

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND COM ADIÇÃO DE SÍLICA XEROGEL EXTRAÍDA DA CINZA
DA CASCA DE ARROZ.

Bolsista: Otávio César de Paiva Valadares, CNPq.

MANAUS
2011

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND COM ADIÇÃO DE SÍLICA XEROGEL EXTRAÍDA DA CINZA
DA CASCA DE ARROZ.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO PARCIAL
PIB-E-0087/2010
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND COM ADIÇÃO DE SÍLICA XEROGEL EXTRAÍDA DA CINZA
DA CASCA DE ARROZ.
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA NA UFAM

Bolsista: Otávio César de Paiva Valadares
Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira Vasconcelos

MANAUS
2011

Todos os direitos deste relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas, ao Departamento de Construção da Faculdade de Tecnologia - FT e aos seus autores. Parte deste relatório só poderá ser reproduzida para fins acadêmicos ou científicos.

Esta pesquisa, financiada pelo Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amazonas, foi desenvolvida pelo Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Construção da Faculdade de Tecnologia – FT da UFAM.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND COM ADIÇÃO DE SÍLICA XEROGEL EXTRAÍDA DA CINZA
DA CASCA DE ARROZ.

Prof. Raimundo Pereira de Vasconcelos, Dr.
Orientador

Otávio César de Paiva Valadares
Bolsista

MANAUS
2011

RESUMO

Atualmente o cenário global vive um crescente desenvolvimento econômico, trazendo consigo o surgimento de grandes metrópoles e novas estruturas urbanas. Com isso a demanda por infraestrutura aumentou o que conseqüentemente acarretou um maior consumo de concreto. Entretanto, a produção de cimento, o principal ingrediente do concreto, tornou-se uma das principais fontes poluidoras da atmosfera, devido às emissões de gases, como o gás carbônico e o dióxido de enxofre durante o processo de sua fabricação, que contribuem para o aumento do efeito estufa. A necessidade da diminuição desses índices sugere uma busca pela redução do consumo de cimento. Dentre as alternativas se destaca a utilização de materiais que adicionados à mistura do concreto, conferem a este melhoria nas propriedades mecânicas quando comparados àquelas produzidas convencionalmente. Materiais como as pozolanas, são os que mais se destacam, pois, apesar de não possuírem nenhuma propriedade ligante isoladamente, quando adicionados à mistura do concreto reagem com o hidróxido de cálcio produzido no processo de hidratação do cimento e desenvolvem as propriedades de aglomerante hidráulico. Estudos comprovam que resíduos derivados da agroindústria, como a casca de arroz, apresentaram a atividade pozolânica devido à elevada concentração de sílica amorfa em sua estrutura. Assim a utilização desse tipo de resíduo tornou-se mais popular, ao promover melhoras na resistência de concretos e argamassas de cimento, pois ao reduzir o consumo de cimento, também diminui as emissões de gases nocivos referentes à sua produção, aliando ainda uma solução para o descarte inadequado da casca de arroz no meio ambiente. Utilizando o Método Hidrotérmico, a partir da cinza de casca de arroz, extrai-se a sílica que na forma de gel possui partículas nanométricas com área superficial superior e ótimas propriedades físico-químicas. Ao ser seca passa para a forma de xerogel e quando

adicionada ao concreto inicia no processo de hidratação a atividade pozolânica. Portanto, com a realização de ensaios com o concreto de cimento Portland com adição de sílica xerogel e com análises feitas na sílica será possível constatar sua atuação na mistura e sua influência na resistência final do concreto.

PALAVRAS-CHAVE: concreto de cimento Portland, atividade pozolânica, cinza da casca de arroz, Método Hidrotérmico, sílica xerogel.

ABSTRACT

Today the global scenario lives a rising economic development, bringing with him the rise of large cities and new urban infrastructure. With this increased demand for infrastructure which in turn led to greater consumption of concrete.. However, cement production, the main ingredient of concrete, has become a major source of air pollutants due to emissions of gases such as carbon dioxide and sulfur dioxide during their manufacture, contributing to the increase the greenhouse effect. The necessity of decreasing of these indexes suggest a search for reduction in cement consumption. Among the alternatives that highlights the use of materials added to the mixture of concrete, gives this improvement in mechanical properties compared to those produced conventionally. Materials such as pozzolans, are the ones that stand out because, despite not having any property ligand alone, when added to concrete mixture will react with calcium hydroxide produced in the process of hydration of cement and develop the properties of hydraulic binder. Studies show that materials derived from the agricultural industry, such as rice husk, showed the pozzolanic activity due to high concentration of silica in its structure. So using this type of waste has become more popular, to promote improvements in the resistance of concrete and cement mortars, because the reduced consumption of cement, also reduces greenhouse gas emissions related to production, combining a solution still the inappropriate disposal of rice husk in the environment. Using the hydrothermal method, from rice husk ash, is extracted from the silica gel that has the form of nanometric particles with higher surface area and excellent physical and chemical properties. When dry passes to the form of xerogel and when added to the concrete hydration process starts in the pozzolanic activity. Therefore, with the trials in the Portland cement concrete with addition of silica xerogel and silica in the analysis made possible to verify its performance will be in the mix and its influence on the ultimate strength of concrete.

KEY-WORDS: Concrete, Portland cement, Pozzolanic activity, Rice husk ash, Hydrothermal Method, Silica xerogel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de produção de cimento.....	20
Figura 2 - Cascas de arroz	26
Figura 3 - Cinza da casca de arroz.....	27
Figura 4 - Depósito de cinzas de casca de arroz ao longo de estradas vicinais.....	28
Figura 5 – Processo de formação do gel.....	31
Figura 6 – Betoneira	45
Figura 7 – Ensaio para consistência através do tronco de cone.	45
Figura 8 – Prensa para ensaio à compressão.	46
Figura 9 – Difração de Raios-X da sílica utilizada.....	47
Figura 10 – Resistência a compressão (MPa) X Idade de rompimento (dias).	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Óxidos que compõem o cimento.....	21
Tabela 2 – Principais compostos químicos do cimento.....	22
Tabela 3 - Especificações do superplastificante	37
Tabela 4 – Características físicas, granulométricas da areia quartzosa.....	40
Tabela 5 – Características físicas, granulométricas do seixo	41
Tabela 6: Ensaio de resistência a compressão (MPa x dias).	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Concreto de cimento Portland	18
3.1.1 Concreto e seus constituintes.....	18
3.1.2 Processo produtivo do cimento Portland.....	20
3.1.3 Hidratação.....	22
3.1.4 Consumo de Cimento	22
3.1.5 Impactos ambientais do setor	23
3.1.6 Materiais alternativos	24
3.2 Casca de Arroz.....	25
3.2.1 Disponibilidade do resíduo.....	26
3.2.2 A Casca de Arroz como fonte de energia e de Sílica	27
3.3 Sílicas	28
3.3.1 Forma geral de obtenção	29
3.3.2 Processo de formação do gel	30
3.3.3 Fatores que influenciam nas propriedades do gel.....	32
3.3.4 Estudos sobre sílica	33
3.4 Técnicas empregadas para a caracterização da sílica xerogel e do cimento Portland	34
3.4.1 Difração de Raios-X.....	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 Materiais utilizados	36

4.1.1 Água	36
4.1.2 Agregados	36
4.1.3 Cimento	36
4.1.4 Superplastificante	37
4.1.5 Reagentes.....	38
4.1.6 Papel filtro	38
4.1.7 Cinza de casca de arroz	38
4.2 Métodos utilizados.....	40
4.2.1 Cimento	40
4.2.3 Caracterização dos agregados.....	40
4.2.4 Extração da sílica xerogel.....	41
4.2.5. Caracterização da sílica	43
4.2.5.1 Difração de raios-X (DR-X).....	43
4.2.6 Método de dosagem do concreto de cimento Portland.....	43
4.2.7 Confeção, moldagem e rompimento dos corpos-de-prova de concreto de cimento Portland.....	44
5 RESULTADOS	47
5.1 Difração de Raios-X.....	47
5.2 Resistência a compressão	47
6 CONCLUSÃO.....	49
7 REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Desde o império Romano o uso de concreto foi difundido pelo mundo, sendo a palavra derivada do latim *concretus*, que quer dizer compacto ou condensado. Foi utilizado na construção de templos, edificações e obras em geral, e tornou-se hoje o material mais utilizado no mundo, com sua produção aumentando ano após ano. Além disso, é bem versátil, podendo ser moldado e transportado com facilidade, tem elevada resistência que possibilita o avanço e a criação de estruturas cada vez mais complexas. Tem como principal ingrediente em sua mistura o cimento Portland, além de agregados como pedra britada, seixo, areia e água, materiais abundantes na natureza.

