

# UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA- DE-AÇÚCAR (CBC) COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Pablo Rodrigo Antunes de Carvalho (Faculdade Ingá) E-mail: pablo.rodrigo.carvalho@hotmail.com

Marisa Fujiko Nagano (Faculdade Ingá)

**Resumo:** Na busca de soluções para o agravamento dos recursos naturais, a construção civil passou a buscar alternativas para o reaproveitamento de resíduos industriais, não só os de seus próprios processos, como também de outros setores, buscando em conjunto para a contribuição no desempenho de suas edificações. Atualmente o Brasil é um grande produtor mundial no complexo sucroalcooleiro, e com isso vem se intensificando a produção de resíduos provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica. Essas cinzas são aproveitadas nas lavouras de cana como adubação orgânica, apesar de ser um material com poucos nutrientes. Este estudo tem como finalidade avaliar o potencial de utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral na substituição parcial do agregado miúdo melhorando as propriedades do concreto destinadas a elevar sua resistência e diminuindo o impacto causado na natureza. Assim, as análises do presente trabalho foram desenvolvidas em traços com 0%, 100% e o traço com maior massa unitária da mistura entre os dois agregados, em substituição ao agregado miúdo. Adicionalmente, foram moldados corpos de prova e verificada a resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias. Os resultados indicaram que as amostras de CBC possuem propriedades físicas e mecânicas semelhantes as da areia natural em relação a sua resistência a compressão. Sendo assim, a utilização do CBC é uma alternativa para preservação dos recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Resíduos agroindustriais. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Concreto.

## THE USE OF ASHES FROM THE BAGASSE OF SUGARCANE (CBC) AS A SUBSTITUTE OF KID AGGREGATE IN THE PRODUCTION TO CONCRETE FOR THE CIVIL CONSTRUCTION

**Abstract:** In the search of solutions for the aggravation of the natural resources, the civil construction passed to look for alternatives for the reutilization of industrial waste, not only of his own process, but from other sectors too, searching in joint for the contribution in the performance of his edifications. Nowadays the Brazil is a big world producer in the complex of sugar and alcohol, and this comes intensifying the production of leavings from the burn of bagasse sugarcane for the generation of electric energy. These ashes are exploited in the crops of sugarcane like organic adubation, although they are a material with few nutrients. This study has as finality estimate the potential of the utilization of the ashes from the bagasse of sugarcane (CBC) as a mineral in the partial addiction of the kid aggregate improving the properties of concrete destined raise his resistance and lowering the impact caused in the nature. This way, the parsing of the present work has been developed in traces with 0%, 100% and the trace with the biggest unit mass from the mix between the two aggregate, in the substitution of the kid aggregate. Additionally, it has molded proof bodies and the resistance to compression has verified to the 3, 7 and 28 days. The results indicated that the sample of CBC had physics and mechanics properties similar as the nature sand in relation of his resistance to compression. Therefore, the utilization of CBC is one alternative for the preservation of natural resources contributing for the sustainable developed.

**Keywords:** industrial waste, ashes from the bagasse of sugarcane, concrete.

### 1. INTRODUÇÃO

A construção civil apresenta-se hoje como um importante fator relacionado ao desenvolvimento econômico e social de uma determinada região, sendo uma das atividades mais antigas, que vem se desenvolvendo em um ritmo acelerado e ao mesmo tempo

comportando-se como uma grande máquina geradora de resíduos, que consome e explora as matérias primas, modificando o meio ambiente. (OLIVEIRA, 2015).

A utilização de agregados como a areia, causa grande impacto negativo em função da extração nos rios, ocasionando desequilíbrios ambientais como: erosão e assoreamento, alteração da qualidade das águas superficiais e do nível do lençol freático, alteração da qualidade do ar, do solo e sonora, perda de espécies terrestres e aquáticas, proliferação de vetores, dentre outras. (VANDERLEI et al., 2013).

Nos últimos anos, a convicção de desenvolvimento sustentável tem sido cada vez mais empregada pelos setores produtivos. A Indústria da Construção Civil apresenta um dos maiores potenciais para aproveitamento de resíduos, não só os de seus próprios processos, como também os de outras indústrias, levando muitos pesquisadores a buscar alternativas para o reaproveitamento desses resíduos industriais, para a contribuição no desempenho das edificações. (ZORDAN, 1997; TALLINI JUNIOR, 2009).

