

PANORAMA DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE CINZA DA CASCA DE ARROZ AO CONCRETO E SEU POTENCIAL PARA AS USINAS DE BIOMASSA

Wendel Jesus Santos¹ | David Edson Martins Rocha¹ | Iasmym Oliveira Gonçalves¹ |
Washington Roberto Figueiredo Pires¹ | Paulo Jardel Pereira Araujo²

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO: 1980 - 1777
ISSN ELETRÔNICO: 2316 - 3135

RESUMO

A atual conjuntura sustentável vigente em todo mundo, causa mudanças nas diversas áreas de estudo e atuação da atividade humana, para a construção civil esse novo tempo exige principalmente inovação, visto que a atual postura, expressa por um misto de alto custo e degradação ambiental, demonstra a muito sua ineficácia. Este trabalho tem como principal objetivo demonstrar, através de diversos estudos já realizados, a viabilidade da adição de cinzas da casca de arroz (CCA) ao concreto, sob uma perspectiva que prioriza redução de custos e diminuição de impactos ao meio ambiente no cenário nacional. Nesse sentido encontra-se em destaque no artigo um breve ensaio sobre o concreto, suas principais características, a produção da (CCA), os benefícios de concretos com adições de (CCA), os principais testes que demonstram tal fato, além de ideias inovadoras no sentido de aproveitar todos os componentes do processo, produzindo energia e preservando o meio ambiente nas mais diversas vertentes.

PALAVRAS- CHAVE

CCA. Concreto. Meio Ambiente.

The current sustainable conjuncture presented around the world, causes changes in several areas of study and performance of human activity, for civil construction this new time demands mainly innovation, since the actual posture, expressed by a combination of high cost and environmental degradation, demonstrates their very ineffectiveness. The following work aim show the advantages of adding rice shell ashes (RSA) in concrete from the standpoint that prioritize cost reduction and decrease of impacts to the environment around the country. In this sense, an article is highlighted, which demonstrates its characteristics, the production of (RSA), the benefits of concretes made with (RSA), the principal tests that corroborate this fact, as well as innovative ideas that leverage all components in the process, producing energy and preserving the environment.

KEYWORDS

RSA. Concrete. Environment.

1 INTRODUÇÃO

Com o posto de segundo material mais utilizado no planeta depois da água, a origem, contexto histórico e importância do concreto relacionam-se de forma inerente ao processo evolutivo da civilização humana. Seus primeiros relatos remontam a 12.000 a.C, em Israel, com uma composição ainda muito diferente da empregada atualmente, passando por Europa, 8000 a 4000 a.C, Egito 3000 a 2500 a.C, Grécia 500 a.C, e finalmente chegando a Roma em 300 a.C, onde adquiriu maior parte das propriedades em destaque atualmente.

Para o mundo e principalmente para construção civil o termo concreto é aplicado com intenção de designar o agregado formado por cimento, areia, pedras britadas e água, além de outros componentes eventuais; sendo indispensável a toda e qualquer obra, pois se encontra presente do início ao término desta. É um material que apresenta resistência a compressão, durabilidade, entre outras características, seu consumo mundial é da ordem de 3 bilhões de toneladas anuais, e o custo relacionado ao reparo em estruturas desse tipo atingem valores exorbitantes que variam de país a país.

Os Estados Unidos preveem que os gastos com reparos sejam superiores a 102 bilhões de dólares (MONTEIRO et al., 2000). Neville (1997) afirma que o Reino Unido consome cerca de 4% do seu Produto Nacional Bruto (PNB) com reparo e manutenção de estruturas, e no Brasil, os custos estimados pela revista Construção São Paulo, em 1991, são da ordem de 100 bilhões de dólares (PIANCASTELLI, 1997). Nesse contexto surgem, ainda, na década de 1980 os primeiros estudos sobre concretos dinâmicos, com ênfase àqueles com adições minerais (sílica ativa, cinza volante, cinza da casca de arroz etc.), esses elementos, quando individualmente e devidamente aplicados, garantem uma composição mais apropriada ao contexto da indústria civil vigente, principalmente no sentido de poupar custos e preservar o meio ambiente.

Tais estudos demonstraram sua competência ainda nos anos 1990, e, além disso, revelou uma condição excepcional a cinza da casca de arroz (CCA). A adição desta ao agregado provou-se eficiente no aumento da resistência e diminuição da degradação, somando dessa forma uma maior durabilidade para o produto final. Seus métodos e consequências serão o foco de estudo e desenvolvimento deste artigo.

