

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL

Use of industrial waste for the production of sustainable concrete

João Pedro Lopes¹, Thainá Rudnick², Carlos Humberto Martins³

Recebido em 07 de setembro de 2017; aceito em 06 de abril de 2018; disponível on-line em 26 de julho de 2018.



PALAVRAS CHAVE:

Construção civil;
 Concreto;
 Sustentabilidade;
 Resíduos;
 Bagaço da cana de açúcar;

KEYWORDS:

Civil construction;
 Concrete;
 Environment;
 Sugar cane bagasse;
 Construction waste.

RESUMO: O presente trabalho busca avaliar a substituição parcial dos agregados do concreto, segundo material mais utilizado pelo homem, por materiais até então descartados (resíduos). Os resíduos propostos para tais substituições foram: a cinza gerada pela queima do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), substituindo em 30% a areia e os resíduos da construção civil (RCC), substituindo em 30% a brita. Os resíduos foram escolhidos devido a sua granulometria semelhante aos materiais convencionais. Foram fabricados corpos de prova para 4 traços diferentes, sendo um traço referência que contém cimento, areia, brita e água, dois traços com substituições somente da CBC e outro somente com RCC e o traço mais significativo para a pesquisa contendo as duas substituições. Para a avaliação do desempenho dos traços, realizou-se ensaios para caracterização dos materiais, ensaios de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias, resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias e absorção de água aos 28 dias. Os resultados obtidos atestam a viabilidade das substituições, sendo que se obteve características muito próximas dos concretos com adição dos resíduos de CBC e RCC quando comparadas ao concreto convencional, resultando em um concreto de grande aceitabilidade por ser ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente aceito.

ABSTRACT: The present paper seeks to replace partially the aggregates of concrete, the second most used material, for materials that were wasted until then. The wastes proposed for the substitutions were: the ashes generated by the sugar cane bagasse burning, replacing in 30% the sand and the civil construction wastes, substituting the gravel in 30%. The wastes were chosen due to their similar granulometry to the conventional materials. Specimens were fabricated to four different recipes of concrete, being the reference only with the conventional materials, two of them with isolated substitutions and the recipe of concrete more significant to the research which contains both replacements. For the evaluation of concrete performance, trials were performed for materials characterization, compression resistance at day 7, 28 and 56 of the experience, resistance to diametral traction at day 28 and water absorption at day 28. The results attest the viability of the substitutions, provided that similar features were obtained when compared to traditional concrete, resulting in a concrete with acceptability for being environmentally correct, economically viable and socially accepted.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: engjoaopedrolopes@gmail.com (J. P. Lopes)

Mestrando em Engenharia Civil, PCV, Universidade Estadual de Maringá.

² e-mail: thainarudnick@gmail.com (T. Rudnick)

Mestranda em Engenharia Civil, PCV, Universidade Estadual de Maringá.

³ e-mail: chmartins@uem.br (C. H. Martins)

Professor Doutor, Universidade Estadual de Maringá.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção é indiscutivelmente essencial para o crescimento de uma nação, desempenhando um papel importante e vital para sociedade, transformando necessidades em infraestrutura, IBRAHIM et. al (2010). Todavia, o atendimento dessas necessidades tem consumido desenfreadamente os recursos naturais por meio da produção de uma grande massa de materiais. A areia e o cimento são muito empregados na construção civil, tendo suas matérias primas extraídas do solo através da mineração. A literatura técnica aborda que a extração dessas matérias-primas geralmente vem acompanhada de impactos ambientais, seguidos da degradação do meio ambiente. A partir desse quadro, o governo elaborou uma legislação mais rígida para evitar essas atitudes e penalizar os infratores como a Lei nº 12.305:2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Savastano e Warden (2003) afirmam que grande parte dos resíduos gerados nos diversos setores da economia podem ser reciclados, reutilizados, transformados e incorporados, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de construção mais eficiente, econômica e sustentável.

Na linha do reaproveitamento de resíduos na construção civil, o processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível em caldeiras para geração de energia (vapor) que resulta em uma cinza pesada e leve. Vaske (2012) afirma que a cinza pesada fica depositada num cinzeiro abaixo da grelha da caldeira e a cinza leve é suspensa pelos gases da combustão, que ficam retidas num filtro multiciclone que impede seu lançamento para a atmosfera. A disposição final dessas cinzas é um problema enfrentado pelas usinas. Esse trabalho aborda a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo (areia) utilizado no concreto pela cinza pesada gerada no processo de queima do bagaço de cana-de-açúcar.

