

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

O método da pesquisa constituiu em três etapas principais: levantamentos de dados e informações referentes à exploração de areia e argila, observações de campo efetuadas em visitas técnicas na mineração Floresta Negra e realização de ensaios de laboratório para caracterização do material e testes para utilização em cerâmica vermelha.

3.1 Trabalho de campo

Os trabalhos de campo constituíram na observação da geologia local, no processo de extração e beneficiamento da areia na coleta de amostras para realização dos ensaios.

3.1.1 Aspectos da Mineração Floresta Negra

A Mineração Floresta Negra está localizada na estrada da Parteira, número 3.000, no Sítio do Alemão, no município de Guarulhos, Estado de São Paulo. Abrange uma superfície total de 49,55 há. A área lavrável é definida por um polígono de 16 vértices, que tem início a 909 m, no rumo verdadeiro $69^{\circ} 34'$ NE do Ponto de Amarração de coordenadas $23^{\circ} 23' 20,2''$ S e $46^{\circ} 23' 40,6''$ W.

Partindo-se da capital paulista, o acesso rodoviário à mineração pode ser efetuado inicialmente pela rodovia Presidente Dutra (BR-116), até o trevo de Bonsucesso (Km 35). Segue-se então pela estrada de Capuava, do Morro Grande e finalmente pela Estrada da Parteira, até a entrada do Sítio Floresta Negra, onde se

encontra a área objeto deste trabalho (Figura 3.1).

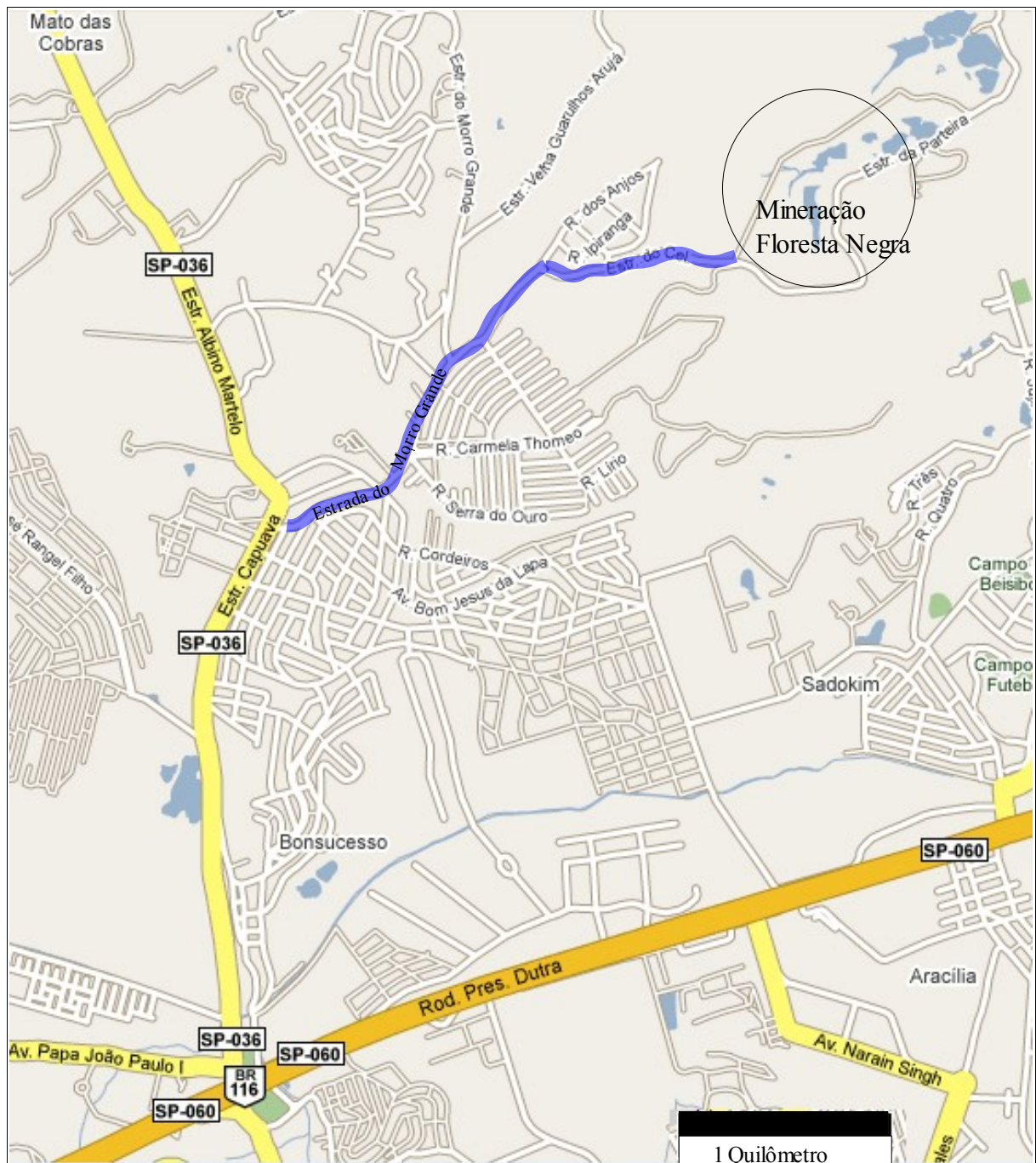


Figura 3.1 – Localização da Mineração Floresta Negra. Fonte: Modificado de Google (2009).

A Mineração Floresta Negra faz divisa com outras duas minerações de areia, que juntas constituem uma das Zonas de Mineração e Disposição de Resíduos (ZMDR), conforme abordado no CAPÍTULO 1.

Na Figura 3.2 pode-se observar o contexto desta mineração junto às demais e

o entorno.



Figura 3.2 – Foto aérea da região da mineração. Fonte: PMG (2002).

A Mineração Floresta Negra teve suas atividades iniciadas em 1977 atendendo a demanda principalmente dos municípios de Guarulhos, Arujá e Capital Paulista, com uma produção média de 10.000 toneladas de areia por mês. Atualmente busca ampliar as suas atividades com exploração também de argila, tanto das camadas intercaladas com a areia, e que possam ser separadas, como também das bacias de rejeito existentes.

A estimativa das reservas de areia e argila, foi feita pela empresa MGA

(2008), responsável pelo processo de produção e licenciamento da mineração.

Para cálculo das reservas foi utilizado o método da área de influência, utilizando os dados de sondagens executadas nos sedimentos. Desta forma foram obtidos os seguintes valores para as reservas lavráveis remanescentes:

areia: 3.183.111 m³

argila: 2.700.607,4 m³

Foram ainda calculadas as reservas minerais de argila das bacias de rejeito, também pelo método da área de influência. Segundo este método, foram individualizadas as áreas das bacias existentes e multiplicadas pela profundidade das mesmas para calcular o volume de material presente. Os volumes de argila contidos nas bacias de rejeito estão apresentados na Tabela 3.1.