Com o lançamento do programa Proálcool, o Brasil vive numa grande expansão dos canaviais, possuindo uma área plantada de aproximadamente 5 milhões de hectares, sendo o maior produtor e exportador mundial de cana-de-açúcar, e o segundo maior na produção de etanol, ficando apenas atrás dos Estados Unidos (obtido através do milho) (ÚNICA 2015). Com crescimento acelerado, para atender ao aumento da demanda de álcool hidratado, grande quantidade de cinzas residuais são geradas. Durante a extração do caldo da cana-de-açúcar pela indústria sucroalcooleira são originados os bagaços, representando 95%, que são queimados em caldeiras para geração de energia elétrica, em que se geram as cinzas representando aproximadamente 26% dessa cana moída. De acordo com Cordeiro et al.(2008, apud Paula et al.,2008,p 354) a queima desse resíduo pode configurar num problema ambiental ou desperdício de material com potencial de reuso.

Estimam que cada tonelada de cana produzida resulte em, aproximadamente, 25 kg de cinza residual, (LIMA, Sofia Araújo et al., 2009) totalizando 26,2 milhões de toneladas de cinza de bagaço geradas na safra de 2015/2016. (BRASIL, 2015).

Dados do relatório da União da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA, 2011) estimam que de 100 a 120 milhões de toneladas de areia de rio são consumidas anualmente, onde as cinzas geradas representariam em torno de 18 % da areia.

O resíduo de biomassa gerado nas usinas não tem tanta utilidade para a indústria sucroalcooleira, ainda que seja utilizado como fertilizante da própria lavoura. No entanto, por ser constituída basicamente de sílica (SiO<sub>2</sub>), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) tem potencial para ser utilizada como adições e aditivos na produção de materiais cimentícios (ANJOS, 2009).

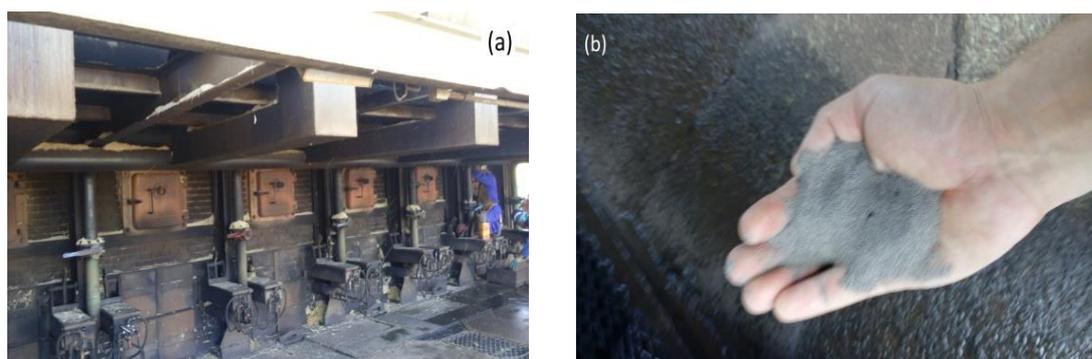
Assim, o presente trabalho será desenvolvido com o objetivo de avaliar o potencial de utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial do agregado miúdo na produção de concreto.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Essa etapa incluiu visita a campo para acompanhamento do processo de produção da cinza proveniente do bagaço da cana, em que foram coletadas amostras para serem analisadas as características físicas e sua aplicação preliminar no concreto como substituto da areia. Tal cinza foi coletada na Usina Nova Produtiva localizada em Astorga, num raio de 36 km de Maringá.

Diariamente ocorre a limpeza nas caldeiras, e as cinzas foram coletadas após esse processo. Como estavam em altas temperaturas, tornou-se necessário um tempo para que se resfriassem ao ar livre, lentamente. Na Usina, o método de recolhimento final do CBC é feito automaticamente por uma esteira, em que a cinza mais densa fica retida no fundo da grelha, que por final se junta as mais leves, originadas na lavagem dos gases das chaminés. Os dois tipos de resíduos, depois de guiado pela esteira, se juntam em um único duto, sendo recolhidos por caminhões e encaminhadas até a lavoura.

A Figura 1 mostra a coleta de CBC nas usinas:



**Figura 1.** (a) Retirada da cinza da caldeira (esquerda) e (b) cinza resfriada ao ar livre (direita); na Usina Nova Produtiva.

Observou-se grande quantidade de areia, proveniente das lavouras, misturada às cinzas. Esse agregado não é totalmente removido durante a etapa de lavagem dos colmos de cana, no início do processo. Esse fato também foi observado por Cordeiro (2006).

