

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO TOTAL DE SILICA POR CINZAS DE CARVÃO MINERAL E LAMA VERMELHA

Autores: Botelho, F. A. (1); Girard, C. K. T. (2); Reis, A. W. C. (3); Souza, J. A. S. (4); Souza, C. A. G. (5);

Laboratório de Engenharia Química/Usina de materiais (LEQ/FEQ/ITEC/UFGA).

TV.: Mauriti; 4041. Bairro: Marco. CEP: 66095-360. Belém-Pa.

e-mail: fernandoaracaty@yahoo.com.br

RESUMO

O trabalho mostra um estudo das propriedades do concreto pré-moldado a frio para uso na construção civil, quando da adição de cinza de carvão mineral e Lama Vermelha, como materiais agregados e carga de material pozzolânico. Inicialmente foram desenvolvidos misturas para produção de blocos pré-moldados com substituição total de sílica por cinzas e lama vermelha. Trabalhou-se com misturas na proporção 1 : 3,5, ou seja, 1 parte de cimento e 3,5 partes de agregado. Foram realizados experimentos, com as seguintes proporções de cinza: 10%; 20%; 30%; seixo: 50%, 40%, 30% e lama vermelha na proporção de 40% mantida de forma constante em todos os ensaios. Nos blocos foram realizados ensaios para sua caracterização: massa específica, resistência à compressão, porosidade e absorção de água. Os resultados obtidos foram interessantes do ponto de vista de aplicação deste material, onde se podem verificar as diferentes resistências apresentadas.

Palavras-chaves: Concreto, Cinza, Lama Vermelha.

(1)- Fernando Aracati Botelho- Bacharel em Engenharia Química- Mestrando do PPEQ/FEQ/UFGA

(2) -Cássia Karina Teixeira Girard- Bacharel em Engenharia Química -Mestranda do PEQ/FEQ/UFGA

(3) –André Wilson da Cruz Reis- Bacharel em Engenharia Química – Mestrando do PPEQ/FEQ/UFGA

(4) - Profº Dr. José Antônio da Silva Souza - PPEQ/FEQ/UFGA

(5) – Profº Dr. Célio Augusto Gomes de Souza - PPEQ/FEQ/UFGA

1 INTRODUÇÃO

Sabemos que toda atividade humana resulta em alguma degradação ambiental. O desafio é minimizar esta degradação a níveis compatíveis com o desenvolvimento sustentável, ou seja, a integração do ambiente, economia e considerações sociais sobre quando e como o desenvolvimento deverá ser procedido. A construção civil é responsável por 20 - 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos no planeta. Além disto, o setor encontra-se envolvido em processos industriais altamente poluentes, tais como a fabricação do cimento, da cal e de produtos siderúrgicos em geral, Segundo Sarda (2003).

As principais justificativas para análise e investigação dos resíduos exemplificados com uso das cinzas e lama vermelha são: disponibilidade; fase vítrea de natureza silicoaluminosa; composição química interessante, capacidade de retenção de água, melhorando a qualidade dos produtos de hidratação; de granulometria fina para uso como agregado nos blocos de concreto de pré-fabricação, para ambos os resíduos. E também a possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente.

1.1 Cinza de carvão mineral

O principal resíduo gerado pela combustão do carvão mineral é a cinza. A produção mundial de cinzas a partir da combustão do carvão excede 550×10^6 toneladas/ano (REIJNDERS, 2005). Deste total apenas uma pequena parcela é reaproveitada, principalmente, na produção do clínquer utilizado para a fabricação do cimento *Portland* (indústria da construção civil), o restante é disposto em bacias de cinzas ou utilizado para tapar poços de minas esgotados, que sob ação da chuva acaba tornando-se um poluidor potencial para águas superficiais ou subterrâneas através da percolação de elementos-traços potencialmente tóxicos presentes neste resíduo (FERRET, 2004).

No Estado do Pará, está localizada a Unidade Industrial da Alumina do Norte do Brasil S/A (ALUNORTE), essa empresa gera grande quantidade de cinza, proveniente das caldeiras que utilizam fornalha de leito fluidizado, queimando carvão

mineral com baixo teor de enxofre. Na cinza cedida pela ALUNORTE, constatou-se que praticamente toda material passa na peneira de # 400. Portanto a cinza não necessita de tratamento prévio e pode ser utilizada diretamente como uma pozolana na mistura para confecção de concreto. A Figura 1 mostra a cinza utilizada na confecção dos blocos e a Tabela 1, mostra a análise química desta cinza realizada no Centro de Geociências da Universidade federal do Pará.