Outro gerador de resíduos é a construção civil, o que chega a representar a parcela predominante da massa total de resíduos sólidos urbanos. Nas obras de construção e reforma, conjectura-se que o principal causador da geração de resíduos, correspondente a sobras de materiais, é a falta da reutilização e reciclagem dos resíduos que são produzidos. Já nas obras de demolição, a quantidade de resíduos gerados não depende do processo escolhido para gerar a demolição, pois se trata do produto do processo, o próprio resíduo (KARPINSKI *et al*, 2009).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE produz um panorama anual dos resíduos sólidos no Brasil desde 2003. O último panorama lançado foi o referente ao ano de 2014, ABRELPE (2014). Nele, a ABRELPE afirma que o Brasil gerou aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), porém, foram coletados 71,3 milhões. Dessa quantidade coletada, 45 milhões de toneladas foi de Resíduos de Construção Civil (RCC). A disposição final desse resíduo também é um problema para os geradores. Sendo assim o RCC, devido as suas características é utilizado nesse trabalho como substituto parcial do agregado graúdo (brita) na produção de concretos.

Sendo o concreto o segundo produto mais consumido no mundo, ficando atrás do consumo de água, há projeções otimistas que presumem que o material possa ocupar o primeiro lugar a partir de 2025, superando o consumo de água potável. (SANTOS, 2015). Sendo assim propor a substituição parcial de matérias primas utilizadas no concreto (areia e brita) por resíduos é uma proposta sustentável.

Para a produção de concreto para a construção civil, há a produção de cimento Portland que é uma das grandes responsáveis pela emissão de gás carbônico do planeta. Sua produção mundial de cimento é de 1,5 bilhão de toneladas por ano, responsável por quase 7% das emissões globais de CO₂. (METHA e MONTEIRO, 2008). No Brasil, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), para cada tonelada

de cimento Portland produzido em 2013, aproximadamente 580 kg de CO₂ foram lançados à atmosfera.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil para a indústria de açúcar na produção de álcool no Brasil se desenvolve mais a cada ano. Cada tonelada de cana-de-açúcar processada gera cerca de 250 kg de bagaço, que quando queimado resulta em 6 kg de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), semelhante à areia fina. Estima-se que na safra 2017/2018 serão moídas 647,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, gerando aproximadamente 4 milhões de toneladas de CBC. (CONAB, 2016)

O aproveitamento de resíduos industriais como matéria prima no setor da construção civil vem sendo discutido de forma exaustiva pelas mais diversas linhas de pesquisa em tecnologia e inovação. O setor demonstra ter grande potencial para absorver os mais diferentes tipos de resíduos dos mais variados processos produtivos. O objetivo principal do trabalho é estudar e avaliar a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial do agregado miúdo e do resíduo da construção civil em substituição parcial do agregado graúdo para obtenção de um traço de concreto estrutural, com intuito de sugerir uma melhor aplicação destes resíduos.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo o estudo da potencialidade da substituição parcial dos agregados miúdos por cinza pesada da queima do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) e dos agregados graúdos por resíduos de construção civil (RCC) na produção de concretos, caracterizando os materiais e analisando as substituições em cada traço.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTEXTUALIZAÇÃO DO 3.1 MATERIAIS CONVENCIONAIS DO CONCRETO

Atualmente, o concreto feito de cimento Portland é o material estrutural mais importante utilizado na construção civil. Mesmo tendo sido descoberto no fim do século XIX, é o material mais consumido pelo homem depois da água, revolucionando intensamente a construção de estruturas que sempre estiveram atreladas pela evolução da humanidade. (HELENE e ANDRADE, 2010)

No Brasil, o cimento Portland começou a ser produzido em escala industrial no começo do século XX. Na década de 70, a produção anual era de aproximadamente 20 milhões de toneladas, sendo que na próxima década teve um crescimento devido a investimentos governamentais no setor. Após alguns anos o Brasil sofreu muito pelos altos e baixos da economia, porém continuou crescendo e alcançou a marca dos 40 milhões no ano de 1997.