O principal tema abordado neste artigo, adição da cinza da casca de arroz (CCA) ao concreto, para ser compreendido de maneira adequada, carece de uma série de informações primárias, objetivando conduzir o assunto ao contexto desejado, para tanto foi realizado um breve ensaio sobre o concreto, enfatizando suas características aplicações e importância para construção civil.

O concreto é uma rocha artificial formada por uma mistura de agregados graúdos, miúdos e material ligante, podendo ter ainda aditivos químicos e minerais; suas características físicas, químicas e mecânicas, o torna o material utilizado em maior proporção na construção civil. Entre as propriedades que denotam tal título a esse composto, podem ser destacadas aquelas de maior valor para a indústria civil, são elas: a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade etc. As mesmas ocorrem devido à complexidade da estrutura interna do concreto, sendo tachada por heterogênea e excepcionalmente porosa; principal motivo dos problemas que relacionam o agregado.

Por ser utilizado nos mais diversos ambientes, o concreto está sujeito ao ataque de uma série de agentes prejudiciais que podem comprometer a sua durabilidade. A água comumente está envolvida em toda forma de deterioração ou degradação. Em sólidos porosos, a permeabilidade do material à água, habitualmente, determina a taxa de deterioração (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para Cezar (2011), durabilidade do concreto não significa vida indefinida, tampouco suportar qualquer tipo de ação. Uma estrutura de concreto é durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e utilidade que dela se espera durante um período de vida previsto. As causas para a deterioração do concreto são descritas, relacionando o material ao meio em que está inserido, nesse sentido podem ser destacadas:

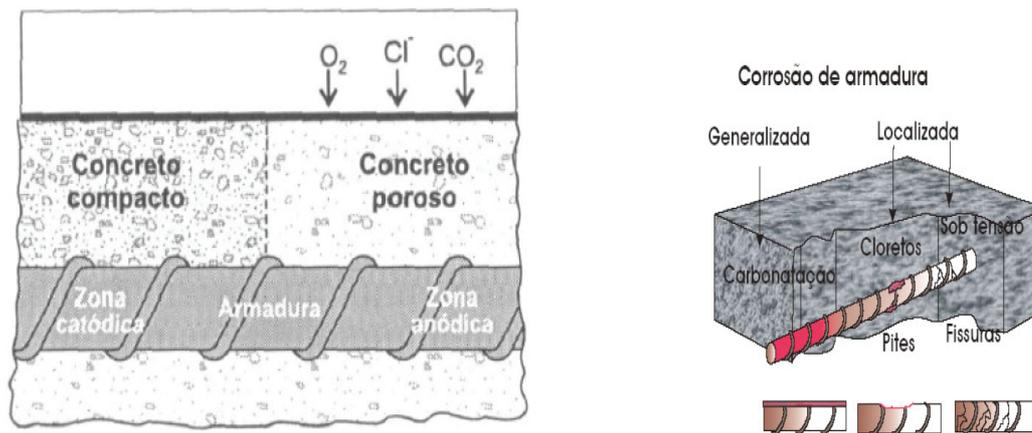
Carbonatação: muito presente em atmosferas agressivas, industriais, onde há muito gás carbônico (CO_2), no ar. Ele reage com a cal hidratada presente no concreto (e que funciona como uma barreira de proteção alcalina) e a consome aos poucos. Com o fim da barreira de proteção, surge uma camada carbonatada na superfície do concreto, apresentando fissuras e vai aos poucos se desprendendo, expondo a armadura e promovendo um desgaste geralmente uniforme em toda a superfície exposta do concreto.

Ataque de sulfatos: presente em ambientes industriais, onde a presença de produtos químicos sulfurados (usualmente chamados de SO_x , ou seja, SO , SO_2 , SO_3 , SO_4).

Ataque de cloretos: comumente encontrado nas regiões litorâneas, onde os íons cloreto, em presença de água, reagem com o concreto.

Reação de substâncias do ambiente com alguns agregados do concreto: (reação álcali-agregado, ou similares), ocorre quando um determinado agregado é adicionado ao concreto para redução de peso, ou outras finalidades. Se esta adição não for adequadamente especificada, o comportamento destes agregados, ao longo do tempo, diante da umidade e outros contaminantes podem provocar fissuras, trincas, etc. Fazendo com que o concreto se enfraqueça, expondo a armadura e dando abertura a outros tipos de deterioração (FIGURA 1), reduzindo drasticamente a resistência de colunas e vigas.

