



Universidade Federal do Pará
Campus de Marabá
Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente

Ana Carla de Melo Moreira Campêlo

Aproveitamento da escória de alto-forno, do município de
Marabá, como matéria-prima para fabricação de material
cerâmico

Marabá
2009

Ana Carla de Melo Moreira Campêlo

Aproveitamento da escória de alto-forno, do município de Marabá, como matéria-prima para fabricação de material cerâmico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração:

Engenharia de Minas e Meio Ambiente

Orientador:

Prof. Dsc. Alexandre Buril de Macedo

Co-orientador:

Prof. Msc. Denilson da Silva Costa

Marabá
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Ana Carla de Melo Moreira Campêlo

Aproveitamento da escória de alto-forno, do município de Marabá, como matéria-prima para fabricação de material cerâmico

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração:

Engenharia de Minas e Meio Ambiente

Orientador:

Prof. Msc. Alexandre Buril de Macedo

Co-orientador:

Prof. Msc. Denilson da Silva Costa

Data de aprovação:

Banca examinadora:

_____ - Orientador

Membro: Alexandre José Buril de Macedo

Titulação: Mestre

Instituição: Universidade Federal do Pará

Membro: Roseane de Lima e Silva

Titulação: Doutora

Instituição: Universidade Federal do Pará

Membro: Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos

Titulação: Doutor

Instituição: Universidade Federal do Pará

*Dedico este trabalho às pessoas que
tanto amo: mamãe, papai, Aninha,
Hugo e meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus acima de tudo, por me dar coragem nos momentos mais difíceis desta jornada, permitindo que eu finalizasse este trabalho.

À meus pais, Ana Cristina de Melo Moreira e Sebastião de Mário Souza Moreira, que mesmo com muitas dificuldades me apoiaram e me proporcionaram amor incondicional. À minha irmã, Aninha de Melo Moreira pela orientação, dedicação, confiança, paciência e amizade.

À meu marido, Nonato Hugo Campêlo da Silva por toda dedicação, carinho, apoio, paciência, ajuda e compreensão.

À todos os amigos que conquistei em Marabá durante esta jornada de cinco anos, que sempre me ajudaram e apoiaram em meus estudos. Em especial à Maria Emília, Fernando, George, Ariadne, Dona Dina, Seu Rosinaldo, tios Adomiram, Juliane, Paula, Gisele, Acácio, Liliane, Lucas.

Ao Prof. Msc. Alexandre José Buriel de Macedo que me ajudou e compreendeu com paciência durante todo o período de orientação.

Ao Prof. Msc. Denilson da Silva Costa por todo auxílio durante o período que desenvolvemos o projeto de iniciação científica, o qual foi base de estudos para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato pelo auxílio e ensinamentos realizados.

À UFPA, pela oportunidade de realizar este curso e por estar sempre a nossa disposição quando necessário.

“A natureza não conhece a extinção; tudo o que conhece é transformação. Todas as coisas que a ciência me ensinou, e continua a me ensinar, fortalecem minha crença na continuidade da nossa existência espiritual após a morte.”