No ano de 2014 a produção chegou a um recorde de mais de 70 milhões de toneladas no ano da copa do mundo no Brasil. Após esse fato, a ociosidade do setor ocasionou uma queda de consumo de aproximadamente 10% por ano. (Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, 2013)

Na produção de cimento Portland há uma grande emissão de gás carbônico. Sua produção mundial anual é de 1,5 bilhão de toneladas, responsável por quase 7% das emissões globais de CO₂. (METHA e MONTEIRO, 2008)

A concentração de gás carbônico tem crescido a cada ano. Segundo reportagem da isto é no mês de abril de 2017 a concentração desse gás na atmosfera atingiu 412 ppm (partes por milhão). Desde setembro de 2016 a marca supera a casa dos 400 ppm, o que é considerado preocupante por especialistas, pois a presença deste gás na atmosfera é considerada a principal responsável pelo aquecimento global e mudanças climáticas no mundo. Portanto, toda medida que visa a redução da produção desse gás é importante.

Além da produção de cimento Portland para a produção de concreto, não se pode deixar de analisar o alto consumo de recursos naturais. Os agregados utilizados no concreto são materiais

que provém de rios e minérios, sendo a areia e brita.

Há uma grande quantidade desses recursos naturais dispostos na natureza, porém são esgotáveis, não renováveis. Portanto, tendem a escassez à medida que se desenvolve a sua exploração. Pelo fato de terem emprego direto na construção civil, são considerados como bens minerais de uso social (SILVA, 2007).

A areia e a pedra britada são os agregados mais minerados no Brasil. Sua produção é de pouco mais de 600 milhões de toneladas por ano, basicamente a cargo de pequenas empresas (MANCIN, 2012).

Sendo o Brasil um dos países mais ricos em recursos naturais do mundo, existe um elevado índice de extração dos minerais. As atividades de mineração da areia normalmente são realizadas em áreas próximas aos rios por necessitarem de um alto volume de água. Na maioria das vezes, ocorre a retirada de materiais nessas áreas que originalmente são ocupadas por matas ciliares, que são áreas de preservação permanente, ou seja, deveriam ser consideradas áreas protegidas. Logo, ocorre a degradação das matas ciliares e a desfiguração das barrancas dos rios (VIEIRA, 2015).

Na última década indústria de mineração do Brasil obteve um crescimento econômico considerável. De acordo com o - IBRAM (2014), o valor da Produção Mineral Brasileira (PMB) em 2014 foi estimado em 43 bilhões de dólar. O IBRAM ainda afirma que, com base em dados coletados junto às mineradoras, há um avanço considerável para a indústria da mineração, sendo que os investimentos aplicados estimulam outros setores produtivos gerando empregos, renda e tributos (VIEIRA, 2015).

3.2 CINZA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR (CBC)

Por centenas de anos, o açúcar foi um dos componentes mais importantes da dieta humana. O açúcar é produzido em 121 países, sendo que 70% é proveniente do processamento

da cana-de-açúcar e 30% é extraído a partir da beterraba (CONTRERAS et. al., 2009).

A cana-de-açúcar, originária do Sudeste Asiático, chegou ao Brasil em meados do século XVI, porém foi tradicionalmente plantada somente após o século XVIII. Seu cultivo foi impulsionado no século XX, através da descoberta do álcool como opção viável de energia, se transformando em uma das principais culturas da economia brasileira (UNICA, 2014).

Segundo Sun et al. (2013) o Brasil é responsável por 40% de toda a produção mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia (19%), China (6%), Tailândia (5%) e Paquistão (3%).

O Brasil tem uma produção estimada para safra 2017/2018 de 647,6 milhões de toneladas. A região Sudeste é responsável por mais de 60% desta produção, sendo a região Sul responsável por apenas 6% da produção brasileira. (CONAB, 2017).

A extração do caldo da cana é realizada pela moagem e durante essa operação, aproximadamente 30% da cana moída transformam-se em bagaço, (CORDEIRO et al., 2008), como mostrado na Figura 4. Há décadas atrás, esse resíduo era considerado um problema ambiental, pois seu destino era a alimentação de animais em confinamento, porém sem valor nutricional, utilizado em pequena escala frente aos volumes que se formavam nos depósitos das usinas. Frias, Villar e Savastano (2011) ressaltam ainda, que esses volumes eram queimados como meio de eliminá-los, mas durante a última década, pelas suas características caloríficas, passaram a ser utilizados em centrais de cogeração de energia elétrica.