Figura 1 – Da esquerda para a direita, efeito do maior e menor acesso de oxigênio e os tipos de corrosão e fatores que a provocam



Fonte: CASCUDO, 1997.

3 ADIÇÕES MINERAIS AO CONCRETO COM ÊNFAZE NA CINZA DA CASCA DE ARROZ

3.1 CINZA DA CASCA DE ARROZ (CCA)

A produção nacional de arroz, alcançada na safra 2012/13, foi de 12.050,1 mil toneladas, cerca de 2 milhões de toneladas de casca e 400 mil toneladas de cinza, sendo que, somente no estado do Rio Grande do Sul, a produção estimada em 8.026,2 mil toneladas, totalizando, aproximadamente, 67% da produção nacional (CONAB, 2013). Essa grande produção anual garante ao Brasil destaque mundial na produção de arroz, transformando-o em um dos principais produtores do grão.

A casca de arroz é um subproduto obtido das primeiras etapas de beneficiamento do grão de arroz, sendo caracterizada por um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento do grão, de baixa densidade e volume elevado. Composta aproximadamente por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (CEZAR, 2011).

É comum, nas indústrias arroseiras, a utilização da casca do arroz como combustível no processo de beneficiamento de grão, gerando uma grande quantidade de cinza residual e sem destinação específica; sendo comumente descartada ou lançada em aterros (FIGURA 2), causando, dessa forma, problemas ambientais, tais como a poluição de mananciais de água, do ar e do solo.

Figura 2 – Vistas de um aterro com cinza de casca de arroz residual



Fonte: POUHEY, 2006.

Segundo Amato, (2002), a queima de 500 kg de casca de arroz produz a energia de 1 barril de petróleo. E o Brasil poderia gerar mais de 200MW de energia em sistemas termelétricos de queima da casca, o equivalente a aproximadamente 1% de toda a energia produzida no país. Este volume de energia seria suficiente para abastecer uma cidade de mais de 800 mil habitantes. Em razão disso, o uso da casca de arroz como combustível é extremamente vantajoso, pois substitui combustível como diesel, na geração de energia, e provoca menos danos à natureza, pois a deposição da casca em aterros sanitários resulta na emissão de gás metano à natureza.

Com a utilização da casca de arroz, ainda, é possível diminuir o custo de armazenagem e transporte do resíduo industrial do arroz, reduzir gastos com energia elétrica e gerar como subproduto a sílica, que possui crescente valor de mercado, visto que as diversas pesquisas apontam para que esse material possa substituir, parcialmente, o clínquer do cimento no agregado de concreto, sendo que o cimento representa o componente de maior valor comercial e, também, o maior agente poluidor. As características químicas que determinarão o teor de reatividade da CCA estão diretamente ligadas à intensidade da queima e a depender do grau de moagem, pode apresentar alta superfície específica (quanto maior a finura, maior a superfície específica) e, conseqüentemente, maior reatividade o que induz a um aumento nas resistências inicial e final (CEZAR, 2011).

Por isso, um dos aspectos críticos segundo pesquisadores para obtenção da CCA com bom teor de reatividade com os aglomerantes, está na queima controlada que varia entre 500 à 700°C (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Em virtude do alto custo para realização da queima controlada, a adição de CCA enfrenta barreiras para tornar-se uma prática comum entre a indústria da construção civil.

Após a queima da casca, com ou sem controle de temperatura, a quantidade de CCA gerada é de aproximadamente 20% em massa, e o teor de sílica presente neste resíduo varia de 87% a 90% (CEZAR, 2011). Observa-se na figura 3 que a variação entre a queima parcial e total caracteriza-se, respectivamente, pela coloração preta (devido ao teor de carbono), e acinzentada.

Figura 3 – CCA obtida com controle da queima (esquerda), CCA sem controle de queima (direita)

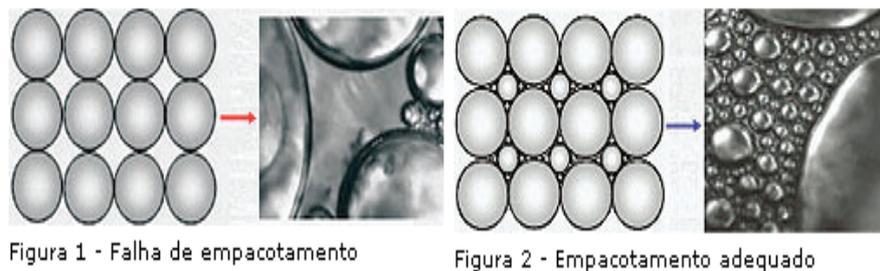


Fonte: Mehta e Monteiro, 2008.