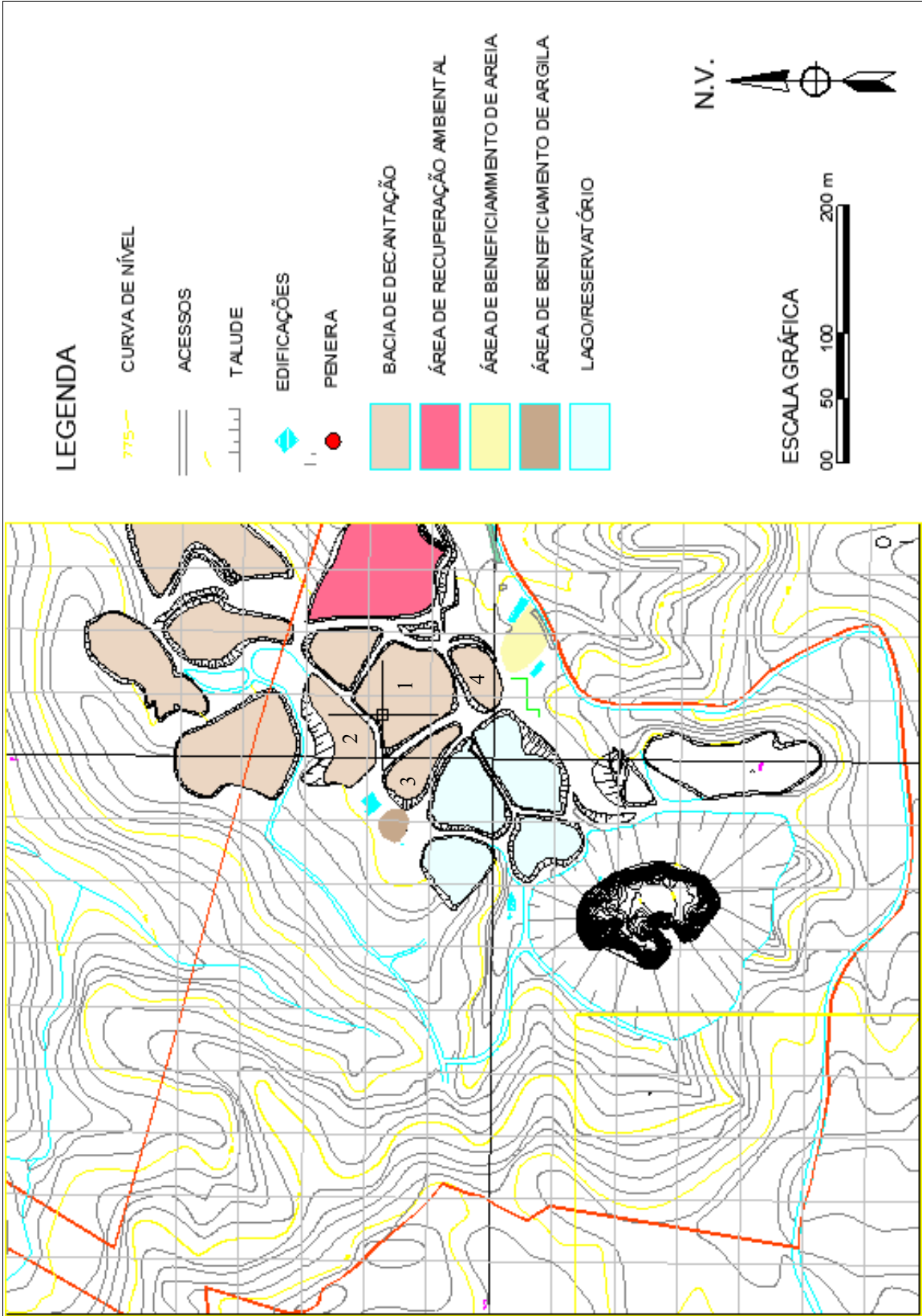
Tabela 3.1 – Reservas de argila das bacias de rejeito.

Bacias de rejeito	Volume de argila (m³)
1	68.804
2	40.496
3	27.756
4	23.928
TOTAL	160.984

Considerando os dados de granulometria apresentados no EIA-RIMA da Mineração Floresta Negra (MACEDO, 1989), além do histórico de produção da mineração, 30% do material arenoso lavrável, em média, correspondem aos finos (argila) descartados para as bacias de rejeito, ou bacias de decantação, perfazendo um total de 954.933,30 m³. Desta forma temos um volume de argila adicional produto do beneficiamento da areia. Na Tabela 3.2 estão apresentados os volumes totais das reservas de argila calculados. Na Figura 3.3 é apresentada a planta de situação da mineração.

Tabela 3.2 – Volume total de argila explorável

Material	Volume de argila (m³)
Depósitos	2.700.607
Bacias de rejeito	160.984
Produção de areia	954.933
TOTAL	3.816.525



3.1.2 Levantamento geológico

A Mineração Floresta Negra está localizada sobre sedimentos de idade terciária da Formação Resende, Grupo Taubaté (RICCOMINI, 1991). Conforme o mapa apresentado na Figura 1.5, no CAPÍTULO 1, os sedimentos no local podem ser considerados como pertencentes à unidade de leques aluviais medianos e distais, associados à planície aluvial de rios entrelaçados.

Duas litologias podem ser reconhecidas: uma com predominância de sedimentos grossos e outra constituída de sedimentos essencialmente argilosos, intercalados na forma de lentes (Foto 3.1).



Foto 3.1 – Vista geral de uma das frentes de lavra. Observa-se intercalações de lentes de argila roxa e areia (mais claras) (Foto: autor).

A porção predominantemente arenosa constitui seqüências fluviais compostas por intercalações de sedimentos grossos e finos, na forma de lentes interdigitadas com espessuras variando entre 1 cm até 5 cm (Foto 3.2). Na base destas seqüências, ocorrem sedimentos conglomeráticos compostos por clastos centimétricos a decimétricos de quartzo, feldspato e fragmentos de rocha, principalmente gnaisses, em meio a matriz argilosa (Foto 3.3 e 3.4).



Foto 3.2 – Pacote sedimentar arenoso, com intercalações de lentes argilosas centimétricas. (Foto: autor).

