

EDILSON PISSATO

GESTÃO DA MINERAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE
GUARULHOS: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS FINOS EM
CERÂMICA VERMELHA

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

São Paulo
2009

EDILSON PISSATO

GESTÃO DA MINERAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE
GUARULHOS: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS FINOS EM
CERÂMICA VERMELHA

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

Área de concentração: Engenharia de
Minas e de Petróleo

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

São Paulo
2009

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 15 de junho de 2009.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Pissato, Edilson

Gestão da mineração de areia no município de Guarulhos: aproveitamento de resíduos finos em cerâmica vermelha / E. Pissato. – ed.rev. -- São Paulo, 2009. 115 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Mineração de minerais não metálicos 2. Cerâmica vermelha 3. Rejeitos de mineração 4. Desenvolvimento sustentável 4. Argilas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de

DEDICATÓRIA

À
FÁTIMA, PELO DEDICAÇÃO
E APOIO, À CATERINA E À
MEMÓRIA DE MEUS PAIS.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Lindolfo Soares, pela orientação e pelo constante incentivo.

Ao Empresário Hudo Kehler, proprietário da Mineração Floresta Negra, pela hospitalidade e valorosa colaboração.

Ao amigo Geólogo Hércio Akimoto, e ao Engenheiro de Minas Marcelino Blasques Júnior, da MGA, pela colaboração irrestrita.

Aos funcionários do Laboratório de Caracterização de Minérios e do Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT), do Departamento de Engenharia de Minas, pela ajuda .

Aos funcionários do laboratório de cerâmica do SENAI de Itu, pela prestatividade.

Ao Engenheiro Expedito Paula Oliveira, pela colaboração na revisão, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram na execução deste trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Localização do Município de Guarulhos no contexto do Estado de São Paulo e RMSP.....	15
Figura 1.2 – Evolução da mancha urbana de 1970 a 2.000.....	16
Figura 1.3 – Mapa tectônico dos Terrenos Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves.....	18
Figura 1.4 – Mapa geológico da região de Guarulhos.....	19
Figura 1.4 (Continuação) – Mapa geológico da região de Guarulhos.....	20
Figura 1.5 – Mapa geológico da Bacia de São Paulo.....	22
Figura 1.6 – Polígonos das áreas requeridas no município de Guarulhos.....	26
Figura 1.7 – Mapa do potencial mineral do município de Guarulhos.....	27
Figura 1.8 – Mapa de zoneamento do município de Guarulhos.....	29
Figura 1.8 (Continuação) – Mapa de zoneamento do município de Guarulhos.....	30
Figura 2.1 – Dados do setor de cerâmica de revestimento.....	36
Figura 2.2 – Principais produtos cerâmicos e suas características.....	39
Figura 2.3 – Principais elementos da cela unitária da estrutura cristalina das argilas.....	41
Figura 2.4 – Representação esquemática da estrutura da cela unitária dos principais tipos de argilominerais.....	42
Figura 2.5 – Estrutura dos argilominerais do grupo das esmectitas.....	43
Figura 2.6 – Aptidão de massas de cerâmica vermelha segundo a classificação granulométrica.....	45
Figura 2.7 – Cadeia produtiva da cerâmica vermelha.....	46
Figura 2.8 – Principais pólos de cerâmica nas Regiões Sul e Sudeste.....	54
Figura 2.9 – Regiões produtoras de materiais industriais cerâmicos.....	55
Figura 3.1 – Localização da Mineração Floresta Negra.....	59
Figura 3.2 – Foto aérea da região da mineração.....	60
Figura 3.3 – Planta de situação da Mineração Floresta Negra.....	62
Figura 3.4 – Fluxograma do processo de beneficiamento.....	70
Figura 3.5 – Processo de amostragem utilizando o método de pilha cônica.....	78
Figura 3.6 – Condições para a difração de raios – X.....	81
Figura 3.7 – Análise granulométrica por difração à laser.....	82
Figura 4.1 – Distribuição granulométrica da amostra 01.....	94

Figura 4.2 – Distribuição granulométrica da amostra 02.....	95
Figura 4.3 – Distribuição granulométrica da amostra 03.....	95
Figura 4.4 – Distribuição granulométrica da amostra 04.....	95
Figura 4.5 – Distribuição granulométrica da amostra 05.....	95
Figura 4.6 – Localização das amostras no Diagrama de Winkler.....	98
Figura 4.7 – Difratoograma da amostra 01.....	99
Figura 4.8 – Difratoograma da amostra 02.....	100
Figura 4.9 – Difratoograma da amostra 03.....	100
Figura 4.10 – Difratoograma da amostra 04.....	101
Figura 4.11 – Difratoograma da amostra 05.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Situação das minerações no Município de Guarulhos.....	26
Tabela 2.1 – Comparação dos blocos cerâmicos com outros produtos concorrentes.....	50
Tabela 2.2 – Comparação entre telhas cerâmicas e outros materiais de cobertura..	53
Tabela 2.3 – Principais pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo.....	53
Tabela 2,4 – Preços de tijolos e blocos.....	56
Tabela 2.5 – Preços de alguns tipos de telhas cerâmicas.....	57
Tabela 3.1 – Reservas de argila das bacias de rejeito.....	62
Tabela 3.2 – Volume total de argila explorável.....	62
Tabela 4.1 – Análises químicas por espectrometria das amostras em % de óxidos..	94
Tabela 4.2 – Distribuição estatística da granulometria.....	96
Tabela 4.3 – Composição granulométrica ideal para os produtos de cerâmica vermelha.....	97
Tabela 4.4 – Distribuição das faixas granulométricas das amostras para estudo de formulações em cerâmica vermelha.....	97
Tabela 4.5 – Composição mineralógica das amostras com base nos resultados da difração de raios-X.....	102
Tabela 4.6 – Análise do resíduo.....	103
Tabela 4.7 – Características dos corpos de prova secos à 110°C.....	103
Tabela 4.8 – Características dos corpos de prova após a queima.....	103
Tabela 4.9 – Valores recomendados para cerâmicas vermelhas adotados pelo SENAI.....	104