Sendo assim, no processo de queima do bagaço para a geração de energia, acarreta-se a produção de cinzas, pesadas e leves. Cinzas pesadas são geradas e dispostas no fundo da caldeira por gravidade. Já as leves, são recolhidas pelo processo de higienização da própria chaminé com um sistema de água corrente contínua até uma lagoa própria, sendo que nessa lagoa a cinza leve pode ser retirada. A estimativa é que a cada

tonelada de bagaço queimado, produz-se 24kg de cinza pesada e 2,4 kg de cinza leve (CONAB, 2017).

A cinza pesada pode ser considerada como material inerte, apresentando propriedades semelhantes às areias naturais, não reativos, baixa pozolanicidade, com estrutura cristalina e predominantemente presença de quartzo (MARTINS, 2015).

3.3 RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

O setor da construção civil gera resíduos provenientes das perdas ocorridas durante o processo da construção ou de demolição, acrescentando ainda mais o impacto ambiental causado pelo setor. Com isso, houve a necessidade de regulamentação da gestão dos resíduos e a criação de leis para o setor, surgindo então a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), (FERNANDEZ, 2011).

De maneira geral, a resolução do CONAMA nº 307 de 2002 os resíduos da construção são divididos em 4 classes, sendo elas:

- Classe A: resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados, sendo eles: De construção, demolição, reformas de pavimentação e obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de serviços de terraplanagem, reformas de edificações sendo eles componentes cerâmicos, argamassa e concreto, de processo de fabricação e demolição de pré-moldados produzidos em canteiros de obra;
- Classe B: Resíduos que podem ser reciclados para outras finalidades, como

por exemplo plásticos, papéis, papelões, metais, vidros e madeira;

- Classe C: São resíduos que não possuem destinação adequada viável por hora pois não são economicamente viáveis a reciclagem ou o reuso, como por exemplo produtos oriundos do gesso;

Classe D: São os resíduos que possam degradar o meio ambiente ou a saúde pública, como por exemplo tintas, solventes, óleos e produtos que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

O processo de beneficiamento do entulho pode ser realizado em canteiro, que seria o ideal por evitar o transporte do material, e também por usinas recicladoras. Os materiais reutilizados em canteiro são processados por equipamentos que trituram os entulhos de construção separando os agregados finamente peneirados. Hoje no Brasil, este maquinário é fabricado por pequenas e grandes empresas e fornecido para diversas construtoras. As recicladoras por si, não fabricam o entulho, porém recebem entulho provenientes da região e ficam responsáveis por transformar o material com granulometria semelhante à areia e pedrisco.

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados e as normas utilizadas para obtenção das massas específicas de cada material estão contidas na Tabela 1.

TABELA 1: Materiais e normas utilizadas para caracterização.

Material	Detalhes	Norma	Massa específica (g/cm ³)
Cimento Portland	CP II 32 z	ABNT NBR NM 23:2001	2,96
Areia	Proveniente do Rio Paraná (PR)	ABNT NBR NM 23:2001	2,64
Brita	Região de Maringá (PR)	ABNT NBR NM 53:2001	2,70
CBC	Usina USAÇUCAR, Iguatemi (PR)	ABNT NBR 6508: 1984	2,75
RCC	Recicladora de Maringá (PR)	ABNT NBR NM 53: 2003	2,68

FONTE: Autoria Própria.

A partir da coleta do material na usina, este foi devidamente peneirado para que a granulometria fosse similar à areia média e que se eliminasse a presença de materiais indesejados. A Figura 1 mostra a semelhança da areia (a) e da CBC (b).



FIGURA 1: Semelhança entre areia (a) e CBC (b).

FONTE: Autoria própria (2017).

Para este trabalho, o material utilizado foi o RCC do tipo brita 1. Com posse do material, este passou por um processo de limpeza para retirar o excesso de barro, peneiramento fino para que a brita estivesse contida entre 4,8 mm e 9,5 mm e finalmente pelo processo de triagem para a retirada de matérias indesejados como papelão, vidro, aço, gesso, plásticos, etc. Portanto, o RCC utilizado foi preparado para que o material constituinte tivesse granulometria semelhante à brita 1 e principalmente materiais provindos de paredes e concreto. A Figura 2 mostra a brita (a) e o RCC (b), ressaltando sua semelhança.



FIGURA 2: Semelhança entre brita 1 (a) e RCC (b).

FONTE: Autoria própria (2017).

O traço escolhido como referência foi o apresentado por Nunes (2009) e também utilizado por Hojo (2015), com consumo de cimento de 367,6 kg/m³ de concreto. As porcentagens de

substituição de cada traço estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2: Porcentagem de substituição de cada traço.