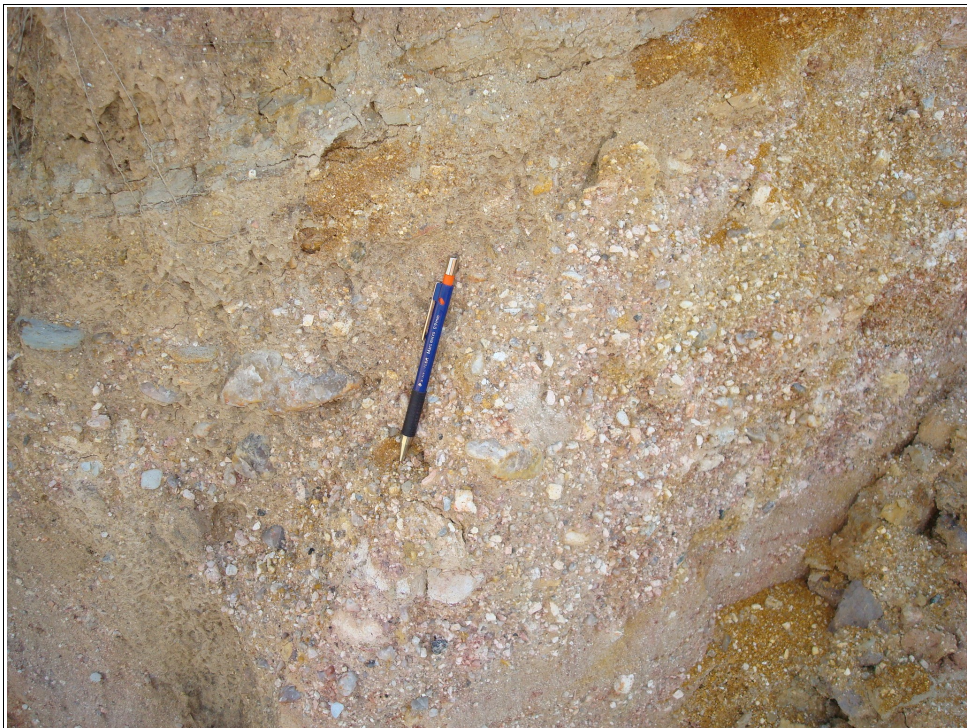


Foto 3.3- Conglomerados. (Foto: autor).

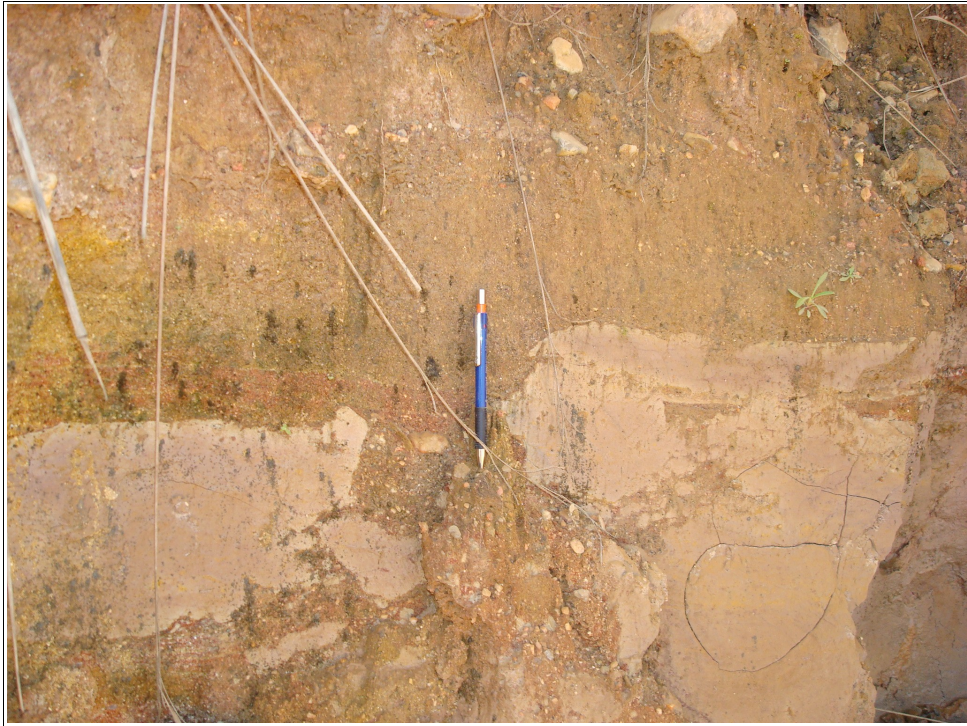


Foto 3.4 – Contato erosivo entre conglomerados e uma camada de argila roxa. (Foto: autor).

As lentes de sedimentos grossos são constituídas por areias médias e grossas, com níveis conglomeráticos. As areias e grânulos são formados por quartzo e feldspato, sub-arredondados a angulosos, típicos de sedimentos imaturos de borda de bacia, ou de rios entrelaçados. Observam-se estratificações cruzadas acanaladas (Foto 3.5) e estratificações plano-paralelas gradacionais (Foto 3.6).

A porção mais fina destes sedimentos constituem argilas e siltes com coloração variada (marrom, amarelo, roxo e vermelho), aparecem geralmente em corpos maciços, podendo apresentar estratificações plano-paralelas gradando para porção mais arenosas, ou podem também formar contatos bruscos com areias e conglomerados.

As lentes argilosas podem atingir até cinco metros de espessura por dezenas de metros de comprimento. As argilas de coloração roxa e cinza esverdeadas (Foto 3.7) são predominantes, ocorrendo ainda as cores branco e amarelo. Estas lentes argilosas apresentam granulometria muito selecionada, e provavelmente foram formadas em corpos d' água, como lagos, ou planícies aluviais.

Uma camada de argila cinza esverdeada recobre toda seqüência sedimentar, e é recoberta por argilas de alteração lateríticas.



Foto 3.5 – Arenito conglomerático com estratificações cruzadas acanaladas. (Foto: autor).



Foto 3.6 – Arenito conglomerático com estratificação plano-paralela, em contato brusco com uma camada de argila roxa. (Foto: autor).

Localmente observou-se camadas decimétricas de argila rica em matéria orgânica de cor preta (Foto 3.8). Geralmente estas argilas orgânicas ocorrem sobre

uma camada centimétrica de argilas de coloração azul, e possivelmente estão relacionadas com os sedimentos orgânicos descritos por Riccomini et al. (2004), representativos de pequenos lagos inter-lobos de leques aluviais coalescentes.



Foto 3.7 – Seqüência da base para o topo: argila roxa, argila cinza esverdeada e solo de alteração argiloso laterítico. (Foto: autor).



Foto 3.8 – Argila com alta concentração de matéria orgânica, sobre camada de argila de coloração azul. (Foto: autor).