Mas o uso do concreto atual começou com a descoberta do cimento, no século XVIII, pelo construtor britânico Joseph Aspdin que produziu um pó muito fino a partir de pedras calcárias e argila que, depois de misturado a água e seco, produziam um material muito rígido, tanto quanto as pedras naturalmente empregadas na construção. O material foi batizado por ele de cimento Portland, em homenagem a ilha de Portland, pois nesse local existiam pedras semelhantes a esse cimento. Sendo, dessa época até hoje o tipo de cimento mais utilizado na mistura de concreto (ABCP, 2010).

A origem da palavra cimento é derivada do latim *cæmentu*, que é um material que em contato com a água produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. Com a grande utilização do cimento como aglomerante hidráulico ele tornou-se uma das principais “*commodities*” mundiais, tornando-se um dos principais materiais utilizados nas construções.

O cimento do tipo *Portland*, é constituído principalmente de material calcário (como rocha calcária ou gesso), alumina e sílica (encontrados como argilas ou xistos) possuindo

maior resistência e durabilidade. O processo de fabricação consiste basicamente em moer a matéria-prima, misturá-la e queimar a uma temperatura de cerca de 1450 °C. O material resultante é o *clínquer*, que resfriado e moído, recebe a adição de um pouco de gesso para aumentar o tempo de pega, resultando o cimento *Portland* comercial (NEVILLE, 1997). Com o avanço das técnicas construtivas, projeto e execução de obras cada vez mais arrojadas, foi surgindo a necessidade da utilização de concretos com adições de cimento diferentes para adaptar-se às necessidades que surgiam.

Com o crescimento dos centros urbanos e de novos desafios construtivos o aumento do consumo de cimento foi inevitável. Estimativas atuais prevêm uma produção de cerca de 1,7 bilhões de toneladas de cimento Portland anualmente no mundo, quantidade suficiente para a produção de mais de 6 km³ de concreto por ano ou pelo menos 1 m³ de concreto por habitante (GARTNER *apud* GUILHERME).

As vendas no Brasil no ano de 2010, no período compreendido de janeiro a setembro do mesmo ano, tiveram um aumento de 15% quando comparado com os mesmo dados do ano anterior, com 43,74 milhões toneladas vendidas no ultimo ano. Assim é notável que o consumo de cimento no país tenda a aumentar (SNIC, 2010).

Da mesma maneira que o setor do cimento representa um dos termômetros da economia do país é também um grande poluidor da atmosfera. Na sua produção existem duas principais atividades: a mineração de calcário e a fabricação de cimento; e ambas necessitam de muito combustível, assim, a indústria de cimento é associada às emissões de compostos gasosos como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio e material particulado nocivo à saúde.

Em números, cerca de 75% das fontes emissoras de gases de efeito estufa, tem como responsáveis a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento. Santi e Sevá (1999) afirmam que, os compostos formados e depois emitidos pelas chaminés com os demais gases

e material particulado, podem provocar sérias alterações no meio ambiente próximo à fábrica e impactos negativos nas populações ali presentes, sua toxicidade e seus efeitos cumulativos, insidiosos, levando as pessoas expostas ao risco de adoecimento.

Contudo, diante dos problemas ocasionados pela fabricação do cimento, surge a necessidade de reduzir sua produção e automaticamente minimizar os seus impactos ambientais. E com o intuito de obter uma redução no consumo de cimento, usam-se estratégias para contornar este problema como a utilização de adições minerais à mistura, em substituição parcial ao aglomerante, no caso o cimento Portland, de modo a obter uma melhoria nas propriedades finais da mistura, tanto no estado fresco como no concreto endurecido. Contribuindo tanto com o meio ambiente quanto para a economia, devido à redução de cimento na composição da argamassa.

As cinzas da casca de arroz, geradas durante a queima da casca nas empresas beneficiadoras do grão, são pozolanas já divulgadas por diversos estudos, obtidas mediante o tratamento térmico, mecânico e às vezes químico do resíduo (LIBÓRIO, 2005) (CORDEIRO, 2006). ILLER (1976) e Kalapathy, *et al* (2000) desenvolveram um método que necessita de menor emprego de energia mecânica e térmica, e que tem como produto final um gel de sílica (rede tridimensional de partículas coloidais de sílica amorfa), o qual possui elevada pureza e geralmente é empregado como adsorventes de íons metálicos (CHAVES, 2008), e em filmes poliméricos (FERREIRA, 2005).

Para a obtenção desta sílica, na forma de gel, extraída da cinza da casca do arroz é utilizado este método, também conhecido como método Hidrotérmico. Nesta pesquisa buscou-se encontrar resultados referentes à adição de sílica na matriz cimentícia do concreto de cimento Portland, objetivando comprovar e explicar um ganho de resistência maior do que as dosagens sem adições de sílica.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Estudar a influência da adição da sílica xerogel obtida a partir da cinza de casca de arroz, sobre a resistência mecânica do concreto de cimento Portland.

Objetivos específicos:

1. Produzir sílica xerogel a partir da cinza da casca de arroz pelo método Hidrotérmico;
2. Determinar as características físicas da sílica xerogel relevantes para a aplicação em concreto de cimento Portland;
3. Determinar a melhor dosagem do concreto de cimento Portland com adição de sílica xerogel;
4. Avaliar a resistência axial do concreto produzido com a adição de sílica quando comparadas com aquele produzido sem essa adição;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Concreto de cimento Portland

Tendo o seu uso inicialmente difundido no período do império Romano as estruturas de concreto, desde já, visavam atender as necessidades da sociedade, que na época destacavam-se por grandes construções como a de edificações, templos, aquedutos e obras em geral, destacando-se inicialmente por utilizar em sua composição materiais que são abundantes na natureza. Gerando após o preparo da mistura um material estável e coeso daí a origem da palavra *concretus*, que em latim quer dizer compacto ou condensado, sendo esta sua principal qualidade.

Atualmente o seu consumo aumenta com o passar dos anos. Além disso, o concreto possui uma ótima resistência à água, pode ser moldado e com a popularidade do seu uso tornou-se o material, na maioria das vezes, mais viável em diversas partes do mundo. O concreto de cimento Portland é composto de água, agregados, cimento Portland e muitas vezes contam com acréscimo de aditivos que podem proporcionar características adicionais na mistura, como corrigir determinadas características do concreto. Como o cimento Portland é o responsável por grande parte das propriedades hidráulicas do concreto ele também é conhecido como concreto de cimento Portland (METHA, 2008).

3.1.1 Concreto e seus constituintes

Segundo METHA (2008) o concreto atualmente é o material mais utilizado por, pelo menos, três razões, a primeira é que ele resiste de maneira excelente à água, qualidade esta utilizada aplicada desde a época dos romanos com a construção de aquedutos para o

transporte de água. A segunda é a capacidade de o concreto poder ser moldado com facilidade, quando ainda fresco, e ainda, podendo ser também moldado em um local e transportado sob diferentes formas para diversos lugares, o que com o passar dos anos permitiu a criação de novos elementos estruturais. A terceira qualidade que o concreto possui e o torna ainda mais difundido é o seu preço aliado à sua disponibilidade. Os principais constituintes dessa mistura são os agregados, a água e o cimento Portland, materiais relativamente baratos e disponíveis em diversas partes do mundo.

E estas qualidades devem-se aos materiais e suas propriedades que juntas compõem o concreto utilizado atualmente. Em síntese, o concreto é uma mistura de partículas ou fragmentos de agregados, que depois de misturados com a argamassa de cimento, que é gerada através da mistura cimento com água, produz um compósito hidráulico.

O agregado é um material granular que presente na mistura do concreto, encontra-se inerte, e possui uma função estrutural. É chamado de agregado graúdo quando é encontrado sob a forma de seixo rolado ou pedra britada sendo maior que 4,75mm, ou agregado miúdo quando menores que 4,75mm e maiores que 75 μ m (METHA,2008).

O cimento pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sobre a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais. O cimento Portland foi criado pelo construtor inglês Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra, construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. Daí a origem do nome cimento Portland (ABCP, 2010).