A cinza de casca de arroz, devido ao seu efeito pozolânico, reage com o hidróxido de cálcio (CaOH_2) e forma silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Tal reação ocorre de forma lenta, e por ser mais lenta que a reação de hidratação do C_3S do cimento portland, contribui para o ganho de resistência. Com a adição das partículas finas de CCA no concreto, ocor-

64 | rem a segmentação dos poros maiores e a redução do teor de hidróxido de cálcio combinado com a sílica, resultando uma interface pasta/agregado mais uniforme (FIGURA 4).

Figura 4 – Exemplificação esquemática da porosidade do concreto, e sua diminuição por meio da adição de CCA, respectivamente da esquerda para a direita



Fonte: FURQUIM, 2012.

4 BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DE CCA NO CONCRETO

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), os benefícios proporcionados pelas adições minerais ao concreto são de grande importância, pelo fato de causarem uma redução considerável na porosidade das pastas e propiciarem um refinamento dos grãos de CH. Além disso, tamponam os poros capilares, distribuem de forma mais homogênea os produtos de hidratação do cimento Portland, se comparado a um concreto tradicional e diminui o transporte de fluidos para o interior do concreto.

A diminuição da porosidade implica numa menor permeabilidade do concreto a fluidos, proporcionada pela alteração da microestrutura da pasta. A redução da permeabilidade é decorrente de ações físicas (filler) e químicas (pozolânicas), que ocorrem no processo de hidratação dos aglomerantes. Em relação ao uso da CCA no concreto, destacam-se algumas propriedades importantes, como: teor de sílica ativa, decorrente do controle no processo de queima e a moagem ou finura, pois influenciam no desempenho do grau de permeabilidade e ganhos de resistência à compressão.

Em suma, o uso de adições minerais no concreto, como a CCA, melhora sua durabilidade e pode aumentar a resistência à compressão. Também, traz um grande benefício à sociedade, por ser um método considerado ambientalmente correto de eliminação de grandes quantidades de materiais poluidores do meio ambiente.

Logo, todos esses benefícios justificam as pesquisas e o empenho de vários estudiosos do assunto em propor maiores substituições do teor de clínquer do cimento por adições minerais, como neste caso a CCA. Baseado, nos resultados obtidos de pesquisadores, comprovou-se a eficiência da adição de 20% de CCA no concreto; dos quais se destacam os resultados descritos a seguir.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Segundo Cezar (2011), o aumento da resistência à compressão axial é causado pela diminuição da relação água/aglomerante e com o aumento do grau de hidratação, constatou-se que a mistura com 20% de CCAM, apresentou resistência de 40 Mpa, superando a resistência do cimento normal (34 Mpa). Já a resistência do CCAN foi a menor com apenas 24 Mpa.

Ainda conforme Cezar (2011), a cinza de casca de arroz moída (CCAM), tem capacidade de diminuir o risco de corrosão das armaduras em função da elevada resistividade elétrica obtida. Se comparado ao concreto tradicional, a substituição parcial do cimento por 20% de cinza de casca de arroz moída promove um aumento significativo na resistividade elétrica.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE ABSORÇÃO CAPILAR

A adição de cinza de casca de arroz moída (CCAM) reduz 37% à absorção de água e 13% com cinza de casca de arroz ao natural (CCAN), em relação ao concreto tradicional e consequentemente, diminui o teor de permeabilidade (CEZAR, 2011).