3.1.3 Processo de lavra e beneficiamento

O processo de produção de areia atualmente realizado na Mineração Floresta Negra consiste nos seguintes estágios:

- remoção do estéril por retroescavadeira;
- desmonte hidráulico do minério;
- bombeamento do minério das bacias de acumulação para as instalações de beneficiamento;
- beneficiamento; e
- expedição.

A remoção do estéril é realizada por escavação mecânica do material utilizando-se uma retroescavadeira. Hoje considera-se estéril o capeamento e as camadas de argila que podem ser segregadas neste estágio, constituídas por lentes de espessura métrica. Este material é utilizado nos trabalhos de recuperação de áreas mineradas, para alteamento das barragens existentes ou destinado para a área de bota-fora.

A extração da camada arenosa é realizada por desmonte hidráulico, no qual a escavação é realizada com o auxílio de jatos hidráulicos, ou monitores (Foto 3.9). Nesse método, o minério escavado e já em forma de polpa, flui por gravidade para uma bacia de acumulação onde uma draga equipada com bomba centrífuga para polpas realiza o bombeamento diretamente para as instalações de beneficiamento (Foto 3.10).

Este método é largamente aplicado para depósitos horizontais a sub-horizontais, que se desagregam com facilidade, em locais com disponibilidade de água. Tais requisitos estão presentes na Mineração Floresta Negra.

O método apresenta como principais vantagens a alta produtividade, baixos custos operacionais (se comparado ao desmonte mecânico), baixos investimentos e boa recuperação. Dentre as desvantagens pode-se listar a alta diluição da polpa e a baixa seletividade na lavra, fatores que na mineração Floresta Negra são compensados por um processo de beneficiamento muito eficaz.

O processo de beneficiamento está representado no fluxograma da Figura 3.4. Consiste basicamente na eliminação das impurezas orgânicas, e dos produtos

com granulometria superior a 4,8 mm (pedregulho e cascalho) e separação das frações areia e argila presentes na polpa. Envolve assim as operações de peneiramento, classificação, espessamento e desaguamento.



Foto 3.9 – Extração do minério por processo de desmonte hidráulico. (Foto: autor).



Foto 3.10 – Bacia de acumulação com a draga que realiza a sucção do material desagregado (polpa) e envio para o beneficiamento. (Foto: autor).

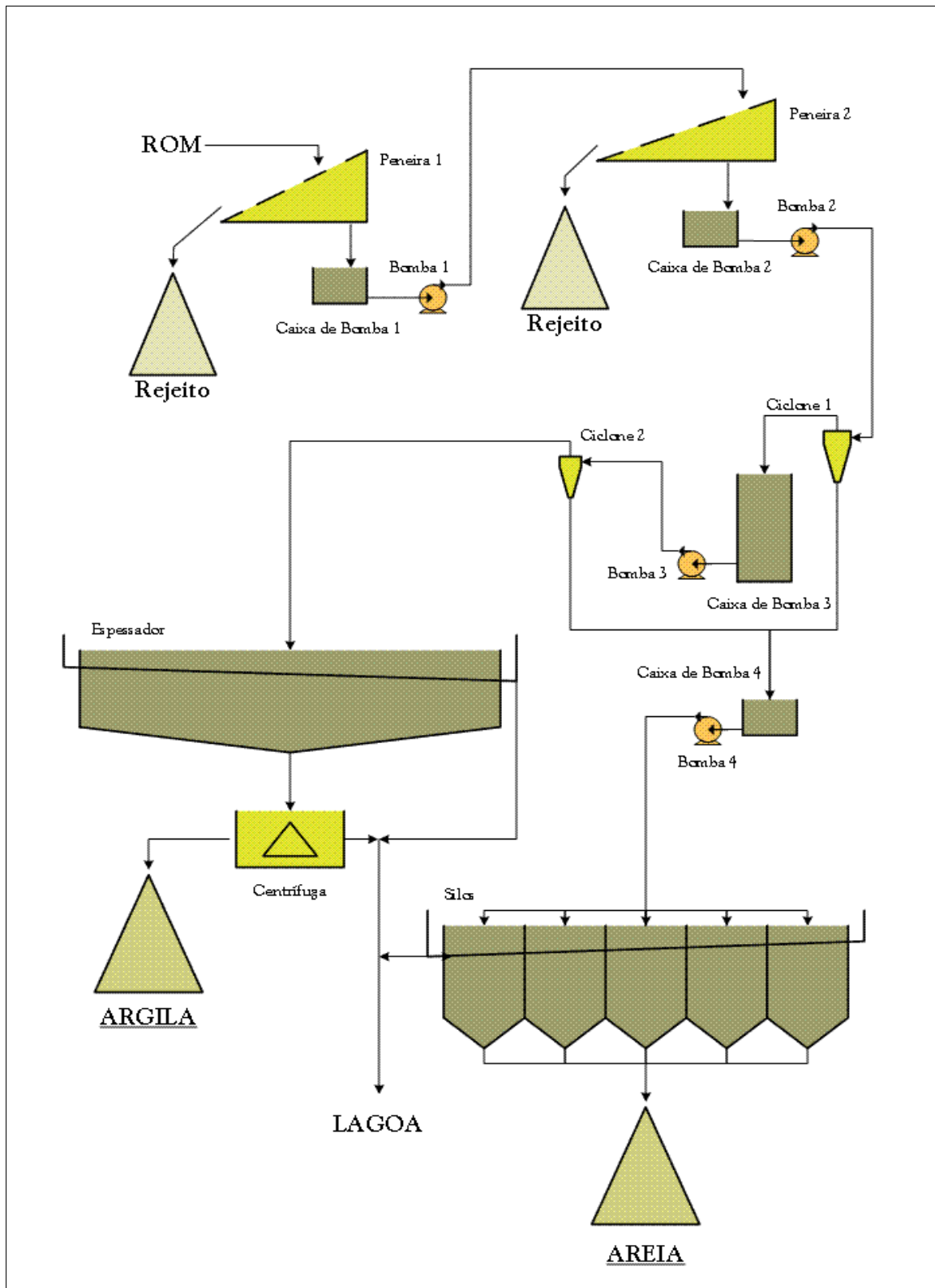


Figura 3.4 – Fluxograma do processo de beneficiamento. Fonte: MGA (2008).

Inicialmente o minério em forma de polpa é bombeado da bacia de acumulação diretamente para uma peneira fixa com malha de 19 mm. O material retido nesta peneira é considerado rejeito e encaminhado para as áreas de bota-fora. O material passante é bombeado por meio de uma bomba de sucção e recalque para uma segunda etapa de peneiramento, onde ficará retido o material com granulometria entre 19,0 e 4,8 mm, separado em dois produtos. O mais grosso é comercializado na forma de cascalho, ou considerado rejeito em função da quantidade de material orgânico. Neste caso é empregado para regularização de acessos e pequenos serviços de terraplenagem, ou para recuperação de antigas áreas de lavra. O material passante na peneira de 4,8 mm constitui o principal produto atualmente da mineração, e é comercializado como areia grossa.