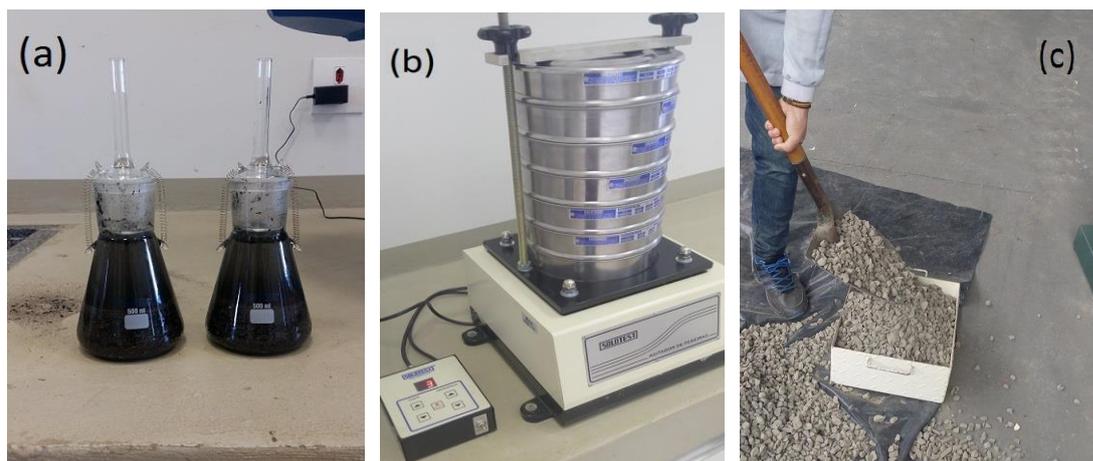
O processo desenvolvido nesta pesquisa foi realizado pelo método IPT-EPUSP (TANGO; SAAD, 2001), sendo os agregados ensaiados conforme a normativa baseada na Associação Brasileira de Normas Técnicas. A areia foi utilizada com base no tamanho médio, normatizado conforme a ABNT. Para o agregado gráudo foi utilizado à brita definida comercialmente ZERO, ambos comercializados na cidade de Maringá-PR. O cimento Portland utilizado foi tipo CP II Z-32, mais comumente comercializado na região, cujos dados foram obtidos através do fornecedor do produto.

Para determinação da composição granulométrica do agregado miúdo, gráudo e CBC, foi realizado através da norma NM 248 (MERCOSUR, 2003) por ensaios de peneiramento, através de peneiras com determinada abertura constituindo uma série padrão ditas pela norma NBR 3310-1(ABNT, 2010).

A granulometria determinou também o diâmetro máximo do agregado, que é a abertura da peneira em que fica retida uma porcentagem igual ou inferior a 5%. Outro índice importante determinado foi o módulo de finura, que é a soma da porcentagem retida acumulada, divididas por 100.

A determinação da massa específica, massa unitária em estado solto e a umidade superficial do agregado miúdo, gráudo e CBC foram realizadas com o auxílio da norma NM 52(MERCOSUR, 2009) e NM 53(MERCOSUR, 2009). Já para determinação do Inchamento de Agregado Miúdo e CBC foi realizada conforme a norma NBR 6467(ABNT, 2006), NM 45(MERCOSUR, 2006). Todos esses ensaios foram auxiliados pelas normas NM 30(MERCOSUR, 2001), NBR 7211(ABNT, 2009) e NM 26 (MERCOSUR, 2009).

Seguem alguns ensaios realizados:



**Figura 2.** (a) determinação da massa específica do CBC, (b) determinação da composição granulométrica do agregado miúdo e (c) determinação da massa unitária em estado solto do agregado graúdo.

Na produção do concreto em laboratório, foram desenvolvidos três traços diferentes sendo eles pobres, normais e ricos.

Em seguida, desenvolveu-se adotando experimentalmente três tratamentos, ou seja, amostras confeccionadas com dois níveis de adição de CBC e um exemplar de referência, com duas repetições cada. A taxa de substituição empregada ao agregado miúdo foi 0, 100% e o valor determinado através do ensaio da massa unitária, onde por teoria a maior massa unitária da mistura entre os dois agregados seria a que mais preenche os vazios, dando assim um valor esperado mais alto na resistência.