Figura 1- Cinza utilizada nos blocos.

Tabela 1- Composição química da cinza de carvão mineral.

Elementos	Teor(%)	Teor*(%)
Na ₂ O	0,09	0,941
MgO	0,46	1,836
Al ₂ O ₃	22,71	16,399
SiO ₂	51,71	42,53
P ₂ O ₅	0,08	0,194
S	0,65	-
K ₂ O	0,94	1,61
CaO	2,75	19,005
TiO ₂	0,86	0,897
MnO	0,04	0,073
Fe ₂ O ₃	5,93	7,081
PF	14,35	-
C.Orgânico	10,74	-
CO ₂ total	40,09	

Cl (ppm)	1030(ppm)	0,056
SO ₃	-	9,208
ZnO	-	0,014
Rb ₂ O	-	0,011
SrO	-	0,046
BaO	-	0,095
Rb ₂ O	-	0,011

Fonte: Tancredi; G; A; H. Estudo das Propriedades

1.2 Lama vermelha

A produção de 9,8 milhões de toneladas por ano (Alumar e Alunorte) de alumina (considerando as expansões que serão completadas em 2009) nos estados do Maranhão e Pará é um negócio com faturamento de cerca de US\$ 2,6 bilhões por ano (LME). Esta atividade gerará cerca de 12 milhões de toneladas/ano do resíduo conhecido como lama vermelha. A lama vermelha é classificada como resíduo classe 1 de acordo com a NBR 10004/2004 devido a alta alcalinidade e é estocada em grandes lagos impermeáveis não sendo reaproveitada. Durante muito tempo a lama vermelha foi considerada um resíduo inaproveitável para a indústria do alumínio, Chaves (1962).

A utilização da Lama Vermelha apresenta características muito interessantes para indústria de pavimentação e de revestimento, sendo aproveitada como carga e material pozolânico, com significativa economia de custo do concreto, sem prejuízo das suas propriedades.

Segundo Paranguru a reutilização da lama vermelha é feita em materiais de construção diversos, corantes, esmalte para vitrificação de cerâmica, produtos químicos inorgânicos, adsorventes para remoção de metais pesados os quais são especialmente bem documentados no livro de Thakur e Das. A Tabela 2 mostra o resultado da análise química realizada na lama vermelha cedida pela ALUNORTE.

Tabela 2 - Composição química da Lama Vermelha

CONSTITUINTES	COMPOSIÇÃO %
SiO ₂	18,3
Al ₂ O ₃	22,6
Fe ₂ O ₃	34,9
TiO ₂	5,56
CaO	1,32
Na ₂ O	9,31
V ₂ O ₅	0,28
K ₂ O	0,13
MgO	0,04
PF	7,56

Fonte: Venâncio, Luiz Carlos Alves (2010).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Matérias primas

As matérias primas utilizadas neste trabalho foram todas adquiridas em lotes únicos com quantidade suficiente para que fosse possível a realização de todos os ensaios necessários, os quais são:

- Cinza, lama vermelha, sílica, seixo e cimento *Portland*.

2.1.2 Equipamentos

- Estufa, Moinho de bolas, Misturador tipo betoneira, forma e prensa tipo manual, Rot-up, Equipamento AMSLER de resistência à compressão e Balanças Analíticas.

2.2 Métodos

Trabalhou-se com um determinado tipo de mistura para a confecção dos blocos objetivando-se fazer a comparação dos resultados obtidos. Usou-se a relação água/aglomerante de 28% de água adicionada à mistura de cada batelada. E estes foram definidas a partir de estudos na literatura, desta forma, temos:

Relação a/ag = 0,28 (6,30 litros)