3.1.2 Processo produtivo do cimento Portland

O processo de produção de cimento é iniciado com a britagem e moagem da rocha de calcário que em seguida é dosada em proporções adequadas, com argila moída tendo como base parâmetros químicos. Logo após, em um moinho a matéria crua é misturada e é pulverizada de modo a tornar suas partículas menores, em média 0,050 mm (Figura 1).



Figura 1 - Processo de produção de cimento.

Fonte: http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/fabricacao.shtml

Dos silos de homogeneização a mistura atravessa então um forno giratório com 6 metros de diâmetro e de 50 a 150 de comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450°C. O intenso calor calcina a mistura e a transforma em um novo material, denominado *clínquer*, que se apresenta sob forma de pelotas escuras. Na saída do forno o *clínquer*, ainda incandescente, é bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó. O *clínquer* desenvolve uma reação química de hidratação em presença de água, e por isso é misturado com gesso para retardar o início dessa reação. As

adições de gesso, escória de alto-forno, pozolana e o próprio calcário são colocados para compor os diversos tipos de cimento (NEVILLE, 1997).

A sua composição é resultante da transformação das fases minerais dos constituintes das rochas calcárias e argilosas, em minerais metaestáveis, durante a queima, conforme mostrado na Tabela 1.

Composição do cimento		
Nome	Óxido	Abreviação
Dióxido de Silício	SiO ₂	S
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	A
Óxido de Ferro	Fe ₂ O ₃	F
Óxido de Magnésio	MgO	M
Óxido de Enxofre	SO ₃	S
Óxido de Sódio	Na ₂ O	N
Óxido de Potássio	K ₂ O	K
Cal livre	CaO	C

Tabela 1 - Óxidos que compõem o cimento.

Fonte: METHA, 2008.

Sendo o clínquer o principal item na composição de cimentos Portland seus compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

As matérias-primas da composição são abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo aproximadamente 93% de calcário, 7% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro. Entretanto na produção do *clínquer*, o núcleo do processo de fabricação de cimento, encontra-se a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo do processo. Assim, podemos dizer que os principais compostos químicos do cimento utilizado no concreto, formados a partir dos óxidos, mostrados na tabela anterior, são:

Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	(C_3S)
Silicato bicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	(C_2S)
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	(C_3A)
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	(C_4AF)

Tabela 2 – Principais compostos químicos do cimento.

Fonte: METHA, 2008.

3.1.3 Hidratação

Segundo NEVILLE (1997) as reações que ocorrem na pasta de cimento e água estão relacionadas à necessidade dos componentes do *clínquer* atingirem seu campo de estabilidade sob as condições do ambiente em que está inserido. Durante a hidratação do cimento os elementos químicos rearranjam-se em novos sistemas cristalinos. Os silicatos e aluminatos formam produtos de hidratação que com o decorrer do tempo dão origem a uma massa firme e dura, a pasta de cimento endurecida. Esses produtos têm baixa solubilidade em água, sendo o hidróxido de cálcio um dos principais produtos da reação de hidratação.

3.1.4 Consumo de Cimento

De acordo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC, a Ásia destaca-se com uma produção na ordem de 2.542 milhões de toneladas de cimento. Sozinha, em 2006, a China foi responsável por 48% da produção do cimento no mundo, sendo que até mesmo países como os Estados Unidos e a Índia não foram capazes de ultrapassar a marca de 1.220,8 milhões de toneladas em 2006. O Brasil, ocupando o 10º lugar no ranking mundial, tendo uma participação de apenas 1,7%, produzindo em média, 42 milhões de toneladas de

cimento, contribuiu com 29,3% da produção e 29,9% do consumo, sendo líder de produção e consumo de cimento na América latina. O consumo per capita de cimento no mundo é de 332 kg/hab. e no Brasil de 188 kg/hab. Em média a evolução do consumo de cimento do mundo aumentou, apesar do consumo dos brasileiros terem diminuído (SNIC, 2008).

Segundo o SNIC nos primeiros dois meses de 2011 a região norte teve um aumento no consumo de cimento na ordem de 17% quando comparado com o mesmo período de 2010, e de acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2008) no período de 1999 a abril de 2007 o consumo de cimento no estado do Amazonas foi de 3.630.952 toneladas, o que equivale a 1,22% do consumo nacional. Já a produção anual do estado foi de 5.152.893 toneladas, neste mesmo período, o que representa 1,64% da produção anual do Brasil.

3.1.5 Impactos ambientais do setor

O consumo de cimento Portland está associado a um crescente aumento de gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera, onde a sua produção é responsável pela liberação de cerca de uma 222 kg de CO_2 para cada tonelada de cimento, valor referenciado pela taxa de emissões globais de CO_2 do total da produção de cimento. Desta forma a indústria de cimento contribui com cerca de 5% das emissões antropogênicas e consome aproximadamente cerca de 2% da energia de consumo primária mundial (WORREL, 2001).

As características tecnológicas e operacionais do processo de fabricação do cimento produzem poluentes, onde os gases emitidos mais importantes são representados pelo CO_2 , que contribuem para o efeito estufa, resultante da decomposição térmica do CaCO_3 e de MgCO_3 , introduzidos fundamentalmente pelo calcário, vapores de água, em pequenas quantidades, produzidos a partir da cozedura do material cru e gases combustíveis produzidos

a partir do forno, sendo esses os parâmetros operacionais os motivos decisivos para os níveis e as características das emissões dos poluentes atmosféricos, em especial, os fornos rotativos de *clínquer*.

Os níveis e as características, das emissões dos poluentes atmosféricos primários, dependem das características tecnológicas e operacionais do processo industrial da composição química e mineralógica das matérias-primas e da composição química dos combustíveis empregados (SANTI & SEVÁ, 1999).

Com isso, podemos dizer que produzir cimento significa poluir, uma vez que sua produção está relacionada com a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Segundo o IPCC (2010), o principal efeito do aquecimento global, na América Latina, será a savanização da região oeste da floresta amazônica, por volta de 2050. E o Nordeste do Brasil poderá se tornar uma região árida.

3.1.6 Materiais alternativos

Determinadas adições minerais quando misturadas à matriz cimentícia do concreto, reagem com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação, resultando na formação de silicato de cálcio hidratado, pois o hidróxido de cálcio sofre hidrólise sob estas condições. Assim a matriz tem um ganho de resistência, sem o acréscimo de consumo de cimento, pois ocorre um aumento na quantidade de silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

Das adições minerais a que mais se destaca é a utilização de pozolanas que, além de, ser uma alternativa à redução do uso do cimento, são todos aluminossilicatos reativos naturais, que predominantemente em forma vítrea e moídos ao grau de finura do cimento se solubilizam em meio alcalino e reagem em solução com íons Ca^{2+} , levando à precipitação de silicatos de cálcio hidratado (SILVA, 2007).

Entretanto as pozolanas não têm em si propriedades aglutinantes e necessitam de uma fonte de cálcio liberada na hidratação do concreto de cimento Portland para desenvolverem as suas propriedades hidráulicas. Sendo o cálcio a parte mais solúvel e perigosa do cimento, há grande interesse em fixar a cal sob forma insolúvel, para impedi-la de reagir ou dissolver-se, resultando em compostos hidráulicos estáveis e insolúveis em água. (PETRUCCI, 1976). Da mesma maneira a sílica amorfa, principal constituinte das pozolanas, reage principalmente com o hidróxido de cálcio formado na hidratação dos silicatos de cálcio do *clínquer* ou do cimento Portland.

Além da substituição do cimento a utilização de pozolanas tem o objetivo de melhorar as características do compósito, aumentando sua durabilidade, com a diminuição dos poros e da permeabilidade, melhorando a trabalhabilidade e aumentando a resistência à compressão e tração, e que devido ao menor tamanho das partículas, há um melhor adensamento dos grãos de cimento em virtude do preenchimento dos vazios entre eles (efeito *filler*). Esta ação densifica a matriz, tornando-a mais compacta, aumentando a coesão, diminuindo a exsudação interna e, conseqüentemente, reduzindo a espessura do filme de água que envolve os agregados, melhorando assim a zona de interface.

Logo, adições minerais, como as pozolanas, em substituição ao cimento, contribuem com o meio ambiente, com a matriz cimentícia e proporcionam economia.

Segundo COCINA (2003) estudos mostram que resíduos derivados da agroindústria, como a casca de arroz, apresentam atividades pozolânica devido à elevada concentração de sílica amorfa. Assim, a utilização desses resíduos promove além da melhoria de concretos e argamassas, o reaproveitamento dos mesmos, ao evitar o seu descarte no meio ambiente.