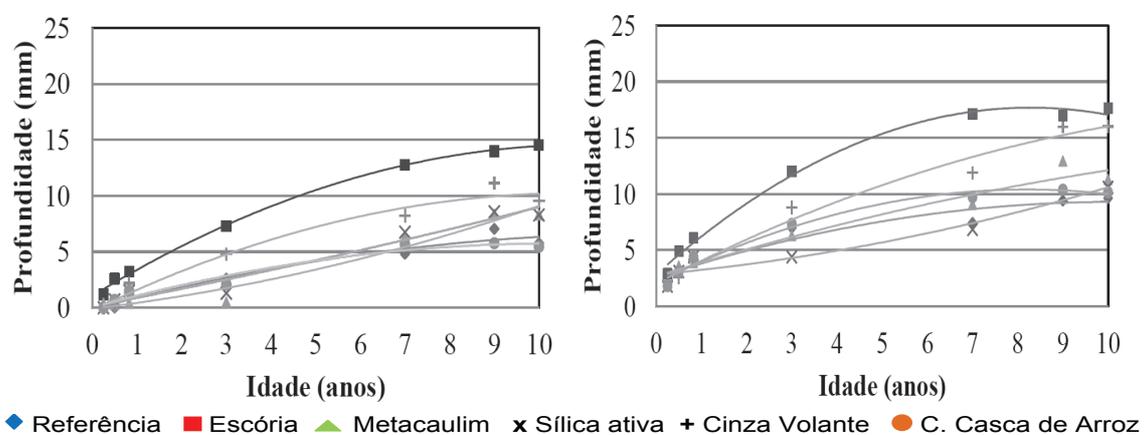
4.4 INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO A/Ag

De acordo com Ngala e outros autores (1995), a relação a/ag é o parâmetro principal que influencia na penetração de cloretos no concreto, devido ao refinamento da porosidade capilar, que se obtém com baixas relações a/ag. Nestes concretos, os íons cloreto são obrigados a se propagar por caminhos mais tortuosos e desconexos, o que dificulta o seu ingresso para o interior do concreto. Dessa maneira, conclui-se que a relação a/ag exerce enorme influência na resistência à penetração de cloretos no concreto, com relação direta da quantidade de água da mistura.

4.5 RESISTÊNCIA À FRENTE DE CARBONATAÇÃO

De acordo com Ferreira e outros autores (2012), após os resultados obtidos, pelas adições minerais, considerando os dois tipos de cura, úmida e seca. Observou-se que nas duas situações a frente de carbonatação não gerou danos significativos (FIGURA 5). Porém destaca-se que adição de CCA ao concreto, contribuiu para a diminuição da frente carbonatada, visto que a mesma permaneceu sem maiores deformações.

Figura 5 – Da esquerda para a direita, avanço da profundidade de carbonatação ao longo do tempo para os concreto de relação a/ag igual a 0,40, submetidos a cura úmida e cura em local seco, respectivamente

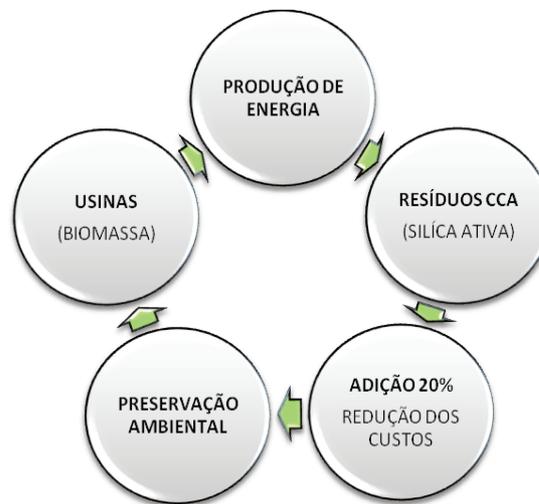


Fonte: Adaptado de Ferreira et al, pág. 71, (2012).

Por meio da análise dos dados encontrados durante a revisão bibliográfica e baseado nos autores citados anteriormente, comprovou-se a eficácia da adição de CCA ao concreto e o potencial dos benefícios por meio da utilização dos resíduos da CCA, no contexto econômico, social e ambiental. No entanto, constatou-se a ausência de dados mensuráveis que comprovem a aplicação desses efeitos, por se tratar de uma prática recente e promissora que ainda não foi incorporada de forma adequada a indústria.

Em razão deste fato, elaboraram-se estimativas, que tornaram as informações obtidas em dados mensuráveis, evidenciando os já citados benefícios gerados. Para isso, usou-se de mecanismos matemáticos, a exemplo de porcentagem simples, para fazer conversões de toneladas em quilogramas, para então obter aproximações do potencial de produção de energia nas usinas de biomassa, a diminuição dos custos de produção do concreto em substituição parcial do clínquer e a preservação dos bens naturais. A fim de expressar melhor os resultados obtidos, foi construído um fluxograma com os principais aspectos referentes às vantagens do uso de CCA, e em seguida argumentou-se sua viabilidade (FIGURA 6).