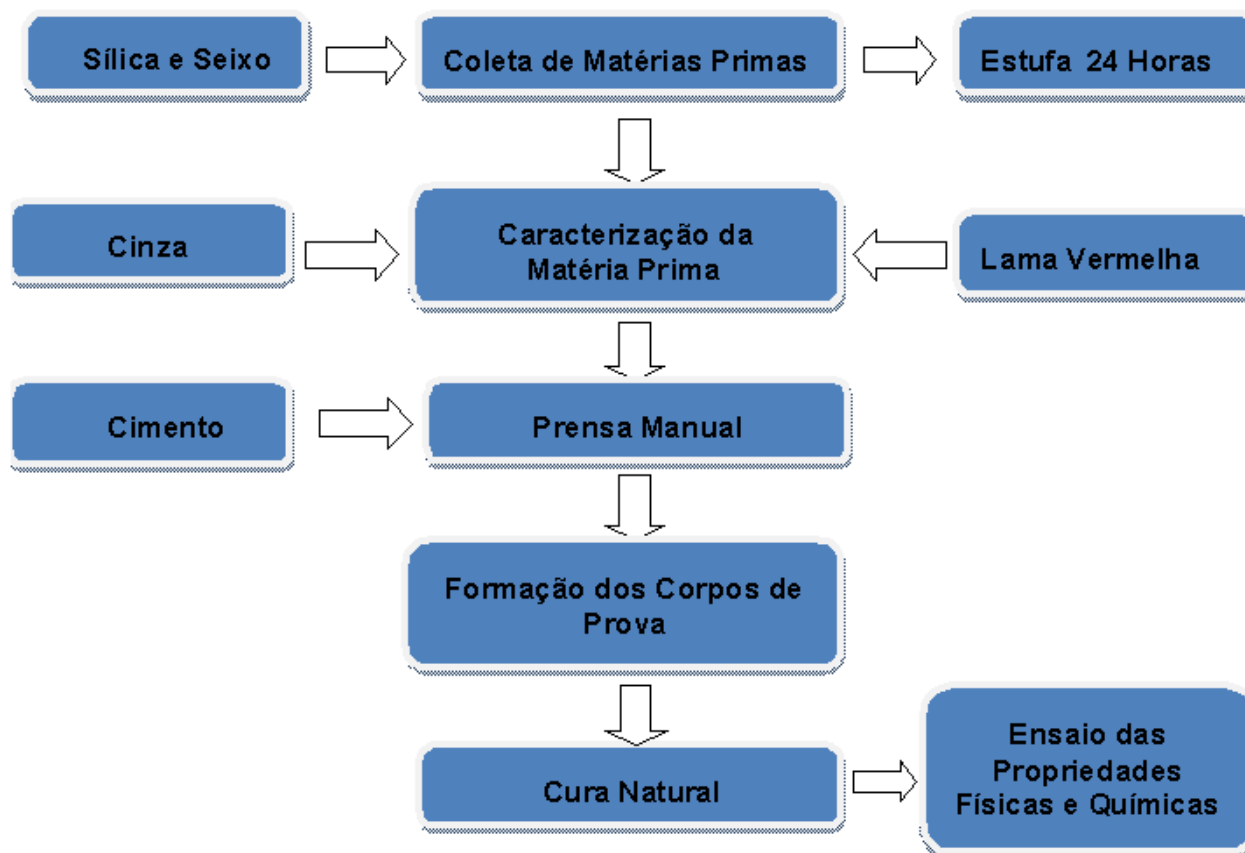


Figura 2 – Fluxograma do processo

Após o tratamento sofrido pelas matérias primas, foram fixadas as composições percentuais desses materiais a serem utilizados nas confecções dos blocos, onde foram estipulados três diferentes teores de adição de cinza e seixo para a mistura, também, manteve-se constante o volume de lama vermelha e cimento. A amostra 01 é o traço de referência. A Tabela 03 mostra os valores das matérias primas utilizada em Kg.

Tabela 3- Proporções de matéria prima utilizada na confecção dos blocos

Amostra	Lvermelha	Sílica(kg)	Seixo(kg)	Cimento(kg)	Cinza(kg)	Total(kg)
01	0	7,5	10,0	5,0	0	22,5
02	7,0	0,0	8,75	5,0	1,75	22,5
03	7,0	0,0	7,0	5,0	3,5	22,5
04	7,0	0,0	5,25	5,0	5,25	22,5

Utilizou – se a proporção de 1: 3,5 de cimento em todas as amostras (5 Kg de cimento), ou seja, 1 parte de cimento para 3,5 parte de agregado. Na Tabela 4 podemos observar os valores em porcentagem dos agregados utilizados. A amostra 01 é utilizada como referência (concreto padrão) para comparações com as outras amostras de composições diferentes.