3.2 Casca de Arroz

3.2.1 Disponibilidade do resíduo

O arroz é um dos cereais mais cultivados no mundo e por constituir a base da alimentação de determinados países seu consumo passa a ser um indicativo de países em desenvolvimento. Mundialmente o Brasil representa em torno de 1,8% da produção total mundial, com a safra de arroz em casca de 12.121.721 toneladas em 2008. Atualmente, a produção estimada para o ano de 2011 é de 12,2 milhões de toneladas apresentam um aumento em 7,2% sua produção quando comparado com o ano anterior (IBGE,2011). Todo este resíduo pode gerar cerca de 480 mil toneladas de sílica, considerando que as cascas constituem 22% do arroz e que elas possuem um teor médio de 18% em peso de sílica.

Entretanto, devido ao grande volume de arroz produzido, ocorre certa dificuldade em dar uma destinação final às cascas de arroz relacionadas ao local de armazenagem, manuseio e transporte, devido a sua baixa densidade. A Figura 2 mostra as cascas de arroz que foram utilizadas para o beneficiamento desse tipo de grão.



Figura 2 - Cascas de arroz

Fonte: DELLA, 2001.

3.2.2 A Casca de Arroz como fonte de energia e de Sílica

Impulsionados pela evolução tecnológica do beneficiamento do arroz, a casca do arroz vem sendo utilizada como fonte de energia devido ao seu elevado poder calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg, o qual corresponde a 50% da capacidade térmica de um carvão betuminoso de boa qualidade e a 33% da capacidade térmica do petróleo), em substituição à lenha. Esta utilização surge, ainda que pequena como alternativa para o aproveitamento deste resíduo. Entretanto este processo gera outro resíduo, a cinza de casca de arroz, que contém além de matéria orgânica remanescente, pó de sílica, com partículas de forma acicular, que quando inaladas causam doenças ao sistema respiratório, a silicose, e em contato com a pele, irritação. (DELLA, 2001).

Algumas empresas beneficiadoras de arroz são as principais consumidoras das cascas como combustível para a secagem e parbolização do cereal. Como não há emprego para a cinza recolhida, esse material estocado, acaba sendo lançado de forma clandestina no meio ambiente, muitas vezes ao longo de estradas vicinais, aterros baldios ou lançadas em cursos d'água, ocasionando poluição e contaminação de mananciais (Figura 3 e 4). Órgãos têm tentado minimizar essas atividades, porém, ainda assim, as cinzas têm sido depositadas ao longo de estradas vicinais, tornando-se um grave problema ambiental (FERREIRA, 2005).

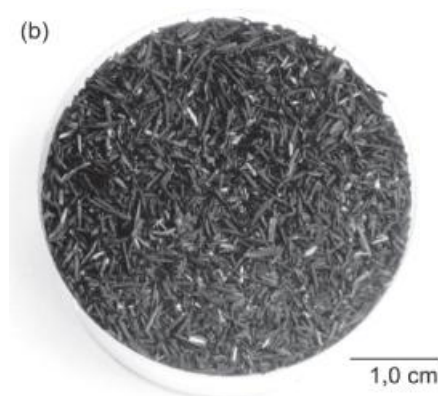


Figura 3 - Cinza da casca de arroz

Fonte: DELLA, 2001.



Figura 4 - Depósito de cinzas de casca de arroz ao longo de estradas vicinais

Fonte: SANTOS, 1992.

As cinzas geradas na queima das cascas apresentam alto teor de sílica, desta forma, uma alternativa de aproveitamento deste resíduo é a produção de sílica, que pode ser utilizada em diversas aplicações, como na fabricação de cimentos, de abrasivos, como aditivos na área de polímeros e como fonte de silício. A fabricação de sílica utilizando as cinzas da casca de arroz possibilita a geração de produtos de maior valor agregado minimizando um problema ambiental criado pela produção de arroz.

3.3 Sílicas

Na Terra, o silício é o segundo elemento mais abundante (depois do oxigênio) na superfície, compondo 25,7% da massa da crosta terrestre. O silício é normalmente encontrado na forma de dióxido de silício (também conhecido como sílica) e silicato.

Em forma solúvel a sílica é encontrada basicamente em todas as plantas, animais e seres vivos. Nas plantas, especialmente capim, incluindo grãos e cascas; a sílica é incorporada a partir do solo e depositada nos tecido com característica microscópicas amorfa, constituindo assim certas partes do esqueleto estrutural. Na casca de arroz distribui-se entre os três

principais componentes orgânicos, a celulose, lignina e hemicelulose; mas é distribuída principalmente na epiderme externa da casca (FERREIRA, 2005).

Para a indústria a sílica, pura ou na forma mineral, é amplamente utilizada. Na forma de areia, a sílica é usada como matéria-prima de vários materiais empregados na construção civil, dentre eles concreto, cimento e argamassas.

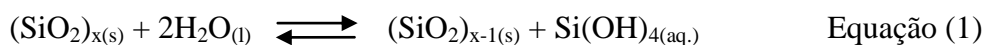
A sílica pode ser classificada como aquagel (poros preenchidos com água), xerogel (fase aquosa dos poros removida por evaporação) e aerogel (solvente é removido por extração supercrítica). A característica comum dos géis e pós de sílica é que eles consistem nas últimas partículas de sílica de tamanho coloidal, que variam de 1 a 100 nm de diâmetro.

O pó de sílica pode consistir em grânulos pequenos de gel de sílica ou de agregados de partículas que são unidas em redes extremamente fracas. Teoricamente, um pó de sílica poderia consistir em partículas de sílica separadas, discretas, mas quando o diâmetro de partícula for menor que 100 nm, as partículas se aderem espontaneamente em agregados soltos. Porém, quando as partículas discretas são muito maiores (5000 – 50.000 nm), as forças aderentes se tornam tão baixas que as partículas não atraem uma ao outra.

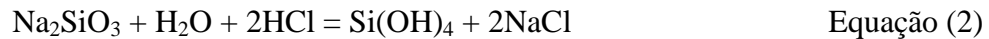
Deve-se ressaltar que há certa incerteza se as últimas partículas de sílica estão suficientemente separadas de forma que os poros entre eles sejam acessíveis para o cálculo da área superficial, porém é assumido que os poros dos sólidos nos quais áreas de superfície estão sendo determinadas são tais que, a superfície é geralmente acessível durante o ensaio.

3.3.1 Forma geral de obtenção

A sílica, quando solubilizada, apresenta-se na forma monomérica do ácido silícico Si(OH)_4 .



Soluções supersaturadas de monômeros de Si(OH)_4 podem ser formadas quando uma solução aquosa de silicato solúvel é acidificada, usualmente o silicato de sódio, e através da hidrólise de ésteres ou haletos de silício.



Em soluções cujo pH é superior a 10,7 a sílica amorfa dissolve-se formando silicato solúvel correspondendo a uma solubilidade de 876 mg/l (ALEXANDER *apud* CHAVES, 2008).

3.3.2 Processo de formação do gel

Durante a gelificação de uma solução de ácido silícico, esta aumenta em viscosidade e finalmente forma um gel, mediante um processo de polimerização. A polimerização é um processo de união de várias moléculas idênticas para formar uma nova molécula mais pesada, sendo dividida em três fases:

1. Polimerização de monômero para formar partículas;
2. Crescimento de partículas;
3. União de partículas em cadeias ramificadas, e então, em redes, que se estendem pela solução e aumentando a viscosidade, formando um gel (Figura 5).

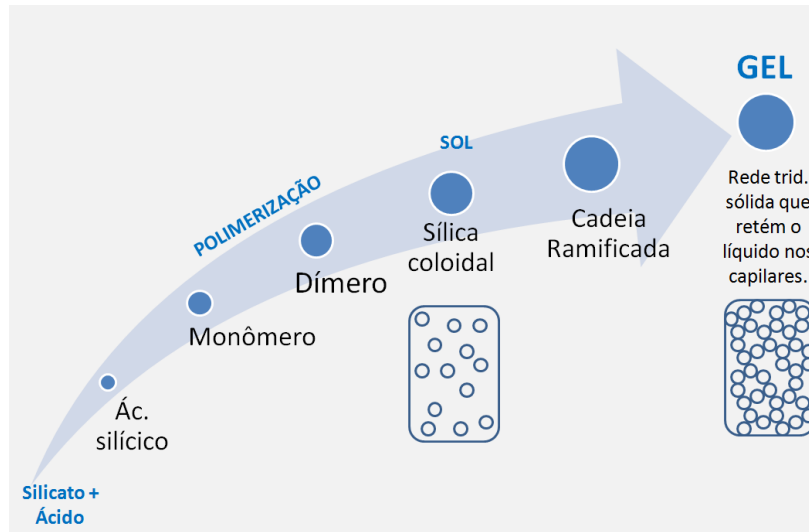
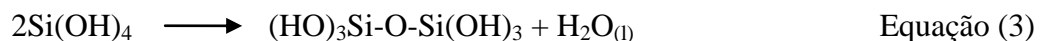


Figura 5 – Processo de formação do gel

Fonte: LIMA, 2009.