Figura 6 – Fluxograma de uso de CCA



Fonte:

6 RESULTADOS

6.1 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NA QUEIMA DA CASCA DE ARROZ

Com base nas diversas análises de utilização da casca de arroz, entende-se que esse material pode ser inserido em um ciclo de aproveitamento dos seus componentes e características, viabilizando uma sustentabilidade adequada ao atual contexto mundial. A casca de arroz representa 20% do peso total do arroz (CHUNGSANGUNSIT, 2004). Estando esta fora de um processo de aproveitamento, passa a ocasionar uma grande quantidade de resíduo, que na maioria das vezes vem a ser descartado de maneira incorreta nos diversos locais, quando em decomposição em ambientes abertos a casca de arroz libera grandes quantidades de gás metano, um dos principais gases causadores do efeito estufa.

Assim, surge a necessidade de fazer uso do resíduo da casca de arroz, e as principais ideias em meio a esse contexto buscam adequar tal resíduo ao processo de geração de energia. A queima da casca, como já dito anteriormente, pode substituir de maneira eficiente a queima de combustíveis fósseis, esse já é um processo empregado no Brasil nas chamadas usinas de biomassa, porém em pequena quantidade.

Conforme ANEEL (2012), no Brasil há 8 usinas de biomassa da casca de arroz, cinco delas estão no maior estado produtor, Rio Grande do Sul, e outras três nos estados de Mato Grosso, Rondônia e Santa Catarina. Todas geram 32.608 kW, o que representa 0,03% do total da produção energética nacional, e com base nos diversos estudos a respeito do tema o potencial energético pode ser aumentado para 0,21% com a atual produção de arroz.

A geração de energia através da queima da casca de arroz é uma alternativa praticável do ponto de vista tecnológico, viável do ponto de vista econômico e ético do ponto de vista ecológico, já que a tecnologia para a conversão é disponível, a matéria prima é abundante na região e todo CO₂ produzido na queima volta para o ciclo de carbono da biosfera terrestre.

6.2 ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DE CUSTO

Segundo o SNIC, a produção nacional em 2012 foi de 69.327.757 toneladas, utilizando cálculo de porcentagem simples, constatou-se que a substituição parcial de clínquer por 20% de CCA no cimento para a produção de concreto, promove uma redução no consumo de cimento de aproximadamente 55.462.206 toneladas. E que a conversão do montante de toneladas em sacos de 50 kg de cimento, gera aproximadamente 1.109.244.2. Adotando-se o preço do saco de cimento para R\$ 23,00 reais, o montante obtido é de R\$ 25.512.617 bilhões de reais. Se comparado ao montante gerado pelo concreto com 100% de clínquer que é de R\$ 31.890.767 bilhões de reais. Fica evidente que a redução obtida com o uso do CCA é aproximadamente R\$ 6.378.150 bilhões de reais. Desta forma fica comprovada a viabilidade econômica.

6.3 ESTIMATIVA DA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Seguindo, a perspectiva ambiental, os benefícios gerados podem ser listados como a diminuição da quantidade de resíduos provenientes da CCA em aterros, podendo apresentar riscos de contaminação do solo e da água, principalmente em aterros inadequados. Outros fatores importantes são o consumo de água e a quantidade de CO₂ emitido, especialmente durante o processo de produção do clínquer, o que representa 90% entre a descarbonatação e a queima de combustíveis fósseis e os outros 10% são provenientes do transporte da matéria-prima e o consumo de eletricidade das fábricas.

Segundo o Inventário Nacional dos Gases do Efeito Estufa do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil (2010), para cada tonelada de cimento produzido são emitidos cerca de 600 kg de CO₂; devido a modernização das fábricas de cimento, este se apresenta bem inferior à média mundial que é de 900 kg CO₂/tonelada e o consumo de água por tonelada de cimento pode chegar à 3.500 litros. No entanto, as estimativas do potencial brasileiro de redução da emissão de CO₂ e do consumo de água por meio da adição de CCA no cimento, principal componente do concreto, revelam-se promissores.

Baseado nos resultados encontrados no tópico redução de custo, o consumo nacional com adição de 20% de CCA ficaria em torno de 55.462.206 toneladas. Utilizando cálculos simples de porcentagem, a redução da emissão de CO₂ passaria de 600 Kg para aproximadamente 480 Kg de CO₂ por tonelada, o que representa uma diminuição de 20% de emissões e geraria uma redução total de 14.974.795.4 toneladas de CO₂, em relação à diminuição do consumo de água, componente responsável pelas reações de endurecimento.