LISTA DE FOTOS

Foto 2.1 – Blocos cerâmicos para vedação.....	49
Foto 2.2 – Blocos cerâmicos estruturais ou portantes.....	50
Foto 2.3 – Alguns tipos de telhas cerâmicas.....	52
Foto 3.1 – Vista geral de uma das frentes de lavra. Observa-se intercalações de lentes de argila roxa e areia.....	63
Foto 3.2 – Pacote sedimentar arenoso, com intercalações de lentes argilosas centimétricas.....	64
Foto 3.3 – Conglomerados.....	64
Foto 3.4 – Contato erosivo entre conglomerados e uma camada argilosa roxa.....	65
Foto 3.5 – Arenito conglomerático com estratificações cruzadas acanaladas.....	66
Foto 3.6 – Arenito conglomerático com estratificação plano-paralela, em contato brusco com uma camada de argila roxa.....	66
Foto 3.7 – Seqüência da base para o topo: argila roxa, argila cinza esverdeada e solo de alteração argiloso laterítico.....	67
Foto 3.8 – Argila com alta concentração de matéria orgânica, sobre camada de argila de coloração azul.....	67
Foto 3.9 – Extração do minério por processo de desmonte hidráulico.....	69
Foto 3.10 – Bacia de acumulação coma a draga que realiza a sucção do material desagregado (polpa) e envio para o beneficiamento.....	69
Foto 3.11 – Hidrociclones, onde o material mais fino é separado da areia.....	72
Foto 3.12 – Cone desaguador.....	72
Foto 3.13 – Silos, onde ocorre a separação da areia para comercialização.....	73
Foto 3.14 – Espessador.....	73
Foto 3.15 – Centrífuga.....	74
Foto 3.16 – Correia transportadora da argila obtida no final do processo.....	74
Foto 3.17 – Lagoa ou tanque de clarificação. Deste local a água é recuperada e reutilizada no processo de lavra e beneficiamento.....	75
Foto 3.18 – Amostras de argila provenientes do processo de beneficiamento.....	77
Foto 3.19 – Amostras selecionadas para os ensaios de caracterização.....	77

Foto 3.20 – Amostrador Jones utilizado para a separação das amostras para os ensaios de caracterização.....	78
Foto 3.21 – Amostras de argila após primeiro processo de amostragem.....	79
Foto 3.22 – Espectrômetro de dispersão (WDS) utilizado nas análises químicas.....	80
Foto 3.23 – Moinho de bolas tipo planetário, usado na preparação das amostras para o difratômetro.....	81
Foto 3.24 – Equipamento Malvern MMS do LCT EPUSP.....	82
Foto 3.25 – Galga, equipamento utilizado para a preparação da massa.....	85
Foto 3.26 – Extrusora utilizada para moldagem dos corpos de prova.....	85
Foto 3.27 – Corpos de prova utilizados nos ensaios cerâmicos.....	86
Foto 3.28 – Prensa utilizada para realização dos ensaios à flexão.....	87
Foto 3.29 – Fornos elétricos para realização da queima dos corpos de prova.....	89

RESUMO

O município de Guarulhos, localizado na Região Metropolitana da Grande São Paulo, possui uma área de 341 km², e população de aproximadamente 1.200.000 habitantes. Apresenta franco crescimento do ponto de vista urbano, o que o coloca como um grande consumidor de matérias primas para a construção civil. A atividade extrativista no município foi muito grande no passado, estando hoje restrita a três minerações de brita, três minerações de areia em atividade, e uma mineração de areia paralizada. As minerações de areia realizam a extração do minério utilizando o processo de desmonte hidráulico, resultando em um resíduo fino composto principalmente por argila. Esta argila atualmente é considerada como rejeito do processo de beneficiamento e descartada em bacias de decantação, quase sempre constituídas pelas antigas cavas de exploração. Ao término da lavra restam as cavas que devem ser recuperadas. O processo de recuperação mais utilizado consiste no tratamento paisagístico e formação de lago para utilização como área de lazer. O objetivo deste trabalho é propor a utilização da argila armazenada nas bacias de decantação (rejeito), assim como das camadas de argila segregadas no processo de extração (estéril) para cerâmica vermelha, prolongando a vida útil da mineração e promovendo um melhor aproveitamento da jazida. Para tal foram realizados ensaios para caracterização da matéria-prima e ensaios cerâmicos. Em um contexto mais amplo, a proposta do trabalho é fornecer parâmetros técnicos e sócio-econômicos para o desenvolvimento estratégico e sustentável da atividade mineral próximo a grandes centros urbanos, integrando-a ao uso do solo municipal e garantindo o suprimento dos recursos minerais industriais imprescindíveis para o desenvolvimento da cidade. É proposto ainda a utilização das cavas de extração remanescentes para disposição dos resíduos inertes oriundos da construção civil, integrada ao *Plano de Gestão dos Resíduos da Construção Civil*, desenvolvido pela Prefeitura do Município de Guarulhos.