Traço	%CBC	%RCC
1	-	-
2	30	-
3	-	30
4	30	30

FONTE: Autoria Própria.

A moldagem e cura dos corpos de prova, presentes na Figura 10, foram realizados em consonância com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para a moldagem dos corpos de prova, foi fixado o valor de abatimento do tronco de cone de 70 mm (+/- 10 mm), acrescentando a quantidade de água necessária para que o concreto atingisse a correta consistência, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

4.2 Ensaio de Compressão Simples

Os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica, ilustrado na Figura 3, conforme previsto na NBR 5739 (ABNT, 2007), a fim de determinar a resistência característica à compressão. Para cada traço foram produzidos 3 corpos de prova para serem rompidos com 7 dias, 6 corpos de prova para 28 dias e 3 corpos de prova para 56 dias.



FIGURA 3: Ensaio de Resistência à compressão

FONTE: Autoria própria (2017).

A obtenção da Resistência (Mpa) a partir da carga (KN) que o corpo de prova foi solicitado, foi calculada pela Equação 1.

$$R = \frac{F*10}{A} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

R=Resistência (MPa);

F=Carga (kN);

A=Área da seção=78,53982cm².

4.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio realizado seguiu a NBR 7222 (ABNT, 2011), com o uso da mesma prensa hidráulica que o ensaio de resistência à compressão, porém com o uso da geratriz para obtenção da resistência à tração, ilustrado na Figura 4. Foram destinados 3 corpos de prova de cada traço para serem rompidos aos 28 dias.



FIGURA 4: Ensaio de Tração por compressão diametral.

FONTE: Autoria própria (2017).

A obtenção da Resistência (Mpa) a partir da carga que o corpo de prova foi solicitado, pode ser calculada pela equação 2 que segue.

$$R = \frac{2*F*1000}{\pi*B*H} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

R=Resistência (MPa);

F=Carga em kN;

B=Base do Corpo de Prova;

H=Altura do Corpo de Prova;

4.4 Ensaio de Absorção de Água

Para a determinação da quantidade de água absorvida pelos corpos de prova, ilustrado na Figura 5, seguiu-se a NBR 9778 (ABNT, 2009). Para este ensaio foram destinados três corpos de prova na idade de 28 dias.



FIGURA 5: Ensaio de Absorção de água.

FONTE: Autoria própria (2017).

A obtenção da Absorção de água em porcentagem a partir das médias das massas dos corpos de prova é dada pela equação 3.

$$Aa = \frac{Ms - Msat}{Ms} * 100 \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

Aa=Absorção de Água (%);

Ms=Massa Seca (g);

Msat=Massa Saturada (g);

4.5 AVALIAÇÃO DOS TRAÇOS

A partir dos resultados obtidos pelos ensaios realizados, os traços puderam ser comparados a partir das resistências médias à compressão e tração diametral de cada traço e seus desvios padrões, a mesma comparação foi realizada com os resultados médios para absorção de água. A partir desses resultados é possível avaliar o comportamento dos traços com substituição parcial por resíduos em relação ao traço original.

5. RESULTADOS

5.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Seguindo as recomendações presentes na NBR 5739 (ABNT, 2007), os corpos de prova foram rompidos em suas respectivas idades, 7, 28 e 56 dias. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos de cada traço nas idades com os respectivos desvios padrões (DV).

A partir disso, foi possível esboçar o gráfico, presente na Figura 6, em que relaciona a resistência (MPa) de cada traço nas idades de 7, 28 e 56 dias. A linha presente no gráfico, fixado no valor da resistência do traço referência T1 de 34,5 MPa, deixa claro que os traços com as substituições propostos têm um ganho de

resistência quando relacionados com o de referência.

Os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias mostram que o traço em que há presença somente da CBC (T2) como material substituto da areia ocorre um aumento no valor da sua resistência à compressão atingindo 38 MPa. Esse resultado era esperado pelo fato de a CBC apresentar composição granulométrica mais fina do que a areia comum, preenchendo melhor os vazios do concreto devido ao chamado efeito *filler*, que seria um melhor empacotamento dos grãos.

TABELA 3: Resistência à compressão simples.