Tabela 4- Proporções de matéria prima em porcentagem utilizada na confecção dos blocos

Amostra	Lvermelha(%)	Sílica(%)	Seixo(%)	Cinza(%)	Total(%)
01	0	42,86	57,14	0	100
02	40,0	0,0	50,0	10,0	100
03	40,0	0,0	40,0	20,0	100
04	40,0	0,0	30,0	30,0	100

2.2.1 Determinação de absorção de água, Massa específica, porosidade aparente do concreto (PA) e teste de Resistência

Os Ensaios foram realizados segundo a ABNT NBR 6220 / 1997 – Materiais refratários densos conformados – Determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Os corpos-de-prova foram pesados logo após a cura de 28 dias e depois submersos em água por 24h à temperatura ambiente (aproximadamente 30°C). Após esse tempo, foram novamente pesados a fim de calcular a porosidade aparente de cada corpo de prova.

- Porosidade aparente – Pa (%) É calculada através da Equação 1.

$$PA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde: M_u : é a massa úmida (g); M_s : é a massa seca (g); M_i : é a massa imersa (g).

- Massa Específica – ME(Kg/m³). É calculada através da Equação 2.

$$ME(g/cm^3) = \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (2)$$

- Absorção de água (%) É calculada através da Equação 3.

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100(\%) \quad (3)$$

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com as NBR 5739/2003, no equipamento AMSLER (Figura 3), localizado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (LEC/FEC/ITEC/UFPa).

Todos os blocos utilizados na realização do teste de resistência passaram por um tempo de cura de 28 dias.



Figura 3 – Equipamento AMSLER utilizado para ensaios de resistência a compressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Absorção de Água

Através da Figura 4 observa-se que ocorre um aumento na absorção de água à medida que tem-se um aumento no teor de cinza de carvão mineral nas amostras. Fato que pode ser justificado pelo aumento do volume de vazios no material, ocasionando esse aumento na absorção de água.

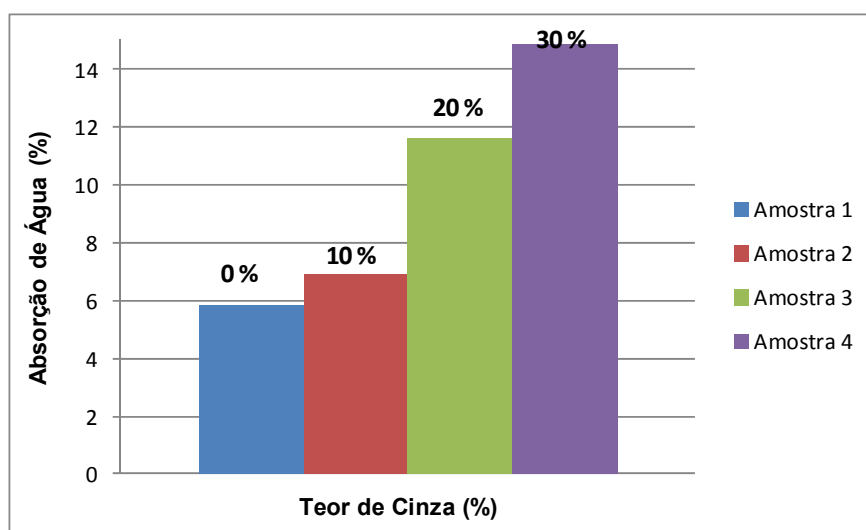


Figura 4 – Absorção de água em 28 dias

3.2 Massa Específica

A Figura 5 apresenta uma redução da massa específica com o aumento da adição de cinza de carvão mineral. Com uma maior quantidade de cinzas no bloco, maior será o volume de vazios nos traços, ocasionando uma redução na massa específica. As amostras 1 e 2 estudadas apresentam massa específica normal, que possuem valores que variam de 2 g/cm^3 a $2,8 \text{ g/cm}^3$, segundo Normas indicadas na NBR 8953/ 1992, ao contrário das amostras 3 e 4 que estão abaixo dos valores estipulados e portanto, sendo consideradas como concreto leve segundo Metha e Monteiro (1994).