Werner Von Braun

SUMÁRIO

RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	11
LISTA DE TABELAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 DESENVOLVIMENTO.....	16
2.1 OBJETIVOS.....	16
2.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.2.1 Caracterização municipal.....	17
2.2.2 O complexo siderúrgico.....	24
2.2.2.1 Complexo siderúrgico de Marabá.....	24
2.2.2.2 Produção de ferro-gusa.....	26
2.2.2.2.1 <i>Descrição do processo produtivo.....</i>	<i>27</i>
2.2.2.3 Escória: um resíduo sólido industrial.....	31
2.2.2.3.1 <i>Escória.....</i>	<i>32</i>
2.2.2.3.2 <i>Metais pesados como resíduos sólidos da indústria.....</i>	<i>33</i>
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
2.3.1 Matérias-primas.....	35
2.3.2 Conformação dos corpos de prova.....	36
2.3.3 Planejamento experimental.....	36
2.3.4 Curva de secagem.....	38
2.3.5 Determinação do teor de umidade.....	38
2.3.6 Secagem dos corpos de prova.....	39
2.3.7 Queima dos corpos de prova.....	39
2.3.8 Determinação das propriedades cerâmicas.....	39
3 RESULTADOS E DICUSSÕES.....	41
3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA ARGILA.....	41
3.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA ESCÓRIA.....	41
3.3 CURVA DE SECAGEM.....	42
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS ATRAVÉS DO PROJETO FATORIAL COMPLETO (2 ³).....	43
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A VARIÁVEL DE RESPOSTA TRF.....	44
3.5.1 Efeitos estimados	44
3.5.2 Gráfico de barras (Diagrama de Pareto).....	46
3.5.3 Análise de variância (ANOVA).....	47
3.5.4 Gráfico de papel de probabilidade normal.....	48
3.5.5 Obtenção e análise do modelo estatístico.....	49

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A VARIÁVEL DE RESPOSTA AA.....	53
3.6.1 Efeitos estimados.....	53
3.6.2 Gráfico de barras (Diagrama de Pareto).....	54
3.6.3 Análise de variância (ANOVA).....	55
3.6.4 Gráfico em papel de probabilidade normal.....	55
3.6.5 Modelo estatístico.....	56
3.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A VARIÁVEL DE RESPOSTA MEA.....	61
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

RESUMO

O município de Marabá é um centro comercial dinâmico, potencializado pelas atividades da indústria siderúrgica. No seu parque industrial, existem dez usinas de produção de ferro-gusa. Como resíduo do material tratado nessas siderúrgicas, temos a escória. Esta acaba sendo gerada em grande quantidade despertando uma preocupação no que diz respeito aos impactos ambientais que pode ocasionar, contaminando solos e águas. Fazendo-se necessário o estudo de uma forma de aproveitar esse material. A alternativa demonstrada neste trabalho é o processo de fabricação de material cerâmico obtido por prensagem, utilizando como matérias-primas: escória de alto forno e argila provenientes do município de Marabá-PA. Foi avaliada a influência das variáveis de entrada diâmetro médio das partículas, proporção de escória e temperatura de secagem dos corpos de prova, por meio de um planejamento fatorial completo em dois níveis. As variáveis de resposta analisadas foram escolhidas dentre as que têm maior probabilidade de afetar a qualidade do produto acabado: tensão de ruptura à flexão (TRF) e absorção de água (AA). Foi obtido um modelo matemático, para cada resposta, capaz de prever adequadamente as variáveis de resposta, em função das variáveis de entrada estatisticamente significativas. Os resultados mostraram que o uso controlado de escória misturado à argila para fabricação de produtos cerâmicos é tecnicamente viável, demonstrando também viabilidade para ser uma alternativa eficiente na diminuição de problemas de poluição.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Escória. Argila. Cerâmica. Indústria Siderúrgica.

ABSTRACT

The municipality of Marabá is a dynamic commercial center, aggravated by the activities of the steel industry. In its industrial park, there are ten plants for the production of pig-iron. As residue material treated in the steel, we are scum. This has been generated in large numbers raising a concern regarding the environmental impacts that may result, contaminating soil and water. Making it necessary to study a way to reuse this material. The alternative shown in this work, has been studied the manufacture process of ceramic material obtained by compression, utilizing as prime-sources: disposal of blast furnace and clay proceeding from the city of Marabá/PA. Has been evaluated the influence of the inlet variables and the average diameter of the particles, disposal proportion and the drying temperature of the proof materials, by means of a complete factorial planning in two levels. The response variables analyzed had been chosen between the ones that have bigger probability to affect the quality of the finished product: rupture tension to flexion (RTF) and water absorption (WA). Has been obtained a mathematic model, for each issue, capable of predict the response variables, in function of the inlet variables statistically significant. The results shows that the controlled use of disposal mixed to the clay for the manufacture of ceramic products is technically viable, demonstrating as well viability to be an efficient alternative in the of diminution pollution problems.