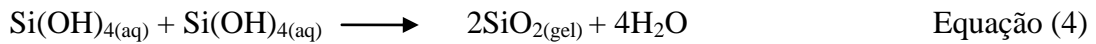
Durante os primeiros instantes em que o silicato (Na_2SiO_3) entra em contato com o ácido (HCl) ocorre a formação de ácido silícico ($\text{Si}(\text{OH})_2$). O ácido silícico em soluções com concentrações menores que 2 mmol/l permanece como monômero, já em soluções concentradas é termodinamicamente instável, tendendo a se polimerizar formando ácido polissilícico de baixo peso molecular, que evolui até a formação de partículas coloidais.

As partículas coloidais iniciam sua formação com a condensação de um monômero, formando um dímero em seguida. Esta estrutura continua o processo de condensação através das hidroxilas, com a formação das ligações siloxanas (Si-O-Si), até atingir o tamanho de uma partícula coloidal, descrita pela equação:



O termo "sílica coloidal" aqui recorre a dispersões estáveis ou sóis de partículas discretas de sílica amorfa. O sol, caso não esteja em condições estabilizadas, sofre um

processo de agregação onde as partículas coloidais se ligam formando cadeias ramificadas, resultando em uma rede tridimensional sólida que retém o líquido nos capilares, o gel.



Antes de o sol solidificar, só um aumento lento na viscosidade pode ser notado, com pequena mudança em outras propriedades, até certo ponto onde a viscosidade começa a aumentar rapidamente e a solidificação acontece ao “ponto de gel”.

O ponto de gel não indica a conclusão de formação da estrutura do gel. O sol restante, em algumas regiões, continua se solidificando. Durante este período, o gel começa a encolher, havendo a contração da rede e o aparecimento de água.

3.3.3 Fatores que influenciam nas propriedades do gel

Os principais fatores que influenciam a preparação da sílica gel são: pH, temperatura, presença de eletrólitos, concentração de SiO_2 e tamanho de partícula do sol.

pH - O pH é o principal fator no tamanho das partículas já que a união das partículas ocorre quando a carga de suas superfícies está baixa e suas partículas acabam colidindo. Assim, entre o pH 5 e 7 a aglomeração é maior, e as partículas menores são formadas em pHs menores que 6. No pH 2 a carga das superfícies são iguais e a aglutinação não ocorre (ponto isoelétrico).

Eletrólitos - Em pH inferior a 3,5, os eletrólitos apresentam pouca influência sobre a taxa de condensação. Mas o aumento da razão aumenta a taxa de polimerização e, conseqüentemente, diminui o tempo de gelificação, resultando na formação de grandes

partículas primárias de sílica, o que favorece a diminuição da área de superfície específica e do volume de poros.

Concentração de SiO_2 - Quanto maior a concentração menor a distância entre as partículas, logo mais rápido a gelificação. A taxa de condensação e tempo de formação do gel são inversamente proporcionais ao quadrado da concentração de sílica e influenciada pelo pH e agentes coagulantes (íons sódio e cloro).

Temperatura – O aumento da temperatura intensifica os choques entre as partículas, dessa maneira, quanto maior a temperatura maior o tamanho das partículas do sol.

Secagem - Uma secagem lenta pode proporcionar a reorientação das partículas do gel. A secagem em câmara úmida para pH baixo, aumenta a superfície específica e a porosidade. Para pH neutro é recomendado a secagem em microondas. Para pH elevado a secagem no microondas e na estufa aumentam a porosidade.

3.3.4 Estudos sobre sílica

Junior (2004) utilizou em seus estudos a cinza de casca de arroz como material pozolânico e mostra um excelente potencial como pozolanas das cinzas resultantes da queima da casca de arroz, e além disso, que não têm sido muito utilizadas para produção de concreto tanto no Brasil quanto no exterior. Este atribui ao fato de que as cinzas de boa atividade pozolânica geralmente possuem teores elevados de carbono (acima de 5%), produzindo uma coloração cinza-escura no concreto, pouco aceita no mercado consumidor.

Kalpathy (1999, 2000 e 2002) realizou estudo da preparação e caracterização sílica gel extraída da cinza da casca de arroz. Em 2000, propôs um método simplificado para a obtenção de sílica pura da cinza da casca de arroz, o gel obtido sem lavagem posterior apresentou 93% de SiO_2 . Ele afirma que a limpeza do gel é mais eficiente se ele for feita com

o xerogel, diminuindo as quantidades de Na e K. A lavagem do carvão limpo com ácido diminui a quantidade de Ca da amostra. Em 2000, este melhorou o método proposto obtendo sílica mais pura com pH menor (pH = 4).

Kalapathy (2000) também avaliou a estrutura, densidade e força mecânica afetadas pelo pH de gelificação e pela concentração de sílica. Confirmou-se com este estudo que há variação de pH devido a variação da concentração de SiO_2 , e que em pH 10 a força do gel era maior, havendo aumento da formação do gel com a diminuição do pH.

Ferreira (2005) desenvolveu um processo de obtenção de filme polimérico a partir de silicato de sódio feito da extração química da cinza da casca de arroz. As cinzas restantes do processo foram avaliadas para o emprego como adsorventes.

Chaves (2008) preparou sílica organofuncionalizada a partir de casca de arroz, com capacidade adsorvente de íons, modificando a superfície da partícula e utilizando o processo hidrotérmico para a obtenção da sílica gel. Sílica xerogel mesoporosa foi obtida, e o processo foi considerado de baixa energia elétrica e térmica.

3.4 Técnicas empregadas para a caracterização da sílica xerogel e do cimento Portland

3.4.1 Difração de Raios-X

É o ensaio mais indicado na determinação, caracterização e distinção dos diferentes estados de ordem nos materiais. Os Raios-X, foram descobertos em 1896 e assim como a luz visível é uma onda eletromagnética, mas com comprimento de onda muito inferior. O fenômeno ocorre através da emissão de um feixe de raios-x que incide sobre o material, ocorre uma interação com os átomos do material, que se ordena em planos separados entre si, resultando no fenômeno da difração. Tal fenômeno ocorre segundo a Lei de Bragg (equação

05), que estabelece uma relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram.

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\theta)$$

Equação (05)

n = número inteiro;

λ = comprimento de onda dos raios-x;

d = distância interplanar;

θ = ângulo de difração

A difração de raios-x destaca-se por ser um método qualitativo e diferente de outros métodos é rápido e confiável na identificação dos diferentes estados de ordem das estruturas atômicas do material.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais utilizados

4.1.1 Água

A água utilizada para na produção da sílica xerogel foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade do Manaus e passou por um processo de deionização. O seu pH, medido durante o trabalho apresentou seu valores próximos de 7,0. Já para a confecção dos corpos de prova e de concreto foi utilizada a água da rede de abastecimento de Manaus sem a necessidade de outro processo durante a sua confecção.

4.1.2 Agregados

Foram utilizados na pesquisa agregados naturais, vendidos no mercado local da região metropolitana de Manaus. O agregado graúdo utilizado na pesquisa foi o seixo rolado, também chamado de cascalho, que é originário da desagregação de rochas preexistentes, e o agregado miúdo selecionados foi areia do tipo quartzosa proveniente do Rio Negro, principal curso d'água da Bacia do Amazonas, em Manaus.

4.1.3 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland tipo – I, fabricado pela empresa Cimento Amazonas, sem aditivos minerais, e com as características conforme NBR 5732 (1991). Buscou-se comparar o desempenho do concreto com adição de sílica xerogel com o do concreto sem adição, também chamado de traço padrão. Para a confecção dos

corpos de prova com adição de sílica utilizou-se o mesmo lote de cimento do traço padrão, com o objetivo de manter as mesmas características em todo o ensaio.