Traço	7 dias			28 dias			56 dias		
	Carga (kN)	Resistência (MPa)	DV	Carga (kN)	Resistência (MPa)	DV	Carga (kN)	Resistência (MPa)	DV
1	160,8	20,48	1,4	271,0	34,50	2,8	287,1	36,56	1,5
2	165,4	21,06	0,5	301,6	38,39	1,0	307,1	38,87	1,4
3	184,1	22,87	0,9	274,5	34,71	1,7	295,3	37,60	2,2
4	170,9	21,77	0,9	274,9	35,00	1,2	283,8	36,82	2,0

FONTE: Autoria Própria.

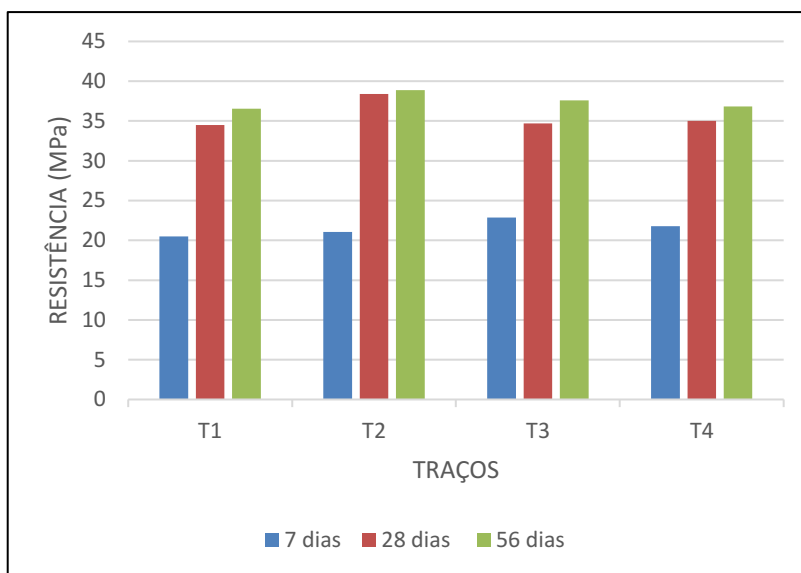


FIGURA 6: Gráfico de resistência à compressão de cada traço.

FONTE: Autoria própria (2017).

Ao avaliar os resultados do T3, traço cujo há substituição parcial do RCC pela brita 1, obteve-se resultados similares com o traço referência, diferenciando-se um pouco à resistência aos 56 dias. Nesta idade, este traço obteve um ganho de 2% a mais de resistência quando comparado com o T1. Isto pode ser justificado pelo fato de os traços que contém o RCC na composição apresentam um ganho de resistência mecânica, justificado pela sua composição heterogênea que contém partículas de cal e cimento disponíveis para novas reações e partículas de materiais cerâmicos potencialmente em concreto estrutural. Este fato é considerado satisfatório pois a substituição do agregado graúdo por um resíduo que garante maior acréscimo de resistência à longas idades, pode garantir uma vida útil maior para o concreto.

Pôde-se verificar que os resultados obtidos pelo traço T4 também superaram os resultados obtidos pelo de referência. A partir disso, é possível certificar que os resíduos analisados separadamente nos traços T2 e T3, também apresentam ganho de resistência quando combinados.

5.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos de cada traço para o ensaio realizado de resistência a compressão diametral.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral apresentaram como o esperado de aproximadamente 10% da resistência à compressão. Para uma melhor análise dos resultados, segue o gráfico presente na Figura 7 que ilustra as resistências à tração.

TABELA 4: Resistência à tração diametral.

Traço	Carga (kN)	Resistência (MPa)	DV
1	83,57	2,66	0,15
2	93,21	2,96	0,29
3	84,17	2,67	0,42
4	89,31	2,84	0,21

FONTE: Autoria Própria.