Palavras-chave: Mineração. Areia. Argila. Cerâmica. Desenvolvimento Sustentável. Aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

The municipality of Guarulhos located in the Metropolitan Region of São Paulo has an area of 341 square kilometers and a population of approximately 1,200,000 inhabitants. It shows frantic urban growth what places it among major consumer centers of raw materials for civil construction. Mining activities in the municipality were of considerable importance in the past, being restricted nowadays to three quarries used for the production of crushed stone and four minings where extraction of sand is carried out. The hydraulic process is commonly used for ore extraction which results in a fine residue made up mainly of clay. This clay, currently considered as a by-product, is discarded in decanting basins which nearly always are old exploitation diggings. When mining exploitation comes to an end, the resultant diggings must undergo landscaping and formation of artificial lakes used as leisure areas. The objective of the proposed work is to make longer the mining lifetime as well as diversify its products through the utilization of the clay stored in the decanting basins as structural ceramics. As a whole the proposal is to present a contribution for the sustainable development of mineral activities near to great centers, currently in conflict with urban growth. Another proposal is to turn exploitation diggings into deposition sites of inert residue originated from civil construction works, this activity being integrated to the Civil Construction Residues Management Plan devised by the City of Guarulhos.

Keywords: Mining. Sand. Clay. Ceramic. Sustainable development. Utilization of residues.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação do tema	14
1.2 Aspectos do meio físico no município de Guarulhos	15
1.2.1 <i>Contexto geográfico</i>	15
1.2.2 <i>Contexto geológico regional</i>	17
1.2.3 <i>Hidrografia e relevo</i>	23
1.3 Aspectos da mineração no município de Guarulhos	24
1.3.1 <i>Diagnóstico da atividade mineral</i>	24
1.3.2 <i>O uso do solo e a mineração</i>	28
1.4 Premissa do trabalho e objetivo da pesquisa	32
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	34
2.1 A importância dos minerais de uso na construção civil	34
2.2 Definição de produtos cerâmicos	36
2.3 Cerâmica vermelha	40
2.3.1 <i>Matéria-prima</i>	40
2.3.2 <i>Processo de fabricação</i>	45
2.3.3 <i>Produtos</i>	48
2.3.3.1 <i>Blocos</i>	48
2.3.3.2 <i>Telhas</i>	51
2.3.4 <i>Aspectos mercadológicos e de produção</i>	55
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA	58
3.1 Trabalho de campo	58
3.1.1 <i>Aspectos da Mineração Floresta Negra</i>	58
3.1.2 <i>Levantamento geológico</i>	63
3.1.3 <i>Processo de lavra e beneficiamento</i>	68
3.1.4 <i>Coleta das amostras</i>	75
3.2 Ensaio de caracterização	76
3.2.1 <i>Preparação das amostras</i>	76
3.2.2 <i>Análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X</i>	79
3.2.3 <i>Análise mineralógica por difração de raios-X</i>	80
3.2.4 <i>Análise granulométrica por difração a laser</i>	82

3.3 Ensaio tecnológicos cerâmicos.....	83
3.3.1 <i>Preparação das amostras.....</i>	83
3.3.2 <i>Plasticidade.....</i>	84
3.3.3 <i>Moldagem e preparação dos corpos de prova.....</i>	84
3.3.4 <i>Umidade de extrusão.....</i>	86
3.3.5 <i>Contração linear de secagem.....</i>	86
3.3.6 <i>Resistência à flexão seco.....</i>	87
3.3.7 <i>Cor de queima.....</i>	88
3.3.8 <i>Perda ao fogo.....</i>	89
3.3.9 <i>Contração linear após queima.....</i>	90
3.3.10 <i>Resistência à flexão após queima.....</i>	90
3.3.11 <i>Massa específica aparente (MEA).....</i>	90
3.3.12 <i>Porosidade aparente e absorção de água.....</i>	91
3.3.13 <i>Determinação do resíduo.....</i>	91
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
4.1 Resultados dos ensaios de caracterização.....	93
4.1.1 <i>Análise química por fluorescência dos raios-x.....</i>	93
4.1.2 <i>Análise granulométrica por difração a laser.....</i>	94
4.1.3 <i>Difração de raios-x.....</i>	99
4.2 Resultados dos ensaios cerâmicos.....	102
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