4.1.4 Superplastificante

Procurando obter um aumento na trabalhabilidade na mistura e no adensamento do concreto sem aumentar a quantidade de água na mistura, utilizou-se o aditivo MURAPLAST FK 100 B que de acordo com o fabricante, age como dispersor das partículas de cimento, reduzindo a tensão superficial da água, melhorando a distribuição das partículas de cimento e agregado, obtendo uma melhora na coesão e na trabalhabilidade do concreto. Sendo uma solução de cor marrom e instantaneamente dispersa em água. Segundo o fabricante, o aditivo possui as características conforme a tabela 2.

Dados Técnicos – MURAPLAST FK 100 B			
Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,20	
Dosagem	%	0,2 – 1,0	Sobre o peso do cimento.
Características – MURAPLAST FK 100 B			
Tipo de produto	Plastificante multifuncional de pega normal.		
Estado	Líquido.		
Cor	Marrom.		
Armazenagem	Tambores em local seco e arejado.		
Validade	12 meses a partir da data de fabricação.		
Embalagem	Tambor.		
Descarte	Para preservação do meio ambiente, favor esvaziar totalmente a embalagem.		

Tabela 3 - Especificações do superplastificante

Fonte: MURAPLAST FK 100 B (2011).

4.1.5 Reagentes

Os reagentes empregados na produção de sílica xerogel, mais especificamente na produção de sílica em gel, foram o hidróxido de sódio e o ácido clorídrico, que respectivamente foram utilizados para a solubilização do gel e limpeza das impurezas encontradas na cinza de casca de arroz. O uso do ácido clorídrico possibilitou em outra etapa a formação de silicato de sódio em forma de gel.

4.1.6 Papel filtro

No processo de extração de sílica gel utilizou-se: papel de filtro quantitativo Quanta® JP42, de filtragem lenta e com a maioria dos poros de 8 μ m, em conjunto com um funil de porcelana, uma bomba de vácuo e dois kitassatos, que proporcionaram no processo de limpeza da cinza que em presença do ácido clorídrico promove a retenção das partículas de cinza de casca de arroz e passagem de impurezas. Já em outro processo, o filtro promoveu a retenção da cinza e a passagem do silicato de sódio para sua futura solubilização.

4.1.7 Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz utilizada na pesquisa foi cedida pela empresa beneficiadora de arroz Urbano Agroindustrial, localizada em Jaguará do Sul no estado de Santa Catarina. Ao produzirem o arroz, geram a casca como resíduo, que possui elevado poder calorífica e grande disponibilidade. Quando queimada a 700 °C, de maneira controlada, a casca de arroz,

gera energia a um custo muito baixo, e como resíduo do resíduo obtêm-se a cinza de casca de arroz.

4.2 Métodos utilizados

4.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP - I da marca Cimento Amazonas onde a composição química e os compostos do cimento foram fornecidos pelo fabricante.

4.2.3 Caracterização dos agregados

Os agregados utilizados no experimento foram classificados de acordo com a norma “Agregados para concreto” NBR 7211 (1993). As características dos agregados, grãos e miúdos, encontram-se na tabela 03 e na tabela 04.

Abertura da Peneira (mm)	Quantidade Retida Acumulada (g)	Percentual Retido Acumulado (%)	Características granulométricas	
4,75	0,00	0,00	Dimensão máxima	1,19
2,36	0,90	0,18	Modulo de Finura	2,50
1,19	4,90	0,98	Classificação	Média
0,6	39,80	7,96		
0,3	252,00	50,40		
0,15	463,40	92,68		
0,074	487,10	97,42		
Fundo	500,00	100,00		

Tabela 4 – Características físicas, granulométricas da areia quartzosa

Fonte: Laboratório de Ensaio de Materiais da UFAM

Abertura da Peneira (mm)	Quantidade Retida Acumulada (g)	Percentual Retido Acumulado (%)	Características granulométricas	
25,4	0,00	0		
19,1	185,50	3,71	Massa Específica	1,71 g/cm ³
12,5	1399,40	27,98		
9,52	2499,30	49,98		
4,76	4119,60	82,39		
2,38	4724,20	94,48		
1,19	4827,60	96,55		
0,6	4904,70	98,09		
0,3	4969,60	99,39		
0,15	4984,00	99,68		
0,074	4998,70	99,97		
Fundo	5000,00	100,00		

Tabela 5 – Características físicas, granulométricas do seixo

Fonte: Laboratório de Ensaio de Materiais da UFAM

4.2.4 Extração da sílica xerogel

As cascas de arroz foram coletadas na empresa beneficiadora de arroz Urbano Agroindustrial e através da COPPE - RJ, o material foi conduzido para a UFAM onde foram realizados os ensaios para extração da sílica das cinzas.

A cinza utilizada foi colocada em um pulverizador de rotor da marca Pulverisett® 14, com anel de peneira com abertura de 0,5 mm. De acordo com o manual do equipamento, ele explica que aproximadamente 2/3 do material pulverizado é moído mais fino que a metade do diâmetro dos furos.

Utilizando a cinza moída e baseando-se na metodologia feito por Kalapathy (2002), dividiu-se o método Hidrotérmico em quatro etapas: limpeza do carvão, extração da sílica do cinza limpa em forma de silicato de sódio, formação do gel com a diminuição do pH do silicato de sódio e secagem do gel, passando a ser denominado xerogel.

Afim de que o processo não sofresse interferências de impurezas, a água utilizada foi destilada e logo depois deionizada.

Segundo estudos realizados por LIOU *et al* (1997) onde avaliou-se os efeitos do tratamento das cascas de arroz com diferentes ácidos sobre a pureza da sílica obtida. Foi observado que o ácido clorídrico (HCl) promove maior remoção dos metais presentes como impurezas. Sendo sua manipulação feita com a utilização de uma máscara semi-facial, um equipamento de proteção individual com um filtro contra gases ácidos.

A vidraria, os frascos de armazenamento e outros materiais utilizados no processo foram desmineralizados com solução de ácido clorídrico 20% v/v, seguida de lavagem com água deionizada.

Para promover o aquecimento e agitação constantes das amostras utilizaram-se conjuntamente: aquecedores e agitadores magnéticos, barrinhas magnéticas de 5 cm de comprimento e vidro de erlenmeyer. Onde as amostras eram aquecidas até a fervura, o que muitas vezes ocorria em torno de 90 °C.

Nas filtrações do processo de extração de sílica gel, utilizou-se: papel de filtro Quanty® JP42, funil de porcelana, rolha, kitassato 1 (para coleta do material passante pelo filtro), mangueira (para conectar os kitassatos entre si e com a bomba), kitassato 2 (para reter e evitar estrada de líquido no interior da bomba) e bomba a vácuo.

Com a diminuição do pH da solução de silicato de sódio em agitação houve a formação do gel quando a solução de alcalina passou para um pH ácido.

Logo após a gelificação fez-se o rompimento da estrutura física do gel com uma haste de vidro, em seguida, a lavagem feita após a quebra foi executada com o acréscimo de água destilada e agitação vigorosa. Em seguida, com a decantação do gel, a água em demasia era descartada e trocada por mais água destilada. Esta lavagem foi realizada seis vezes para cada amostra. Com este processo foi possível a remoção do sal da amostra.

Depois da lavagem, foi colocado álcool em uma vasilha e despejou-se o gel com a intenção de secá-lo em estufa para obtenção do xerogel e uma rápida evaporação da água. Após a secagem da sílica a mesma foi macerada em almofariz antes da aplicação, para depois ser, então, adicionada em matriz cimentícia.

4.2.5. Caracterização da sílica

4.2.5.1 Difração de raios-X (DR-X)

A difração de raios-X foi utilizada com o objetivo de determinar se a amostra de sílica xerogel apresenta um caráter ou estado amorfo na ordem de sua estrutura atômica.

O equipamento utilizado nas análises foi o difratômetro LabX XRD-6000 X-Ray Diffractometer, da marca Shimadzu, do laboratório de difração de raios X do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, com radiação monocromática de cobre, operando a 40 kV e 30 mA.

4.2.6 Método de dosagem do concreto de cimento Portland

Para avaliar a resistência mecânica do concreto com adição de parte de cimento por sílica xerogel, foram feitas dosagens com relação água/aglomerante de aproximadamente 0,47.