Este último material é então bombeado para a etapa de classificação através de hidrociclones (Foto 3.11) e cone desaguador (Foto 3.12). O material grosso proveniente dos hidrociclones, juntamente com o material recuperado pelo cone desaguador são bombeado para os silos (Foto 3.13), onde ocorrerá o desaguamento final da areia que estará em condições para a comercialização. O fino do hidrociclone, juntamente com o fino do cone desaguador são encaminhados para o espessador (Foto 3.14).

No espessador é adicionado o polímero, que tem a função de aumentar a concentração de sólidos da argila, antes do envio para a centrífuga.

Na centrífuga (Foto 3.15) ocorre o desaguamento da argila que segue então por uma correia transportadora (Foto 3.16) até a área de armazenamento, onde estará em condições de manuseio para a estocagem e futuramente comercialização. A água, já clarificada, seguirá para uma bacia de água limpa, possibilitando seu reuso no processo produtivo (Foto 3.17).



Foto 3.11 – Hidrociclones, onde o material mais fino é separado da areia. (Foto: autor).



Foto 3.12 – Cone desaguador. (Foto: autor).



Foto 3.13 – Silos, onde ocorre a separação da areia para comercialização. (Foto: autor).



Foto 3.14 – Espessador. (Foto: autor).



Foto 3.15 – Centrifuga. (Foto: autor).



Foto 3.16 – Correia transportadora da argila obtida no final do processo. (Foto: autor).



Foto 3.17 – Lagoa ou tanque de clarificação. Deste local a água é recuperada e reutilizada no processo de lavra e beneficiamento. (Foto: autor).

3.1.4 – Coleta das amostras

Foram coletadas dois tipos de amostras de argila para realização dos ensaios: amostras do rejeito do processo de beneficiamento e amostras naturais provenientes de duas camadas distintas de argilas pertencentes à seqüência sedimentar (estéril).

As amostras de rejeito foram coletadas de duas formas diferentes. A amostra destinada para os ensaios cerâmicos foi separada na esteira situada na saída da centrífuga, coletando-se todo o material em um trecho linear de um metro (amostragem aleatória). Esta amostra foi acondicionada em um saco plástico e encaminhada ao laboratório.

As amostras destinadas para os ensaios de caracterização foram coletadas também da saída da centrífuga diariamente, entre os dias 04/09/2007 e 17/11/2007, e acondicionadas em recipientes plásticos fechados (amostragem sistemática).

As amostras de argila naturais foram coletadas diretamente das camadas onde elas afloram, com a ajuda de uma retroescavadeira, segundo o procedimento

descrito a seguir: as superfícies externas foram limpas e livres de raízes e materiais provenientes das camadas vizinhas. Foram extraídas porções de aproximadamente 50 kg, acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas aos laboratórios de caracterização e de cerâmica.

3.2 Ensaios de caracterização

Através destes ensaios buscou-se determinar as características químicas, mineralógicas e de granulometria das argilas com o objetivo de identificar as propriedades de interesse para aplicação em cerâmica vermelha. Assim foram ensaiadas amostras provenientes do processo de beneficiamento (rejeitos) e de camadas de argila intercaladas às camadas arenosas (estéril), exploradas para produção de areia. Com esta finalidade, foram realizados os ensaios de análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X, difratometria de raios-X e análise granulométrica por difração a laser. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

3.2.1 Preparação das amostras

As amostras coletadas no final do processo de beneficiamento foram agrupadas por ordem de data de coleta e analisadas tátil-visualmente (Foto 3.18). Suas características macroscópicas são muito semelhantes entre si, observando-se apenas uma leve alteração de cor. Observou-se em todo o lote que as amostras apresentam três colorações diferentes (Foto 3.19). Desta forma as amostras de coloração semelhante foram agrupadas, homogeneizadas, quarteadas, designando-as como:

- Amostra 01 – marrom claro.
- Amostra 02 – amarela.

- Amostra 03 – vermelha clara.



Foto 3.18 – Amostras de argila provenientes do processo de beneficiamento. (Foto: autor).

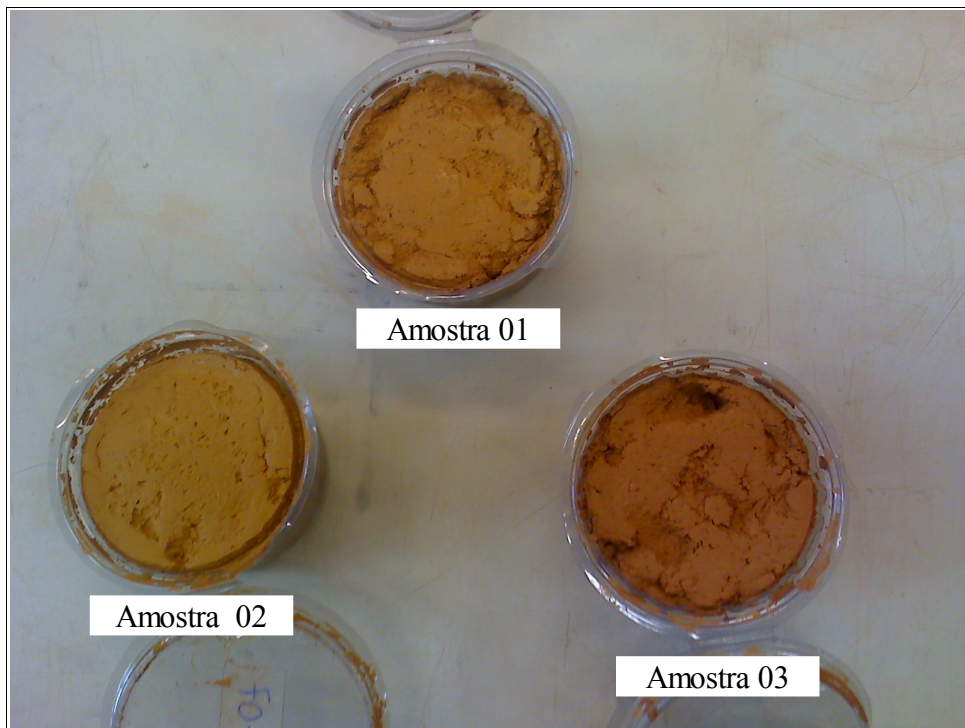


Foto 3.19 – Amostras selecionadas para os ensaios de caracterização. (Foto: autor).