Após as análises dos agregados, os traços foram rodados conforme o método IPT-EPUSP com um abatimento do concreto (*Slump Test.*) controlado no cone de  $9 \pm 2$ , de acordo com a norma NM 67(MERCOSUR, 1998) e alterando os volumes de agregados e o fator água/cimento a cada substituição do agregado como visto nas figuras 3 logo abaixo. Após rodar o traço foram moldados os corpos de prova de acordo com a norma NBR 5738(ABNT, 2015).



**Figura 3.** ensaio do abatimento do concreto (*Slump Test.*)

Os melhores níveis de adição de CBC foram avaliados com base no teste de Tukey, que seria o teste que mostra se existe diferença entre as médias dos tratamentos para todas as combinações aos 3, 7 e 28 dias, dadas de acordo com a NM 5738(ABNT, 2015). A resistência a compressão foi dada a uma prensa EMIC de 1000KN tendo o seu rompimento de acordo com a NBR 5739(ABNT, 2007).



**Figura 4.** (a) rompimento do traço testemunho Rico aos 28 dias (b) rompimento do traço testemunho Comum aos 28 dias, dados em KN.

O ensaio de Resistência a Compressão é de grande importância, pois aqui as características mecânicas finais do concreto são as principais responsáveis pela sua durabilidade, segurança e estabilidade estrutural. Onde se utiliza um coeficiente de segurança aplicada na resistência média do concreto à compressão prevista para j dias ( $f_{cj}$ ) e de acordo com a NBR 12655(ABNT, 2015).

Dada a resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ), a norma NBR 8953(ABNT, 2015) classifica o concreto sendo estrutural dividida em duas classes, e sua respectiva massa específica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Agregado miúdo

Na aplicação do ensaio da massa específica (NM 52:2009), foram pesados a amostra de areia e colocado em estufa por aproximadamente 24 h à uma temperatura de 110°C até atingir uma massa constante. A seguir foi depositada areia no frasco e registrada a massa do conjunto, e assim completado com a água com movimentos circulares a evitar que amostra fique retida nas laterais e de maneira que eliminasse as bolhas para que assim pudesse medir o deslocamento do nível da água. Na tabela abaixo estão representados os resultados obtidos:

**Tabela 1.** Resultados de ensaio de massa específica da areia(NM 52:2009).

Amostra 1		Amostra 2	
M(g)	V(cm <sup>3</sup> )	M(g)	V(cm <sup>3</sup> )
500	189	500	190,8
$\mu_1$ (g/cm <sup>3</sup> )		$\mu_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	

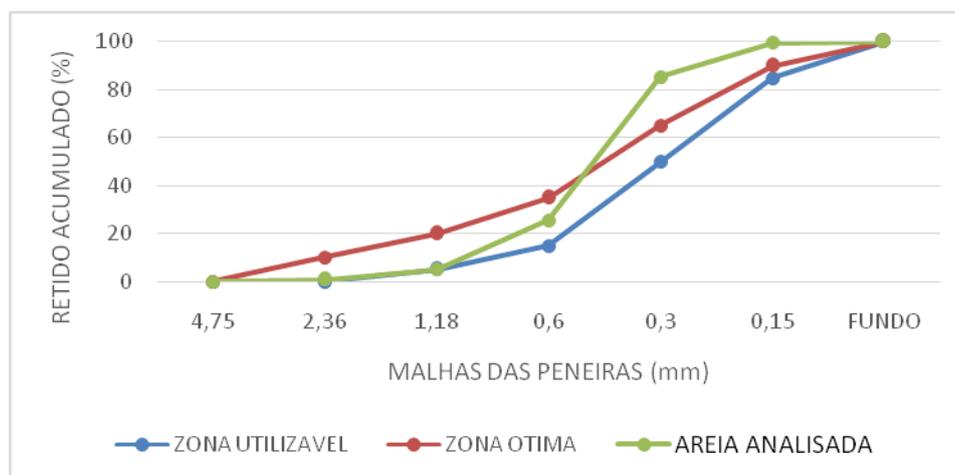
2,65	2,62
$\mu_{\text{médio}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	2,64

A determinação da massa unitária da areia (NM 45:2006) foi dada através de um ensaio realizado com uma amostra seca, a qual foi depositada em um recipiente com massa de 6200g e volume de 13.045,34cm<sup>3</sup>. Em seguida, este recipiente foi preenchido com a areia sendo medida a massa total, obtendo a massa unitária do agregado solto, conforme observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados do ensaio de massa unitária da areia (NM 45:2006).

Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
M (g)	V(cm <sup>3</sup> )	M (g)	V(cm <sup>3</sup> )	M(g)	V(cm <sup>3</sup> )
19.700	13.045,34	20.200	13.045,34	20.100	13.045,34
$\gamma_1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$		$\gamma_2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$		$\gamma_2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	
1,51		1,53		1,54	
$\gamma_{\text{ médio}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$				1,53	

A determinação granulométrica do agregado miúdo (NM 248:2003) foi realizada com um conjunto de peneiras, previamente limpas e preparadas obedecendo à série normal, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e o fundo. Após a agitação, pesou-se o material retido em cada peneira obtendo a curva granulométrica, como pode ser verificado na Figura 2.



**Figura2.** Curva granulométrica da areia (NM 248:2003).

Na análise da areia, verificou-se que sua distribuição granulométrica não é bem distribuída, e que sua dimensão não está de acordo com a mesma adquirida no comércio de Maringá-Pr. De acordo com a norma NBR 7211(ABNT, 2009), a areia média apresenta diâmetro máximo de 3,30mm e 2,40mm no mínimo, sendo sua dimensão característica apresentada em 2,36 mm e módulo de finura igual a 2,16mm, classificando-se como uma areia comercialmente fina na zona 2, de módulo de finura utilizável.

Para o procedimento de determinação do teor de umidade do agregado miúdo (NBR 6467:2006) foi utilizado uma amostra secada em estufa, onde foi adicionada água em quantidades sucessivas, de modo a obter teores de umidade próximos aos valores de 0,5%, 1%, 2%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12% a cada adição de água. Logo em seguida foi determinada a massa das cápsulas de alumínio vazias e retirada uma porção da amostra homogeneizada

para preenchimento de uma das cápsulas, que assim foram identificadas para determinação da massa de cada cápsula contendo o agregado e registrado o resultado obtido, e assim foi conduzida destampada e identificada, para uma estufa mantida a 105°C, secando o agregado durante 24h.

Dessa forma, após esses procedimentos, foi determinada a massa do agregado seco, permitindo obter o teor de umidade do agregado miúdo, o resultado obtido da Umidade crítica foi igual a 3,2% e seu Coeficiente de inchamento médio igual a 1,29.

### Agregado graúdo

Na determinação da massa unitária em estado solto do agregado graúdo (NM 53:2009) foi utilizado o mesmo recipiente do agregado miúdo, sendo preenchido e mantido na estufa em 105° a 110°C por 24h, até obter uma constância na massa. Dessa forma, foi encontrada a massa seca do agregado como descrito na Tabela3.

**Tabela 3.** Resultados do ensaio de massa unitária da brita(NM 53:2009).

Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
M(g)	Vrecip.(cm <sup>3</sup> )	M(g)	Vrecip.(cm <sup>3</sup> )	M(g)	Vrecip.(cm <sup>3</sup> )
20150	13.045,34	20.200	13.045,34	20.080	13.045,34
$\gamma_1(\text{g/cm}^3)$		$\gamma_2(\text{g/cm}^3)$		$\gamma_3(\text{g/cm}^3)$	
1,54		1,54		1,53	
$\gamma_{\text{médio}}(\text{g/cm}^3)$				1,54	

No procedimento da caracterização da massa específica, massa unitária e a absorção de água do agregado graúdo como visto na NM 53(MERCOSUL, 2009), foi utilizada uma amostra de 600g de brita e lavada para secar em estufa a 105±5°C por 24h. Logo após foi imersa a temperatura ambiente por mais 24 horas para que fosse secada superficialmente com um pano úmido e determinado a massa Ms (Massa saturada superfície seca). Em seguida, pesou-se essa porção em uma balança hidrostática inserindo a amostra em um cesto vazado de alumínio, obtendo-se a massa saturada submersa. Após pesar a massa, a amostra foi introduzida em estufa a uma temperatura entre 105°C (±5°C) por 24 horas, pesou-se a amostra e obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados de massa específica, massa aparente e absorção da brita (NM 53:2009).

