plasticidade do material e maior presença de M.O, porém faltam análises para comprovar tal fato. A menor quantidade de resíduo reflete na sua retração linear mais alta e menor absorção em relação a argila A.

A argila B possui valor de resíduo livre intermediário entre os outros matérias, o que influencia em uma retração mais baixa e absorção mais alta em relação a argila T. Com provável quantidade de quartzo maior que na argila T, mas menor que no argila A. Porém o parâmetro que

mais se diferencia das outras argilas é que a argila B possui cor de queima mais amarelada (figura 11).

O parâmetro de densidade a verde é bem parecido para as argilas A, B e T, devido talvez a mesma gênese de argilas quaternárias sedimentares (várzea). Já para os valores de densidade pós queima, os materiais mais refratários são menos densos, e possuem maior absorção. Seguindo uma tendência já apontada.

Os resultados para os *blends* de composição 1 e 2 (tabela 3) mostrou materiais bem semelhantes em relação a parâmetros como densidade a verde e pós queima, retração linear e absorção. Porém possuem diferenças significativas em relação a porcentagem de resíduo livre maior e cor de queima mais escura e amarelada (figura 13), na composição 2. Tal fato deve-se ao incremento de 30 % da argila B ao *blend* de composição 2 (20 % A + 50 % T + 30 % B), pois a argila B apresenta cor de queima mais amarelada e maior resíduo livre em relação a Argila T. Visto que a porcentagem da argila A nos dois *blends* é igual (20 %), e a diferença entre as composições 1 e 2 dos *blends* é a diminuição da Argila T na composição 1, de 80% para 50%, e o incremento da Argila B na composição 2 em 30%.

8. CONCLUSÕES

A partir dos resultados expostos e discutidos em tópicos anteriores, fica claro que uma substituição por completo da argila T pela B não é possível, devido principalmente a diferença de características físicas entre elas. Porém a incorporação da Argila B ao *blend* de composição 2, em substituição da Argila T em 30%, mostrou resultados semelhantes para vários parâmetros físicos em relação ao *blend* de composição 1, já testado e estabelecido no mercado. Apesar de diferenças significativas de cor de queima e porcentagem de resíduo livre.