Em seguida as amostras foram secas em estufa a 60°C e destorroadas em almofariz de porcelana, com desagregador de borracha e quarteadas com um *amostrador Jones* (Foto 3.20) até separação de três alíquotas com aproximadamente 50g para realização dos ensaios.



Foto 3.20 – *Amostrador Jones* utilizado para separação das amostras para os ensaios de caracterização. (Foto: autor).

As amostras de estéril foram secas ao ar, destorroadas manualmente e quarteadas inicialmente por processo de pilha cônica (Figura 3.5).

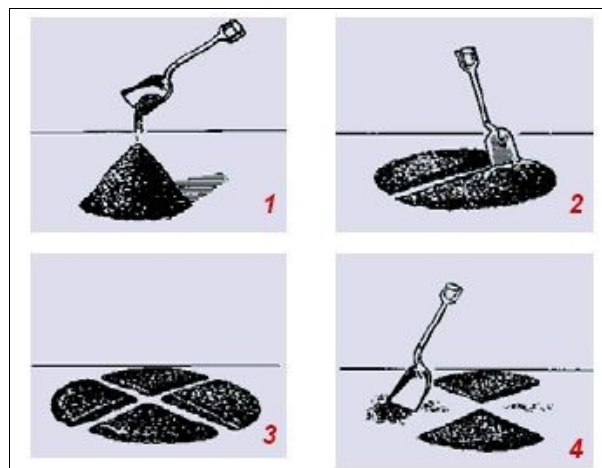


Figura 3.5 – Processo de amostragem utilizando método de pilha cônica. Fonte: Kahn(2005).

Foram separadas duas amostras: uma de argila de coloração roxa (Amostra 04) e uma de argila cinza de coloração esverdeada e amarela (Amostra 05), conforme mostrado na Foto 3.21.



Foto 3.21 – Amostras de argila após primeiro processo de amostragem. (Foto: autor).

As amostras de estéril foram também secas em estufa a 60°C, destorroadas em almofariz e quarteadas no amostrador Jones até separação das alíquotas de 50g que foram encaminhadas ao laboratório de caracterização.

3.2.2 Análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X

Raios-X são produtos da colisão de elétrons provenientes de um filamento aquecido (cátodos) com átomos. Em resposta o átomo emite uma radiação secundária fluorescente, que é característica do átomo que a emitiu. A radiação fluorescente é difratada por cristais. Conhecendo-se o ângulo de reflexão (WDS), a energia de excitação (EDS) e as intensidades é possível identificar e quantificar o elemento emissor por meio de comparação com padrões existentes.

Foram realizadas análises quantitativas utilizando um espectrômetro por dispersão de comprimento de onda WDS PW 2404 seqüencial (Foto 3.22). O resultado é fornecido em porcentagem dos óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O e K_2O .

Para se obter uma melhor homogeneização dos elementos químicos nas amostras, estas foram fundidas em cadinho de platina com tetraborato de lítio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$).



Foto 3.22 – Espectrômetro de dispersão (WDS) utilizado nas análises químicas. Fonte: Kahn(2005)

3.2.3 Análise mineralógica por difração de raios-X

Esta técnica consiste na identificação das fases minerais utilizando a reflexão de um feixe de raios-X nos planos que compõe o retículo cristalino. Mede-se assim a distância entre os planos, característica da estrutura cristalina do mineral (Figura 3.6).

O resultado é expresso na forma de um gráfico, onde os picos representam a distância inter planar $2d$.

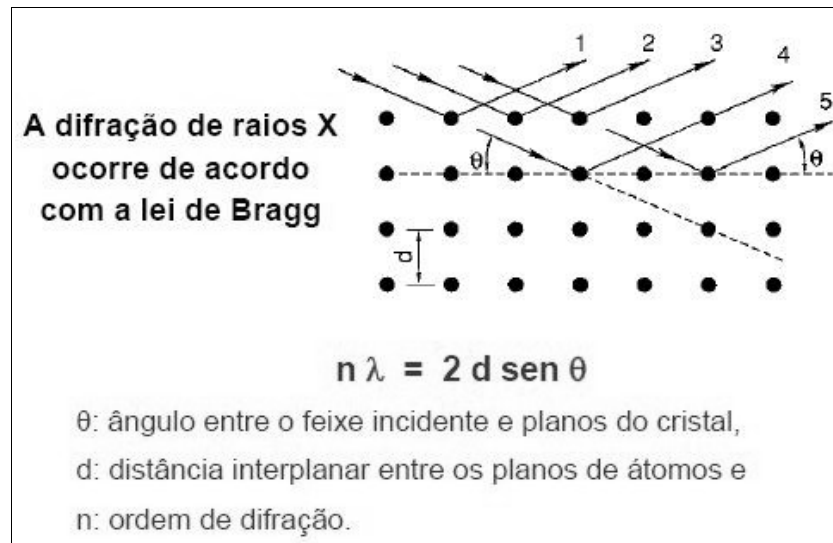


Figura 3.6 – Condições para a difração de raios-X. Fonte: Kahn(2005)

As amostras foram moídas no moinho de bola tipo planetário, com elementos em ágata (Foto 3.23) e prensadas.



Foto 3.23 – Moinho de bolas tipo planetário, usado na preparação das amostras para o difratômetro. Fonte: Kahn(2005).

3.2.4 Análise granulométrica por difração a laser

Esta análise relaciona o tamanho da partícula com o espalhamento de um feixe de laser ao atingi-la (Figura 3.7). Para execução deste ensaios foi utilizado um equipamento *Malvern MMS* (Foto 3.24), que trabalha na faixa granulométrica entre 0,05 a 3.500 μm .

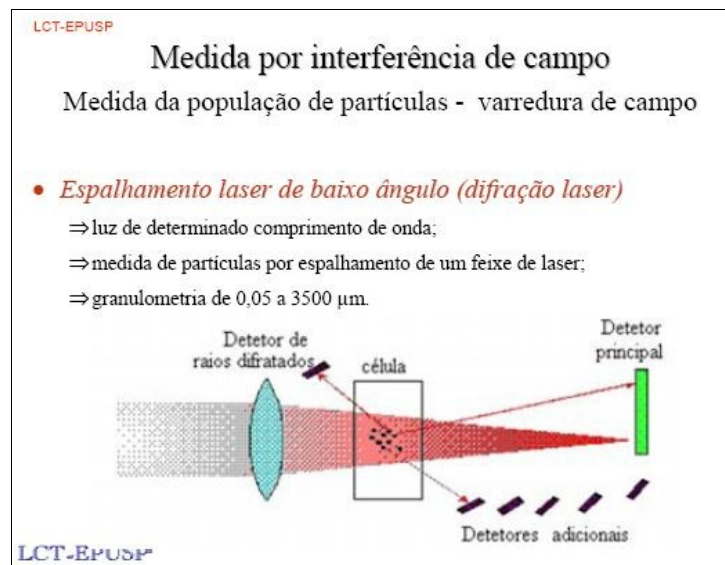


Figura 3.7 – Análise granulometria por difração à laser. Fonte: Kahn (2005).