		1º ensaio	2º ensaio	Média
<b>Massa seca</b>	M (g)	600,03	600,09	600,06
<b>Massa saturada superfície seca</b>	MS (g)	583,94	584,34	584,14
<b>Massa saturada superfície seca submersa</b>	Ma (g)	389,80	390,06	389,93
<b>Massa específica do agregado seco</b>	$\mu$	3,09	3,09	3,09
<b>Massa específica saturada superfície seca</b>	$\mu_{\text{sss}}$	3,01	3,01	3,01
<b>Absorção de água</b>	ABS	2,68	2,52	2,6

A granulometria do agregado graúdo (NM 248:2003) foi dada através de ensaio da composição granulométrica do agregado com uma amostra de brita de 5.000g seca a 110°C e a utilização de um jogo de peneiras com a série normal. Em seguida, o jogo de peneiras foi posicionado no agitador por 10 minutos com o objetivo de verificar qual a porcentagem de material correspondente a cada peneira. Após a agitação, aferiu-se novamente a amostra, com

o auxílio de uma balança de precisão, obtendo-se, assim, os dados necessários para elaboração da curva granulométrica disponibilizada na Figura 3 abaixo.

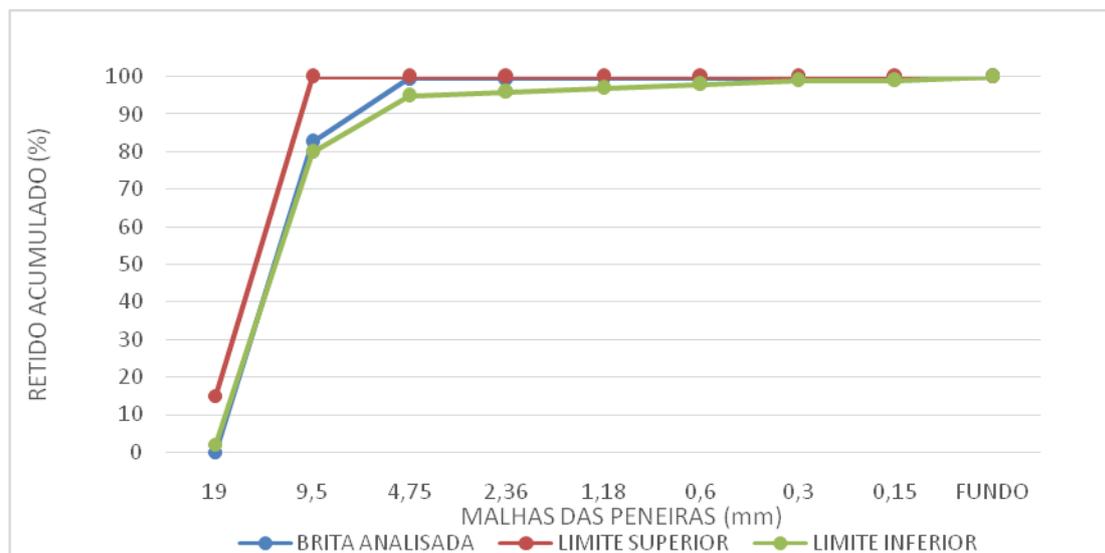


Figura 3. Curva granulométrica da brita (NM 248:2003).

Ao analisar o gráfico apresentado acima, verifica-se que a curva da brita comercializada na região de Maringá-Pr está dentro dos limites máximos e mínimos estipulados pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Com dimensão máxima característica de 19 mm e módulo de finura igual a 6,60, esse agregado é classificado comercialmente como sendo uma brita 1 se encaixando na faixa de 19 a 9,5 mm.

### Cinza do bagaço de cana (CBC)

A composição granulométrica (NM 248:2003), massa específica (NM 52:2009) e massa unitária (NM 45:2006) do CBC foram analisadas através dos mesmos ensaios realizados nos agregados miúdos e graúdos. Como o CBC não possui norma regulamentadora para agregado em construção, os dados foram analisados similarmente ao agregado miúdo, como veremos logo abaixo.

A granulometria do CBC foi realizada através do ensaio da composição granulométrica, onde foi retirada uma amostra de 500g e levada em estufa com temperatura de 105°C a 110°C, por um período de 24 horas. Em seguida, foi retirada a amostra da estufa, esfriando até se encontrar na umidade hidrocópica.

As peneiras previamente limpas, foram preparadas obedecendo à série normal, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, (4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e o fundo). Após a agitação, pesou-se o material retido em cada peneira obtendo a curva granulométrica, como pode ser verificado na Figura 4.