Assim a substituição do *blend* de composição 1 pelo de composição 2, é possível. Porém demanda mais estudos e análises, como ensaios para determinação de plasticidade, M.O e composição química e mineralógica. O teste ou ensaio de proporção industrial também é bem relevante, e até imprescindível. Pois assim pode-se analisar se o lote do *blend* de composição 2 vai atender as necessidades da indústria cerâmica, com o emprego deste em ambiente industrial produtivo com grande quantidade de material (toneladas), e não em escala de laboratório como realizado nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15463:2013. Placas Cerâmicas De Para Revestimento – Porcelanatos.
- Cabral Jr, M., Tanno, L.C., Albarelli, D.A., Caracterização Geológica E Tecnológica Dos Polos Cerâmicos Do Estado De São Paulo, Brasil. *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial II, 757-760.
- CABRAL JR. M; SUSLICK. S. B.; OBATA. O. R.; SINTONI. A. A MINERAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO: SITUAÇÃO ATUAL, PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA O APROVEITAMENTO DOS RECURSOS MINERAIS. *São Paulo, UNESP, Geociências, V. 27, N. 2, P. 171-192, 2008.*
- CIMINELLI, R.R. Recursos Minerais Industriais. In: *Geologia, Tectônica E Recursos Minerais Do Brasil*, Cap. IX. Brasília, 2003.
- DANA, J. D. *Manual De Mineralogia*. Livros Técnicos E Científicos, Rio De Janeiro, 642p., 1969.
- Departamento Nacional Da Produção Mineral – DNPM. 2010. Anuário Mineral Brasileiro 2010. DNPM/MME. Brasília.
- GOMES,C.F. Argilas. *O Que São E Para Que Servem*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986, 457p.
- J. S. Patricio, D. Hotza, A. De Noni Júnior. Argilas Adsorventes Aplicadas À Clarificação De Óleos Vegetais. *Cerâmica* 60 (2014) 171-178. Florianópolis, SC.
- KINGERY, W. D.; BOWEN, K.; UHLMANN, D. R. *Introduction To Ceramics*. 2. Ed. New York: Wiley, 1976.
- M. Cabral Jr, P. B. M. Azevedo, G. Cuchierato, J. F. M. Motta. Estudo Estratégico Da Cadeia Produtiva Da Indústria Cerâmica No Estado De São Paulo: Parte II – Indústria De Revestimentos. *Cerâmica Industrial*, 24 (2) Abril/Junho, 2019.
- M. Rodriguez, S. A. Pianaro, E. A. T. Berg, A. I. Santos. Propriedades De Matérias-Primas Seleccionadas Para A Produção De Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 9 (1) Janeiro/Fevereiro, 2004. Ponta Grossa – PR.
- MEIRA, J. M. L. ARGILAS: O Que São, Suas Propriedades E Classificações. *Comunicações Técnicas*. 2001. Ed, 2001. 6 P.
- MOORE, D. M.; REYNOLDS Jr., R. C. *X-Ray Diffraction And The Identification And Analysis Of Clay Minerals*. Oxford University Press, 332p., 1989.
- MORENO, L. M. T., ARGILAS: *Composição Mineralógica, Distribuição Granulométrica E Consistência De Pastas*. Tese Apresentada Ao Instituto De Geociências E Ciências Exatas- UNESP Para Obtenção Do Título: *Livre-Docente*. Rio Claro/SP, 2012.
- Motta, J.F.M., Cabral Jr, M., Tanno, L.C. Panorama Das Matérias-Primas Utilizadas Na Indústria De Revestimentos Cerâmicos: Desafios Ao Setor Produtivo. *Cerâmica Industrial*, 3 (4-6) Julho/Dezembro, 1998.
- Motta, J.F.M., Tanno, L.C., Cabral Jr, M. Argilas Plásticas Para Cerâmica Branca No Estado De São Paulopotencialidade Geológica. *Rev. Bras. Geocênc.*,V. 23, N.2, P. 158-173, 1993.
- MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; CABRAL JR., M.; TANNO, L. C. E CUCHIERATO, G. (2004). As Matérias-Primas Plásticas Para A Cerâmica Tradicional: Argilas E Caulins. *Cerâmica Industrial*, Vol.9, N.2, P.33-46.
- Navarro, C.R.B.; Zanardo, A.; Montbeller, C.C.; Leme T.G.; (2017). Livro De Referencia De Minerais Comuns E Economicamente Relevantes: FILOSSILICATOS. Museu De Minerais, Minérios E Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”.

- NBR 13818: Placas Cerâmicas Para Revestimento – Especificação E Métodos De Ensaio. Rio De Janeiro: ABNT, 1997.
- OLIVEIRA, A. P. N. De; HOTZA, D. Tecnologia De Fabricação De Revestimentos Cerâmicos. 2. Ed. Florianópolis: Editora Da UFSC, 2015. 118 P.
- SADIK, C; EL AMRANI, Iz-E; ALBIZANE, A. Recent Advances In Silica-Alumina Refractory: A Review. Journal Of Asian Ceramic Societies, V. 2, N. 2, P. 83–96, 2014.
- SANTOS, S.P. Ciência E Tecnologia De Argilas. 2ª Ed. (Revisada E Ampliada), Vol. 2, Edgard Blüncher Ed., São Paulo, 340 Pp, 1975.
- Sindicato Da Industria Da Construção No Estado De Minas Gerais. Placa Cerâmicas Para Revestimento. Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2009.
- SOUZA SANTOS, P.; VIEIRA COELHO, A. C. – *Argilas Como Catalisadores Industriais* - Uma Revisão – 1ª parte - Revista Brasileira De Eng. Química, 11, (2), 35- 44 1988ª.
- TANNO, L. C.; MOTTA, J. F. M.; CABRAL, J. M. Geologia E Características Tecnológicas Das Argilas Plásticas E Refratárias Do Estado De São Paulo.
- ZATTA, Leandro. Caulinita E Halosita "In-Natura" E Ativadas Com Ácido Mineriais Como Catalisadores Heterogêneos Para Esterificação (M)Etílica De Ácidos Graxos. Curitiba: Dissertação De Mestrado Em Engenharia E Ciência Dos Materiais - Universidade Federal Do Paraná, 2010.