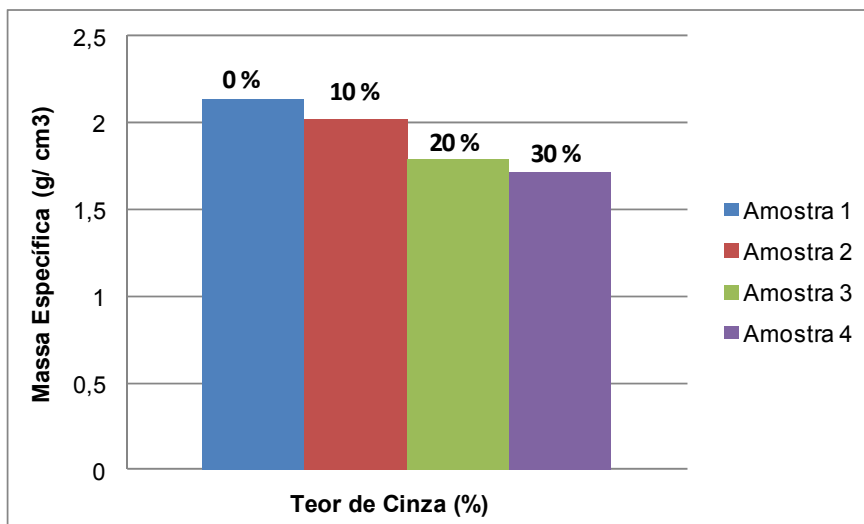


Figura 5 – Massa específica em 28 dias

3.3 Porosidade Aparente

Verifica-se na Figura 6 um aumento da porosidade aparente com o aumento da adição de cinza de carvão mineral, ou seja, ocorre um maior número de vazios no material, proporcionando assim uma maior porosidade ao mesmo.

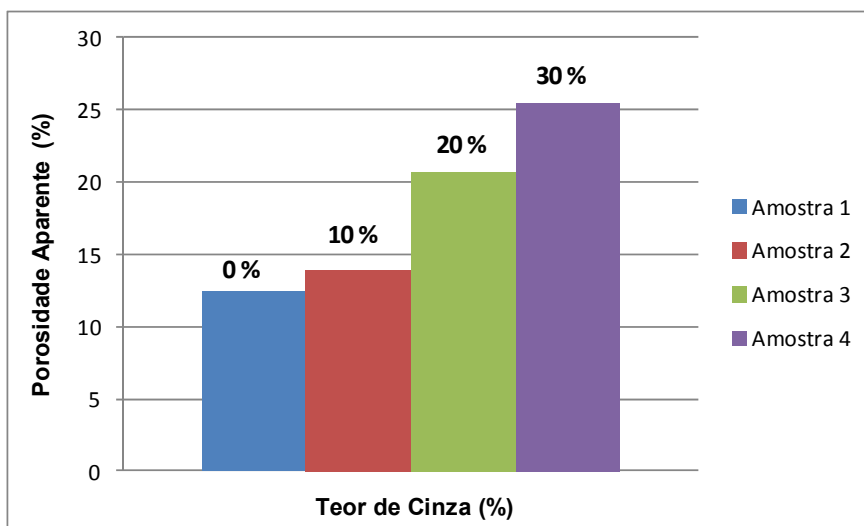


Figura 6 – Porosidade aparente em 28 dias

3.4 Resistência à Compressão

Com um tempo de cura de 28 dias, obteve-se um avanço das reações de hidratação dos componentes do cimento e consequentemente do progresso das

reações pozolânicas dos traços. A Figura 7 mostra que quanto maior a quantidade de cinza presente na mistura maior o valor da resistência à compressão. O traço de referência apresentou crescimento de resistência menor, fato esse que pode ser explicado devido a essa não apresentar a reação pozolânica pelo fato de ser o aglomerante composto 100% de cimento, sílica e seixo.