Escolheu-se usar o aditivo superplastificante para obtenção um concreto com a mesma trabalhabilidade e assim comparar de uma forma mais adequada às dosagens dos traços padrão e com adição de sílica xerogel. Buscando não interferir na relação água/aglomerante do concreto retirou-se a quantidade de água existente na dosagem pela contida no plastificante.

4.2.7 Confeção, moldagem e rompimento dos corpos-de-prova de concreto de cimento Portland

Foram confeccionados corpos de prova de acordo com a norma NBR 5738 (2003) referente à “Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto”. Para os traços com adição de sílica xerogel foi realizada primeiramente a mistura do superplastificante com a água e logo em seguida do cimento com a sílica xerogel, e depois os agregados.

Após o processo de mistura, com a betoneira (Figura 9), foi efetuado o ensaio “Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone” para determinação da consistência normal (Figura 10), tendo como principio a NBR NM 67 (1996). Sendo feita em seguida a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de acordo com a norma NBR 5738 (2003).



Figura 6 – Betoneira



Figura 7 – Ensaio para consistência através do tronco de cone.

Para o processo de cura dos corpos-de-prova, adotou-se a imersão em água saturada com cal em câmara úmida, como especificado pela norma NBR 9479 (1994), e o capeamento a base de enxofre para rompimento em prensa hidráulica pela norma NBR 7680 (2007).

Os corpos-de-prova moldados foram submetidos ao ensaio de compressão axial, seguindo a norma NBR 5739 (1994), que prescreve o ensaio a compressão dos corpos-de-prova, utilizando-se a prensa de compressão modelo EMIC de 200 ton., acoplada à prensa universal EMIC de 30 toneladas do Laboratório de Materiais de Construção da UFAM (Figura 09). O software utilizado, Tesc®, é que gerencia a automação do ensaio, conjuntamente com o servidor VirMaq®. Os corpos de prova serão submetidos à cargas de velocidade constante de 0,25 MPa/s.



Figura 8 – Prensa para ensaio à compressão.

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção – Faculdade de Tecnologia da UFAM

5 RESULTADOS

5.1 Difração de Raios-X

A análise da amostra em ensaios de difração de raios-X (DR-X) provou ser útil para a constatação do seu caráter amorfo da sílica xerogel, além disso, foi possível analisar se a amostra de sílica ainda continha cloreto de sódio, proveniente da extração química. O caráter amorfo, nessa etapa, foi de grande importância, pois permite que a sílica, quando hidratada no concreto, reaja com o hidróxido de cálcio do cimento, formando o composto silicato de cal hidratado, o que promove uma maior resistência ao concreto com adição de sílica.

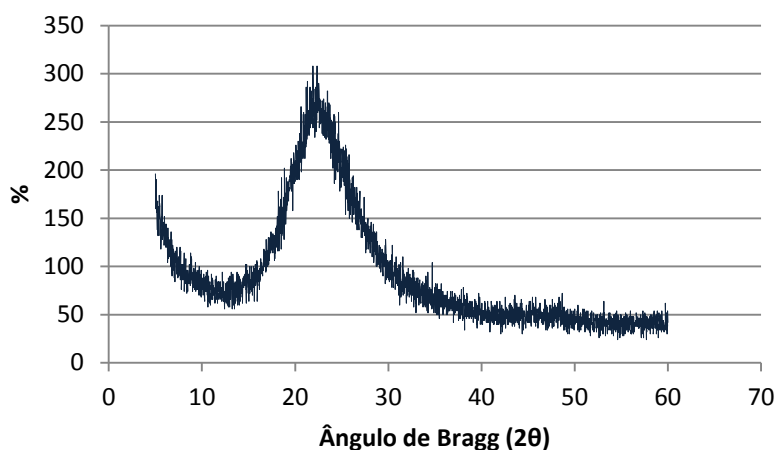


Figura 9 – Difração de Raios-X da sílica utilizada.

Fonte: Laboratório de Geociências – Instituto de Ciências Exatas da UFAM

5.2 Resistência a compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme recomenda a norma NBR 5739 (ABNT, 1996), que tem como objetivo o método de ensaios à compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Os valores obtidos aos três, sete e vinte e oito dias de idade permitem evidenciar uma ótima correlação entre os métodos de ensaios, conduzindo a resultados próximos, onde o traço padrão comparado com o da adição de cinco por cento de sílica empregado mostra o desempenho da sílica xerogel em questão.

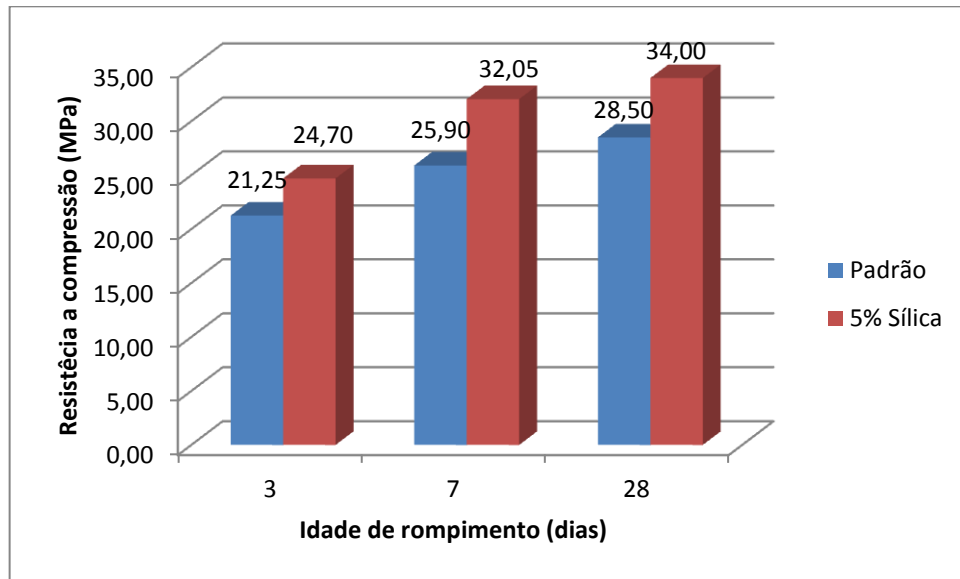


Figura 10 – Resistência a compressão (MPa) X Idade de rompimento (dias).

Fonte: Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) – Faculdade de Tecnologia da UFAM

Ensaio de resistência a compressão			
Dias	3	7	28
Traço	Resistência		
Padrão	21,25	25,90	28,50
5% Sílica	24,70	32,05	34,00

Tabela 6: Ensaio de resistência a compressão (MPa x dias).

Fonte: Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) – Faculdade de Tecnologia da UFAM

6 CONCLUSÃO

Através de estudos realizados e consultas em outros trabalhos da literatura, foi possível constatar que a casca de arroz, mesmo após queimada para geração energia ainda possuía sílica em sua estrutura. Entretanto o processo de queima define muito a estrutura ou o arranjo do mineral, podendo este ser amorfo ou cristalino. Tal análise foi comprovada com a difração de raios-X (DR-X) que determinou o material como amorfo, o que resulta na melhoria da resistência e durabilidade de concretos e de argamassas. Assim a sílica amorfa fixa a cal livre gerada na hidratação do concreto e da argamassa, criando um compósito hidráulico estável e mais resistente. Através do ensaio de compressão feito com adição de 5% de sílica xerogel extraída da cinza da casca do arroz obteve-se um aumento na resistência axial na ordem de 20% maior que quando comparado ao corpo-de-prova padrão, mostrando assim o seu potencial uso na adição da matriz de cimento do concreto.

7 REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/concreto.shtml>. Acesso em: 29 out. 2010.

ALBERS, A. P. F., MELCHIADES F. G., MACHADO R., BALDO J. B., BOSCHI A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP, Praça Candido Dias Castejón, 116, 12245-720, Centro, S. José dos Campos, SP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1996. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland comum**: NBR 5732. Rio de Janeiro, 1991. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003. 06 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio à compressão de corpos-deprova cilíndricos de concreto - Método de ensaio**. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007. 04 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação**. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1982. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação**: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2005. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. NBR 9776. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Especificação**: NBR 12653. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto**: NBR 12654. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica parente e absorção de água.** NM-53. Rio de Janeiro, 2002.

ALEXANDER, G. B.; HESTON, W. M.; ILLER, R. K. **The solubility of amorphous silica in water.** J. Phys. Chem., v. 58, p. 453-455, 1954.