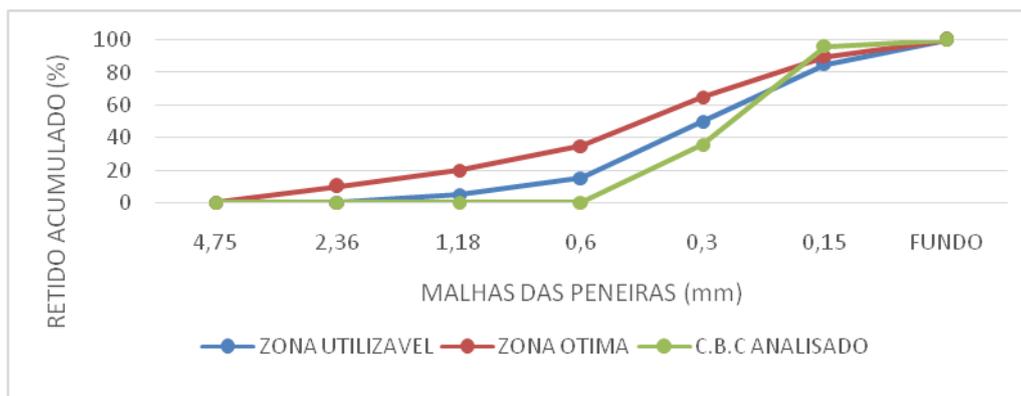


Figura 4. Curva granulométrica do CBC(NM 248:2003).

Ao realizar uma análise na Figura acima sobre o CBC, observo-se que a curva do CBC analisado está abaixo da Zona Utilizável estipulada pela normativa NBR 7211(ABNT, 2009): Com dimensão máxima característica de 0,6 mm e módulo de finura igual a 1,32 , o agregado ensaiado CBC classifica-se como um agregado muito fino.

Na aplicação do ensaio da massa específica (NM 52:2009), foram pesados 500,0 g de amostra de CBC e colocado para secar em temperatura ambiente por aproximadamente 24 h. A seguir foi depositada no frasco e registrada a massa do conjunto, e assim completado com água com os mesmos cuidados como vimos anteriormente e deixando em descanso por aproximadamente 30 min. para que a cinza ali presente no material subisse para a superfície e pudesse medir o deslocamento do nível da água. Os resultados obtidos estão representados na tabela 5 abaixo:

Tabela 5. Resultados de ensaio de massa específica do CBC (NM 52:2009).

Amostra 1		Amostra 2	
M(g)	V(cm³)	M(g)	V(cm³)
500	178,6	500	184
$\mu_1$ (g/cm³)		$\mu_2$ (g/cm³)	
2,80		2,72	
$\mu_{\text{médio}}$ (g/cm³)		2,76	

A determinação da massa unitária do CBC foi dada através de um ensaio realizado com uma amostra seca em ambiente por 24h, a qual foi depositada em um recipiente com massa de 6200g e volume de 13.045,34cm³. Em seguida, este recipiente foi preenchido com CBC sendo medida a massa total, obtendo a massa unitária do agregado solto, conforme observado na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do ensaio de massa unitária do CBC( NM 45:2006).

Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
M(g)	Vrecip.(cm³)	M(g)	Vrecip.(cm³)	M(g)	Vrecip.(cm³)
24.700	13.045,34	24.900	13.045,34	24.800	13.045,34
$\gamma_1$ (g/cm³)		$\gamma_2$ (g/cm³)		$\gamma_3$ (g/cm³)	
1,42		1,43		1,42	
$\gamma_{\text{médio}}$ (g/cm³)		1,42			

Analisando os resultados da massa específica e unitária das amostras de CBC, verifica-se que os valores se aproximaram muito dos dados referentes ao agregado miúdo, o que foi importante na definição da massa unitária entre esses agregados, e no desenvolvimento dos traços de concretos como visto na fase abaixo em Desenvolvimento de traço.

### Cimento Portland

O cimento Portland utilizado para desenvolver o traço foi o CP II-Z-32 sendo um dos cimentos mais utilizados no Brasil de acordo com o fabricante e também por suas propriedades atenderem de estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos, onde leva em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático. Os dados, conforme o fabricante, está representado na Tabela 7:

Tabela 7. Características do cimento Portland CP II Z-32.