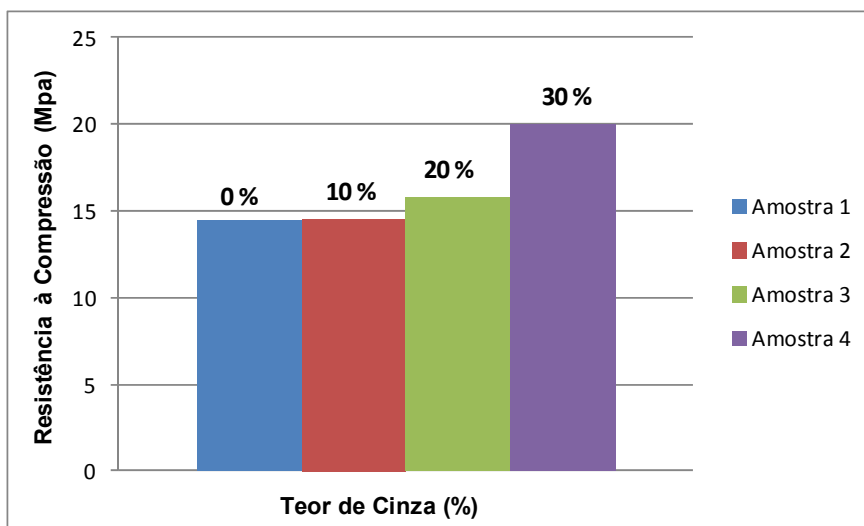


Figura 7 – Resistência à compressão aos 28 dias

4 CONCLUSÕES

- Os ensaios para a medida de massa específica, tensão à compressão e absorção de água apresentaram dados satisfatórios para os blocos produzidos a partir de cinzas de carvão mineral e lama vermelha, ao serem comparados com a legislação vigente segundo a norma NBR 8491 (1983).
- Os valores de resistência à compressão para os traços realizados com adição de cinza de carvão mineral e lama vermelha apresentaram valores superiores ao valor obtido no traço de referência, onde se podem considerar esses valores satisfatórios, visto que, em todos os testes foram obtidos valores dentro da legislação vigente e desta forma mostra-se que é possível acrescentar esses resíduos de forma controlada na mistura sem que haja prejuízo nas principais características exigidas para o consumo, sendo assim, é bastante vantajoso ambientalmente e economicamente a reciclagem deste rejeito.
- É interessante ressaltar que os concretos com adição de cinza e lama vermelha possuem maior ganho de resistência em comparação à amostra de

referência, fato que pode ser explicado pelo desenvolvimento das reações pozolânicas, ao qual foram possibilitadas pela grande quantidade de sílica nas partículas tanto de cinza quanto de lama vermelha, que reagiram com o CH produzido pelas reações de hidratação do cimento e também favorecido pela baixa granulometria dos resíduos.

- Verificou-se que as amostras 01, 02, e 03 caracterizam-se como concreto de baixa resistência, ou seja, com resistência abaixo de 20 Mpa, e a amostra 04 apresentou melhor resultado em relação a resistência à compressão e pode ser considerada como concreto de resistência moderada, cujo intervalo varia de 20 a 40 Mpa, segundo
- a NBR 8953/1992, cujas amostras podem ser utilizadas para determinadas finalidades na construção civil.

Referência Bibliográfica

CHAVES, A. G. F. **A lama vermelha e sua eliminação da fábrica de alumina. 2ª semana de estudos. Alumínio e Zinco.** Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos dos Alunos de Ouro Preto, MG, 1962.

FERRET, L. S. **Zeólitas de cinzas de carvão: síntese e uso.** 2004. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais)-PPGEM, UFRGS, 2004.

METHA, P. K.; MOTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

PARAMGURU, R. K., RATH, P. C., MISRA, V. N., **Trends in red mud utilization – a review**, Mineral Processing & Extractive Metall., Rev., 26:1-29, 2005.

REIJNDERS, L. Disposal, **uses and treatments of combustion ashes: a review.** Resources, Conservation and Recycling, v. 43, p. 313-336, 2005.

SARDÁ, M. C. **Diagnóstico do entulho gerado no município de Blumenau-SC: potencialidades de uso em obras públicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, 129f. 2003.

THARKUR, R. S. and DAS, S. N., **Red Mud Analysis and Utilization, Publication & Information Directorate**, ND and Wiley Eastern Limited, ND, India, 1994.

TANCREDI, G; A; H. **Estudo das Propriedades do Concreto Com Adição de Cinza de Carvão Mineral de Caldeira de Leito Fluidizado. 2010 .** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – PPEQ/Universidade Federal do Pará.

VENANCIO, L. C. A., **Processo de Neutralização de Resíduo de Bauxita com Sequestro de Carbono.** 2010, 69p.:Il. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Materiais) – PPGEM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Maranhão.