AIROLDI, C.; FARIAS, R. F.. **O uso de sílica gel organofuncionalizada como agente sequestrante para metais.** Química Nova, July/Aug. 2000, vol.23, n°4, p.496-503. ISSN 0100-4042.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção I.** 5ª Edição Ed. LTC. Rio de Janeiro, 2008. 488p.

BELMONTE, E. P.. **Espectroscopia por fluorescência de raios x por reflexão total: um estudo simulado utilizando o método de Monte Carlo.** Dissertação de Mestrado em Ciências de Energia Nuclear. Universidade federal do rio de janeiro, COOPE. Rio de janeiro, 2005.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Análise do Setor de Cimento no Brasil.** Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/files/textos/032.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2010.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Dados Econômicos e Estatísticos - Estatísticas de Emprego e Informações Sociais.** Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Busca: **cimento**. Acesso em: 28 nov. 2010.

COCINA E. V., *et al.* **Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical conductivity measurement: A kinetic-diffusive model.** Cement and Concrete Research, 33, 2003, 517 - 524 p.

CONPLAST SP430,. **Certificado de análise n°13068.** Lote: 00448201001, Mogi das Cruzes – São Paulo. 2008.

CONPET - Programa do Ministério de Minas e Energia. **Cimento é 3º maior emissor de CO₂ do planeta: Indústria busca desenvolver tecnologias menos poluentes.** Disponível em: http://64.233.167.104/search?q=cache:Obp9i9nN38gJ:www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php%3Fsegmento%3D%26id_noticia%3D317+produ%C3%A7%C3%A3o+de+cimento+nacional+polui%C3%A7%C3%A3o&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=12&gl=br . Acesso em: 28 nov. 2010.

CORDEIRO, G. C.. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CHAVES, M. R. M. C.. **Preparação de sílica organofuncionalizada a partir de casca de arroz, com capacidade adsorvente de íons metálicos.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D.. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. *Química nova*, vol.24,n.6 (2001) 778-782.

EMBRAPA - Sistemas de Produção: **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil.** ALGENOR, S. G.; MAGALHÃES, A. M.. Sistemas de Produção, 3 ISSN 1806-9207 Versão Eletrônica. Nov./2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap18.htm> >. Acesso em 21 dez. 2010.

FERREIRA, C. S.. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

FLORÊNCIO, R.V.S.; Selmo, S.M.S.. **Estudo comparativo de granulometria a laser para fins da reciclagem de resíduos de construção e demolição.** 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2161 - 2172p. Foz do Iguaçu, 2006.

GARTNER, E. M., 2004, **Industrially interesting approaches to 'low-CO₂' cements.** Cement and Concrete Research. v. 34, n. 9, pp. 1489-1498.

IBGE. **1º Prognóstico da Produção Agrícola Nacional para 2011 dos principais produtos agrícolas.** Disponível em: <
http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1750&id_pagina=1>. Acesso em: 21 dez. 2010.

ISAIA, G. C.. O concreto: da Era Clássica à Contemporânea. IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. **Concreto: Ensino, pesquisa e realização.** Volume 1. Editor G.C. Isaia. São Paulo, 2005.

ISAIA, G. C.. Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. **Materiais de Construção Civil.** Volume 1 e 2. Editor G.C. Isaia. São Paulo, 2007.

ILLER, R. K. **The chemistry of Sílica - Solubility, polymerization, colloid and surface properties, and Biochemistry.** New York. John Wiley & Sons, 1976.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (sigla em inglês). **Relatório:** Aquecimento global já afeta o mundo inteiro.. Redação Portal. Programa do Ministério de Minas e Energia - CONPET, 2007. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/quioto/noticia.php?segmento=corporativo&id_noticia=1139>. Acesso em: 27 out. 2009.

JONES, L.P.H. **Mineral components of plant cell walls.** The American Journal of Clinical nutrition. Estados Unidos, v.31, p.s94-s97,1978.

KALAPATHY U.; PROCTOR A.; SHULTZ J. **A simple method for production of purê sílica from rice hull ash.** Bioresource Technology, 73, 2000, 257 - 262 p.

KALAPATHY U.; PROCTOR A.; SHULTZ J. **An improved method for production of silica from rice hull ash .** Bioresource Technology, 85, 2002, 285–289 p.

KALAPATHY U.; PROCTOR A. **Silica Gel from Rice Hull Ash: Preparation and Characterization.** Cereal Chemistry, 75, 1999, 484–487 p.

KALAPATHY U.; PROCTOR A.; SHULTZ J.. **Silica xerogels from rice hull ash: structure, density and mechanical strength as affected by gelation pH and silica concentration.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 75, 2000, 464-468 p.

LIBÓRIO, J. B. L.; CASTRO, A. L.; SILVA, F. G.; SILVA, V. M.. **Concreto de alto desempenho com sílica ativa da casca de arroz.** INCOS 05 – International Conference on Concrete for Structures. Coimbra, 2005.

LIMA, S. P. B., **Estudo da Produção e Aplicação em Pastas Cimentíceas de Silica Gel Proveniente de Cinza da Casca do Arroz.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2009.

LIU, T. H.; CHANG, W. F.; LO, J. J.. **Pirolisis Kinetics of Acid-Leached Rice Husk.** Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 36, nº 3, 1997, 568 – 573 p.

METHA, P. M.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 1ª Ed. IBRACON. São Paulo, 2008.

MOLIN, D. C. C. D.. **Técnicas Experimentais para Estudo da Microestrutura.** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Capítulo 14:. Instituto

Brasileiro de Concreto (IBRACON). Volume 1. 1ª Edição. Editor Geraldo C. Isaia. São Paulo, 2007.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do concreto**. Tradução Eng. Salvador E. Giammusso. 2ª Edição. Editora Pini. São Paulo, 1997.

NGUYEN,V.T.;YE,G.;van BREUGEL,K.; FRAAJ,L.A.A.; BUI,D.D. **The study of using rice husk ash to produce ultra high performance concrete**. Ed. Elsevier. Microlab, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands. Department of Building Materials, National University of Civil Engineering, 55 Giai Phong Road, Hanoi, Viet Nam, 2010

ODA, G. A. **Estudo da atividade pozolânica da sílica da casca de arroz em matriz de cimento portland**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2003.

ORTS, M. J. ; CAMPOS, B. ; Picó, M.; GOZALBO, A.. **Métodos de análisis granulométrico. Aplicación al control de la granulometría de materias primas (I)**. Técnica Cerâmica, nº 210, pp. 19-23, 1993.

PETRUCCI, E. G. R..**Materiais de construção**. 3ª edição. Editora Globo. Rio Grande do Sul, 1976.

RODRIGUES, L. C.; SANTANA, M. A. E.. **Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível**. Instituto de Química, Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

RAWLE, A. **The importance of Particle Size Analysis in the Pharmaceutical Industry**. Malvern. Spring Lane South, 2002. p.1-43.

SOUZA, M. F.; LIBÓRIO, B. L.; BATISTA, P. S.. **Processo de extração da sílica contida na casca e na planta de arroz**. PI 9903208-2 A. Int. Cl.: C01B 33/12. RPI 1582. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e do Comércio Exterior. Depósito: 30/06/1999. Publicação: 02/05/2001.

SILVA, G. M.. **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. **Materiais de Construção Civil**. Capítulo 23. Volume 2. Editor G.C. Isaia. São Paulo, 2007.

SANTI, A. M. M.; SEVÁ, A. O. F. **Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil**. Comunicação apresentada no VIII Congresso Brasileiro de Energia – CBE. Sessão temática Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Rio de Janeiro, 1999

SANTI, A. M. M.; SEVÁ, A. O. F. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações**. II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS. Campinas, 2004.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. Editora Edgard Bliicher. São Paulo, 1992.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório anual 2005**. Disponível em: <www.snic.org.br>. Acesso em: 30 out 2010.

SARKAR, S. L., AIMIN, X., JANA, D., 2001, “**Scanning electron microscopy X-ray microanalysis of concretes**”. In: Ramachandran, V. S., Beaudoin, J. J. (eds), Handbook of analytical techniques in concrete science and technology – Principles, techniques, and applications, New Jersey: Noyes Publications, pp. 231-274.

TASHIMA, M. M.; SILVA, C A. R.; AKASAKI, J. L.. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira. Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Argentina - Mendoza, 2004.

WORRELL E; PRICE L.; MARTIN N.; HENDRIKS C.; AND MEIDA, L. O., **Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry**. Annual Review of Energy and the Environment. Vol. 26: 303-329. Berkeley, California, 2001.