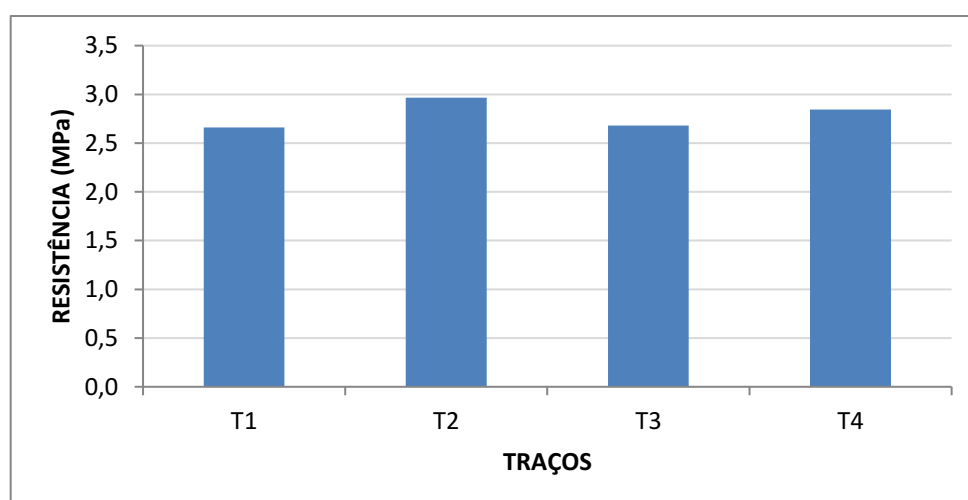


FIGURA 7: Gráfico de resistência à tração diametral.

FONTE: Autoria própria (2017).

A partir do gráfico presente na Figura 7, é possível verificar que não houve variações significativas de resistência à compressão para o traço T3 que contém o RCC. Já o traço T2 que contém a CBC há um acréscimo considerável de 11% no traço T2 comparado com o traço de referência T1. Isso pode ser justificado pelo maior preenchimento dos vazios pela cinza pela sua granulometria mais fina que a areia, denominado de efeito *filler*. O uso dos dois resíduos, no traço

T4, apresentaram um ganho de quase 7% quando associados.

5.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos do ensaio de absorção de água de cada traço.

Todos os traços apresentaram absorções de água na ordem de 5%. Esses valores são ilustrados na Figura 8 com o gráfico que segue.

TABELA 5: Absorção de água.

Traço	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (%)
T1	3669,2	3849,9	4,93
T2	3696,2	3894,2	5,36
T3	3646,8	3840,4	5,31
T4	3641,0	3849,3	5,73

FONTE: Autoria Própria.

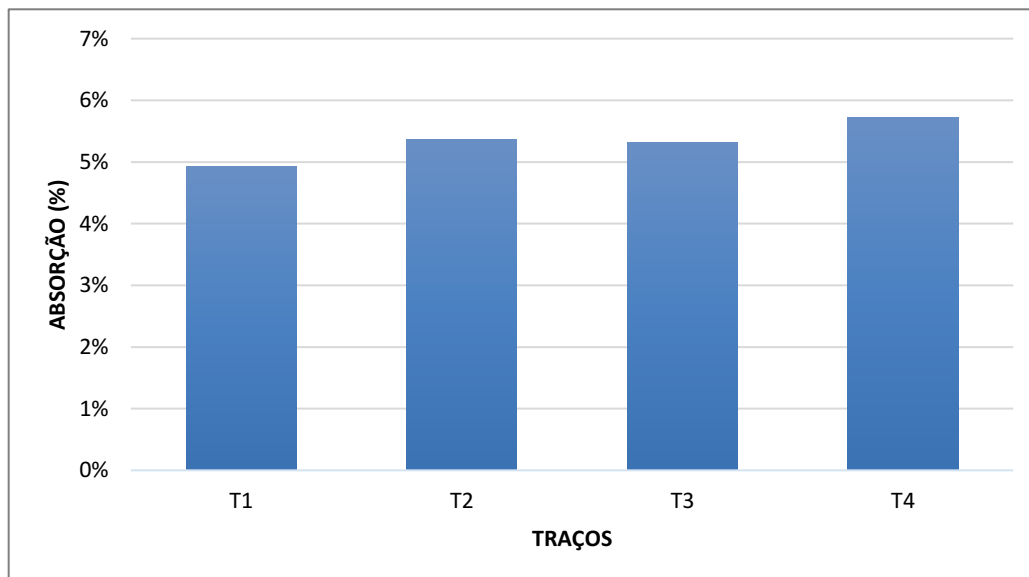


FIGURA 8: Gráfico de absorção de água.

FONTE: Autoria própria (2017).

Analisando os resultados de absorção de água obtidos pelo ensaio, percebe-se que os mesmos mostraram pouca variação entre si, permanecendo próximos a 5% e 6%. Houve um acréscimo na porcentagem para os traços que têm resíduos em sua composição.

6. CONCLUSÃO

Com os presentes resultados, é possível verificar que o concreto com as substituições propostas apresenta viabilidade de aplicação. Proporcionando um efeito benéfico ao meio ambiente dando correta destinação da CBC e RCC, diminuindo a extração dos agregados nos leitos fluviais e na mineração, além da possibilidade de redução de consumo de cimento com um estudo de um traço com menor consumo de cimento, visto que há uma elevação na resistência do concreto.