Foto 3.24 – Equipamento Malvern MMS do LCT EPUSP. Fonte: Kahn (2005).

3.3 Ensaios tecnológicos cerâmicos

A realização dos ensaios tecnológicos teve por objetivo a obtenção das características cerâmicas das argilas do rejeito e do estéril, para aplicação em cerâmica vermelha, definindo a possibilidade de uso na fabricação dos seguintes produtos:

- tijolos maciços;
- tijolos furados (blocos);
- telhas;
- ladrilhos de piso; e
- manilhas.

Os ensaios foram realizados no laboratório de ensaios cerâmicos do SENAI, localizado na cidade de Itú, São Paulo. Este laboratório presta serviço para as indústrias cerâmicas do importante pólo existente na região.

Os ensaios e respectivos procedimentos foram desenvolvidos pelo laboratório do SENAI, baseados nos métodos recomendados pela American Ceramic Society, e utilizados pelo IPT (SOUZA SANTOS, 1975).

Foram encaminhadas para o laboratório três amostras:

- Amostra 01 – resíduo proveniente do processo de beneficiamento (rejeito);
- Amostra 02 – Argila de coloração roxa, coletada da frente de lavra (estéril);
- Amostra 03 – Argila de coloração cinza esverdeada e amarela, coletada do capeamento da frente de lavra (estéril).

3.3.1 Preparação das amostras

As amostras coletadas e encaminhadas ao laboratório foram secas ao ar, destorroadas e separadas por processo de quarteamento por pilhas cônicas, separando aproximadamente 10 kg de cada amostra.

Em seguida as amostras foram pulverizadas no moinho de martelos até que o material resultante passasse totalmente na peneira de abertura 0,5 mm.

3.3.2 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade que se manifesta na mudança de forma, sem ruptura, de uma mistura de argila e água. É importante para se verificar se as argilas são suficientemente plásticas para serem moldadas por processo de extrusão. Por outro lado, uma elevada plasticidade pode provocar maior retração após secagem.

Nos ensaios cerâmicos inicialmente é determinado o limite de plasticidade, para formulação da massa que será utilizada para extrusão dos corpos de prova.

O limite de plasticidade foi determinado conforme a norma técnica NBR 7180 (ABNT, 1984).

3.3.3 Moldagem e preparação dos corpos de prova

A argila foi umedecida com a quantidade de água na proporção do limite de plasticidade determinado, misturada e homogeneizada na galga (Foto 3.25), seguindo então para a moldagem.

Os corpos de prova foram moldados por extrusão à vácuo, utilizando a extrusora mostrada na Foto 3.26, resultando corpos de prova com dimensões de 75 mm x 35 mm x 15 mm (Foto 3.27).

Em seguida os corpos de prova foram secos ao ar por um período mínimo de 12 horas e em estufa a 110°C durante 24 horas, resfriados em dessecador, medidos e pesados.



Foto 3.25 – Galga. Equipamento utilizado para preparação da massa. (Foto: autor).

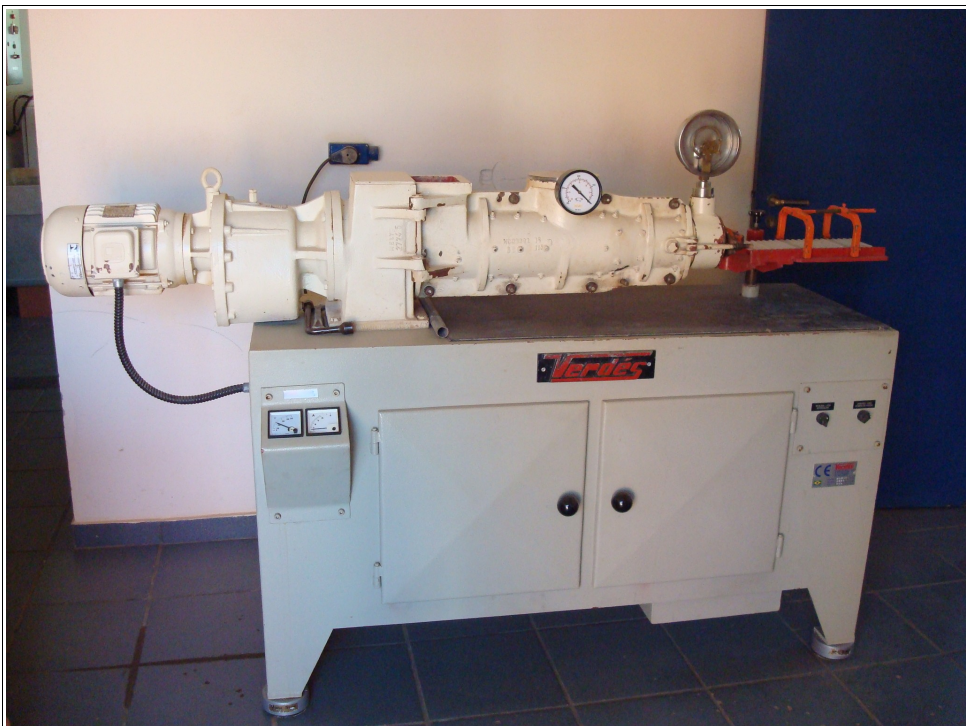


Foto 3.26 – Extrusora utilizada para moldagem dos corpos de prova. (Foto: autor).



Foto 3.27 – Corpos de prova utilizados nos ensaios cerâmicos. (Foto: autor).

3.3.4 Umidade de extrusão

A umidade de extrusão foi determinada através da seguinte fórmula:

$$Um(\%) = \left(\frac{Mu - Ms}{Ms} \right) \times 100$$

Sendo:

Mu = massa do corpo de prova após extrusão (g).

Ms = massa do corpo de prova seco (g).

3.3.5 Contração linear de secagem

Esta propriedade indica a contração linear após secagem (CLs) do corpo de prova, em estufa, a 110°C, e é determinada com a seguinte fórmula:

$$CLs(\%) = \left(\frac{Lu - Ls}{Ls} \right) \times 100$$

Sendo:

Lu = comprimento do corpo de prova após extrusão (cm).

Ls = comprimento do corpo de prova seco (cm).