Keywords: Environmental impacts. Scum. Clay. Ceramics. Steel industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de Marabá.....	18
Figura 2 - Complexo Siderúrgico de Marabá.....	25
Fotografia 1 - Produção de ferro-gusa.....	27
Figura 3 - Esquema de um alto forno siderúrgico a coque.....	29
Gráfico 1 - Perda de massa em função do tempo na temperatura de 100°C.....	43
Gráfico 2 - Gráfico de barras dos efeitos individuais e combinados para TRF.....	46
Gráfico 3 - Gráfico dos efeitos em papel de probabilidade normal para a resposta TRF.....	48
Gráfico 4 - Comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores experimentais para a resposta TRF.....	50
Gráfico 5 - Distribuição dos resíduos para a resposta TRF.....	51
Gráfico 6 - Superfície de resposta para TRF em função do diâmetro médio das partículas (X_1) e da proporção de escória (X_2).....	52
Gráfico 7 - Superfície de resposta para TRF em função da temperatura de secagem (X_3) e da proporção de escória (X_2).....	52
Gráfico 8 - Gráfico de barras dos efeitos individuais e combinados para AA.....	54
Gráfico 9 - Gráfico dos efeitos em papel de probabilidade normal para a resposta AA.....	56
Gráfico 10 - Distribuição dos resíduos para a resposta AA.....	58
Gráfico 11 - Superfície de resposta para AA em função do diâmetro médio das partículas (X_1) e da proporção de escória (X_2).....	59
Gráfico 12 - Superfície de resposta para AA em função da temperatura de secagem (X_3) e do diâmetro médio das partículas (X_1).....	59
Gráfico 13 - Superfície de resposta para AA em função da proporção de escória (X_2) e da temperatura de secagem (X_3).....	60
Gráfico 14 - Gráfico de barras dos efeitos individuais e combinados para MEA.....	62

Gráfico 15 - Gráfico dos efeitos em papel de probabilidade normal para a resposta MEA.....	63
Gráfico 16 - Comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores experimentais para a resposta MEA.....	64
Gráfico 17 - Distribuição dos resíduos para a variável de resposta MEA.....	65
Gráfico 18 - Superfície de resposta para MEA em função do diâmetro médio das partículas (X_1) e da proporção de escória (X_2).....	66
Gráfico 19 - Superfície de resposta para MEA em função do diâmetro médio das partículas (X_1) e da temperatura de secagem (X_3).....	66
Gráfico 20 - Superfície de resposta para MEA em função da proporção de escória (X_2) e da temperatura de secagem (X_3).....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da população de Marabá – 2000 à 2007.....	19
Tabela 2 - Variáveis de entrada e respectivos níveis.....	37
Tabela 3 - Matriz de planejamento para o projeto fatorial.....	37
Tabela 4 - Dados da análise granulométrica da argila.....	37
Tabela 5 - Dados das análises granulométricas da escória.....	41
Tabela 6 - Matriz de experimentos com os resultados das variáveis de resposta.....	44
Tabela 7 - Estimativa dos efeitos para a variável de resposta TRF.....	45
Tabela 8 - Análise de variância (ANOVA) para a variável de resposta TRF.....	47
Tabela 9 - Coeficientes de regressão para TRF.....	49
Tabela 10 - Estimativa dos efeitos para a variável de resposta AA.....	53
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) para a variável de resposta AA.....	55
Tabela 12 - Coeficientes de regressão para AA.....	57
Tabela 13 - Estimativa dos efeitos para a variável de resposta MEA.....	61
Tabela 14 - Análise de variância (ANOVA) para a variável de resposta MEA.....	62
Tabela 15 - Coeficientes de regressão para MEA.....	63