O concreto analisado atendeu aos 3 pilares da sustentabilidade, ou seja, é um material ambientalmente correto (reutilização de resíduos, diminuição da poluição com o transporte desses resíduos, menor extração dos rios e mineração), socialmente possível (possibilidade de um novo produto mais acessível a toda população) e economicamente viável (haverá redução do transporte atual desses resíduos aos aterros, possibilidade de mercado de um produto feito a partir de resíduos que atualmente não tem destinação correta).

Quando comparado com o concreto convencional, há um melhor desempenho na resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água. No entanto, pode-se confirmar a eficácia deste concreto sustentável em peças não armadas, tais como: blocos de concreto, blocos para pavimentação (pavers), contra pisos, calçadas, subleito para pavimentação, entre outras aplicações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: Informação e documentação: Referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **ABNT NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **ABNT NBR 6508**. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **ABNT NBR 7222**. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **ABNT NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 23**. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **ABNT NBR NM 53**. Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABRECON Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição <<http://www.abrecon.org.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2014**. São Paulo: Abrelpe, 2014.

BRASIL (2010). **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>, Acesso em: 10 de julho de 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307** de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre as diretrizes, critérios e

procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf> Acesso em: 10 de julho de 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira de cana-de-açúcar Safra 2016/2017**. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_3o_lev_-_16-17.pdf>. Acesso em 10 de julho de 2017.

Concentração de CO₂ na atmosfera bate novo recorde. Disponível em: <<http://istoe.com.br/concentracao-de-co2-na-atmosfera-bate-novo-recorde-2/>>. Acesso em: 11 de junho de 2017.

CONTRERAS, A. M; ROSA, E.; PÉREZ, M.; LANGENHOVE, H. V.; DEWFUL, J. **Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production**. Journal of cleaner production, v.17, n.8, p.772-779, 2009.

CORDEIRO, G. C. *et al.* **Pozzolanic activity na filler efect of sugarcane bagasse ash in Portland cement na lime mortars**. Cement & Concret Composites., 2008.

FERNANDEZ, J. A. B. **Resíduos da Construção Civil**. Técnicos e Planejamento e Pesquisa/IPEA, Agosto de 2011.

FRIAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. **Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture**. Cement & Concrete Composites, v.33, p.490-496, 2011.

HELENE, P; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. 1 ed. Cap. 29. IBRACON, Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 2010.

IBRAHIM, A. R. B.; ROY, M. H.; AHMED, Z. U.; IMTIAZ, G. **Analyzing the dynamics of the global construction industry: past, present and future**. Benchmarking: an International Journal, v.17, p.232-252, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - **IBRAM**. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em: 9 de julho de 2017.

KARPINSKI, L.A.; PANDOLFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J.C.B.; PANDOLFO, L.M.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em: <http://www.sinduscondf.org.br/porta/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>. Acesso em: 10 de julho de 2017.

MANCIN, R. C. **Estagnação das pesquisas na área gera expetativas negativas**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/53864-estagnacao-das-pesquisas-na-area-gera-expectativas-negativas.shtml>>. Acesso em: 14 de julho de 2017.

MARTINS, S. T. F. **Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2015. 154f. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

METHA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. IBRACON, São Paulo, 2008.

SANTOS, A. **Pesquisa ressalta presente e futuro do concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/pesquisa-ressalta-presente-e-futuro-do-concreto/>>. Acesso em: 8 de julho de 2017.

SAVASTANO, Jr.; WARDEN, P. G. **Special theme issue: Natural fibrerein forced cement composites**. Cement & Concrete Composites, v.25, n.5, p.517-624, 2003.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. Revista espaço da Sophia, n.8, novembro 2007.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório Anual**, 2013.

SUN, Xiao-Zheng; FUJIMOTO, S.; MINOWA, T. **A comparison of power generation and ethanol production using sugarcane bagasse from the perspective of mitigating GH Gemissions**. Energy Police, v.57, p.624-629, 2013.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Mapa de Produção**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>>. Acesso em 10 de julho de 2017, 2014.

VASKE, N. R. **Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumo tubular como adição ao concreto.** Tese – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Porto Alegre, 2012.

VIEIRA, E. G; REZENDE, E. N. **Mineração de areia e meio ambiente: é possível harmonizar?** Revista do Direito Público, Londrina, v.10, n.3, p. 181-212, set/dez 2015.