3.3.6 Resistência à flexão seco

Para realização dos ensaios de resistência à flexão inicialmente os corpos de prova, após secos em estufa a 110°C, foram medidos com paquímetro em sua largura e altura, e depois colocados na máquina universal de ensaio mostrada na Foto 3.27. Os corpos de prova foram então dispostos de forma que a face mais larga ficasse sobre dois apoios. Em seguida foram aplicados carregamentos com incremento de 29,4 a 49,0 N/min (3 a 5 kgf/min).



Foto 3.28 – Máquina universal de ensaio, utilizada para realização dos ensaios à flexão. (Foto: autor).

O cálculo para determinação da resistência à flexão (Tensão de Ruptura à

Flexão) seca foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$TRF = \frac{3.P.L}{2.b.h^2}$$

Sendo:

P = Carga de ruptura (kgf)

L = distância entre os apoios (cm)

h = espessura do corpo de prova (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

Para conversão para MPa, foi considerada a relação $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,098 \text{ MPa}$.

Os resultados finais adotados referem-se à média entre os resultados obtidos para 4 corpos de prova.

3.3.7 Cor de queima

Nos ensaios de queima, o corpos de prova foram submetidos às temperaturas de 850°C e 950°C, em forno elétrico (Foto 3.29), em atmosfera oxidante e aquecimento constante de 110°C A 150°C/hora. As temperaturas de queima foram mantidas por 3 horas.

A cor de queima é determinada visualmente comparando a cor dos corpos de prova com a Tabela de Classificação de Munsell (1994). A cor de queima é importante na classificação do uso da cerâmica pois define o tipo de uso: cerâmica vermelha, se a cor de queima for vermelha, ou cerâmica branca, se a coloração obtida for clara.



Foto 3.29 – Fornos elétricos para realização da queima dos corpos de prova. (Foto: autor).

3.3.8 Perda ao fogo

A perda ao fogo (PF) é expressa em porcentagem e obtida a partir da massa dos corpos de prova após secagem e queima. Esta diferença de massa se dá devido à volatilização de compostos, como carbonatos e matéria orgânica, durante a queima.

A perda ao fogo é calculada pela equação:

$$PF (\%) = \left(\frac{M_s - M_q}{M_s} \right) \times 100$$

Onde:

M_s = massa do corpo de prova após secagem a 110°C (g).

M_q = massa do corpo de prova após queima (g).

3.3.9 Contração linear após queima

A contração linear após queima (CLq) é expressa em porcentagem e obtida a partir das medidas do comprimento dos corpos de prova após secagem e após queima, conforme a equação:

$$CLq(\%) = \left(\frac{L_s - L_q}{L_s} \right) \times 100$$

Onde:

L_s = comprimento do corpo de prova após secagem (cm).

L_q = comprimento do corpo de prova após queima (cm).

3.3.10 Resistência à flexão após queima

A resistência à flexão após queima é definida pela tensão de ruptura a flexão (TRF) dos corpos de prova após queima nos fornos elétricos às temperaturas de 850°C e 950°C e foi determinada da mesma forma como descrito no item 3.3.6.

3.3.11 Massa específica aparente

Para determinação da massa específica aparente (MEA) após queima, os corpos de prova foram colocados totalmente imersos em água fervente por duas horas. Após este período a água quente foi substituída gradativamente por água fria até atingir a temperatura ambiente (25°C). A massa dos corpos de prova imersos foram determinadas utilizando uma balança hidrostática. Os corpos de prova foram então retirados da água, secos superficialmente com um pano úmido e pesados, determinando assim as suas massas saturadas (úmidas). O cálculo foi efetuado utilizando a seguinte equação:

$$MEA(g/cm^3) = \left(\frac{Ms}{Mu - Mi} \right) \times d$$

Sendo:

Ms = massa do corpo de prova seco (g).

Mu = massa do corpo de prova úmido (g).

Mi = massa do corpo de prova imerso (g).

d = densidade do líquido usado (água – 1,0 g/cm³ a 25°C).

3.3.12 Porosidade aparente a absorção de água

A capacidade de absorção de água corresponde à quantidade de água que uma peça cerâmica pode absorver em contato com a umidade. A capacidade de absorção de água fornece um indicativo da porosidade aberta da peça cerâmica, ou seja, o volume total de poros comunicados com o exterior e suscetíveis de serem preenchidos com um fluido auxiliado pela pressão atmosférica. O valor de absorção de água é expresso em porcentagem do aumento da massa em relação à sua massa seca quando submetido a um processo de imersão em água.

A determinação da absorção de água (AA) e da porosidade aparente (PA) foi realizada com os mesmos procedimentos utilizado para determinação da massa específica aparente, descritos no item anterior. Suas determinações foram realizadas utilizando-se as fórmulas (1) e (2) respectivamente:

$$AA(\%) = \left(\frac{Mu - Ms}{Ms} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$PA(\%) = \left(\frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \right) \times 100 \quad (2)$$

3.3.13 Análise granulométrica do resíduo

Nos estudos sobre massas cerâmicas os constituintes das matérias-primas

são separados em dois grupos: plásticas e não plásticas. As matérias-primas plásticas apresentam granulometria inferior a 60 µm e são constituídos principalmente por argilominerais. As matérias-primas não plásticas constituem os minerais não argilosos e apresentam granulometria geralmente na faixa acima de 60 µm. Ambos são importantes nas formulações de massas cerâmicas. As matérias plásticas conferem à massa a plasticidade necessária para extrusão dos componentes cerâmicos, porém se a plasticidade for muito grande, ocorre retenção de água, o que favorece o aparecimento de trincas, diminuindo a resistência e aumentando a absorção de água. A presença da matéria não plástica reduz este efeito, além de conter minerais que atuam como fundente, tais como, feldspato e ferro, este último responsável pela coloração vermelha de queima.

Nos ensaios cerâmicos as matérias-primas não plásticas são separadas, determinando-se o seu teor, sua distribuição granulométrica e natureza dos constituintes minerais. A determinação destas características foram realizadas conforme o procedimento descrito a seguir.

As amostras foram secas em estufa à temperatura de 110°C durante 24 horas e resfriadas até a temperatura ambiente em dessecador.

Tomou-se 100 g de cada amostra que foi desagregada com 600 ml de água fervente em um béquer durante duas horas. Após resfriada à temperatura ambiente foi adicionado à solução o hidróxido de amônia, de ação defloculante. Em seguida a solução foi agitada durante uma hora.

O material foi passado pelo conjunto de peneiras de malhas 100, 150, 200 e 325 Mesh, e lavado até que a água passante estivesse límpida. As frações dos resíduos foram então colocados em cápsulas de porcelanas, secos em estufa à temperatura de 110°C, até que a massa fosse constante, e pesados.

O cálculo do resíduo é processado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Resíduo (\%)} = \left(\frac{Mr}{Ma} \right) \times 100$$

Onde:

Mr = Massa do resíduo

Ma = Massa da amostra