A água é usada principalmente nas torres de resfriamento, na junção dos agregados e no processo de cura úmida do concreto. Ao se levar em conta apenas o processo de fabricação do clínquer, com base nos dados anteriores de estimativa do consumo nacional de cimento com a adição de CCA, e que para cada tonelada de clínquer são necessários 3.500 litros de água, reduz-se em até 20% do consumo de água, o que representa uma economia de 700 litros de água por tonelada de clínquer.

Tais índices, ainda que apenas estimativas, revelam a eficácia e os benefícios gerados pela adição de CCA ao concreto para o meio ambiente, visto a preservação dos recursos naturais que este proporciona.

6.4 INVIABILIDADE CAUSADA PELA QUEIMA CONTROLADA

Pelo discutido, a não utilização da CCA, configura-se uma prática inaceitável, visto que a mesma está disponibilizada em grande quantidade pela indústria de arroz, em vários estados do país. No entanto, à falta de parceria entre o poder público, a indústria arroseira e civil para a adequação dos fornos do processo de queima, e o descompromisso com os fatores ambientais, configuram-se barreiras para a disseminação da adição de CCA, em especial ao elevado custo da queima controlada, visto que tal processo é pouco utilizado pela indústria arroseira.

7 CONCLUSÃO

Em virtude, à crescente preocupação com práticas mais sustentáveis, visto que a indústria civil é historicamente uma das mais poluidoras do planeta, seja pelo forte crescimento nos últimos anos, ou mesmo pela grande geração de entulho, é indispensável à reflexão sobre seus métodos de produção e exploração da matéria-prima, a fim de atender às demandas futuras. Nesse sentido, é que se recorre às pesquisas científicas, com o intuito de encontrar soluções para tais problemáticas. Nesse contexto, a exposição dos resultados obtidos, neste trabalho, é perceptível a adoção de práticas mais sustentáveis, visto o grande potencial brasileiro para a produção de concreto com adições minerais, principalmente a CCA. Ressalta-se ainda, a potencialidade da CCA para as usinas de biomassa, por meio da geração de energia obtida pela queima.

Concluí-se então, que a viabilidade da adição de CCA ao concreto em substituição parcial do clínquer do cimento, acarreta benefícios sociais, técnicos, econômicos e ambientais. Corroborando para o surgimento de métodos racionais que objetivam construir um ciclo renovável que perpassa por aspectos como exploração consciente, produto, lucro, resíduos e reaproveitamento.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>. Acesso em: 28 maio 2013.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini; Goiânia: UFG, 1997.

CEZAR, D. S. **Características de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Rio grande do Sul, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamento de safra**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&ordem=criterioSafra1&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 24 abr. 2013.

CHUNGSANGUNSIT, T. **Environmental Profile of Power Generation from Rice Husk in Thailand**. 2004. Disponível em: <<http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/Ts-3%20environmental%20profile%20of%20power%20generation%20from%20rice%20husk%20in%20thailand.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2013.

FERREIRA, M. B; CASTRO, A; Cascudo, O; CARASEK, H. Processo de carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais. In: **Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão-CONPEEX (2012)**, pág 71. Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2012.

FURQUIM; P. R. V. **Adições Minerais ao Concreto de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com/2012/05/11/adicoes-minerais-ao-concreto-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 26 maio 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

NGALA, V. T.; PAGE, C. L.; PARROTT, L. J.; YU, S. W. Diffusion in cementitious materials: II. further investigations of chloride and oxygen diffusion in well-cured OPC and OPC/30% PFA pastes. **Cement and Concrete Research**, v. 25, 1995, p. 819-826.

PIANCASTELLI, E. M. Patologia, **Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Ed. Depto. Estruturas da EEUF MG, 1997.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, SNIC. Consumo, Produção e Valores de Materiais de Construção. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>>. Acesso em: 28 maio 2013.

Recebido em: 17 de junho de 2013

Avaliado em: 27 de julho de 2013

Aceito em: 1 de Agosto de 2013

1 Aluno da Universidade Tiradentes, do curso de Engenharia Civil.

2 Doutor em Engenharia Química, Professor das Engenharias na Universidade Tiradentes. Email: jardelengenharia@gmail.com