Características químicas		Características físico-mecânicas	
Clínquer + Gesso (%)	76 – 94	Superfície específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3083
Material Pozolânico (%)	6 – 14	Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	3,12
Calcário (%)	6 - 10	Tempo de início de pega (h:min)	≥ 1
		Tempo de fim de pega (h:min)	≤ 10
		Resist.à compressão 1 dia (MPa)	–
		Resist.à compressão 3 dia (MPa)	≥ 10
		Resist.à compressão 7 dia (MPa)	≥ 20
		Resist.à compressão 28dia(MPa)	≥ 32
		Finura # 75µm (%)	≤ 12,0

### Desenvolvimento de traço

A dosagem de concretos com a CBC foi realizado de forma experimental baseado no Método de dosagem IPT/EPUSP. Este método nos permitiu um estudo laboratorial bastante simples e versátil, que analisou as propriedades e características dos materiais, desenvolvido nove traços para estudo, sendo as amostras confeccionadas com 0%, conhecidas como referência, 100% de substituição do agregado miúdo por CBC e o traço com maior massa unitária da mistura entre os dois agregados. Para cada traço foi subdividido em traços pobre com M = 6,5, normal com M = 5,0 e rico M = 3,5.

Para o desenvolvimento dos traços foi adotado um teor de argamassa seca no valor de 53%, representado por  $\alpha$ . Com base na norma a NBR 12655(ABNT, 2015) que exige o valor mínimo de 260 kg de cimento por metro cúbico, o valor obtido para o exemplar de referência foi de 292,91 Kg/m<sup>3</sup> para o traço pobre, 362,84 Kg/m<sup>3</sup> para o traço normal e 464,25 Kg/m<sup>3</sup>no traço rico. A amostra confeccionada com 100% de subst. foi de 295,50 Kg/m<sup>3</sup> para o traço pobre, 365,76 Kg/m<sup>3</sup> para o traço normal e 466,42 Kg/m<sup>3</sup>no traço rico. E por ultimo,a amostra confeccionada com maior massa unitária foi de 294,63 Kg/m<sup>3</sup> para o traço pobre, 364,43 Kg/m<sup>3</sup> para o traço normal e 465,11 Kg/m<sup>3</sup>no traço rico.Os traços utilizados estão descritos na Tabela 8, a seguir:

Tabela 8. Proporções dos traços trabalhados.

Materiais				
Traços	Cimento	Areia	Brita	A/c
Pobre	1	2,97	3,53	0,65
Normal	1	2,18	2,82	0,6
Rico	1	1,39	2,11	0,55

No desenvolvimento da amostra para obter a maior massa unitária entre o agregado miúdo e o CBC, foi utilizado o ensaio da massa unitária com base na norma NM 52(MERCOSUL, 2009), tirando uma média de três repetições a cada fração substituída do agregado miúdo. Os resultados obtidos estão expressos na tabela abaixo:

Tabela 9. Proporção da massa unit. ensaiada entre as misturas Areia-CBC.

Análise	Substituição (Areia/CBC)						
Ensaio	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
Massa unit.(g/cm <sup>3</sup> )	1.533	1.536	1.540	1.544	1.544	1.542	1.540
Valores (40 - 50) %	42% com o valor de $\gamma = 1.546$ (g/cm <sup>3</sup> )						

Observando a tabela acima, verificou-se que no momento que se ultrapassa o valor de 50%, a massa unitária começou a diminuir. Assim, foram analisados os valores entre (40-50)%, obtendo-se um valor mais exato na faixa dos 42%. Depois da análise da massa unitária, foi retirada uma amostra dessa mistura para ensaiar e analisar sua massa específica, apresentando o valor de  $\gamma = 2,69$  (g/cm<sup>3</sup>).

Para os cálculos iniciais de dosagem, o parâmetro determinante para a adaptação e a uniformização dos traços iniciais, foram a consistência no estado fresco, mantida constante para todos os traços, adotado-se um *slump* em 9+/-2. Esses traços foram submetidos a testes para se determinar a consistência e efetuar ajustes na dosagem inicial. Os dados das dosagens obtidas são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores para cada traço ajustado em relação à A/C.

	Exemplar de referência			100% Substituição			42 % Substituição		
	Pobre	Normal	Rico	Pobre	Normal	Rico	Pobre	Normal	Rico
Slump	8,0	8,0	7,5	9,0	8,0	7,5	8,0	8,0	7,0
A/c corrigido	0,68	0,6	0,4	0,75	0,55	0,45	0,68	0,58	0,43

Os concretos foram produzidos em betoneira industrial da marca Menegotti de 180 litros, e moldadas em corpos-de-prova cilíndricos ( $\varnothing$  10 cm x 20 cm altura) com duas camadas com 15 golpes cada. Após a moldagem, os corpos-de-prova foram mantidos em seus moldes e colocados em temperatura ambiente, por  $22 \pm 2$ h. Ao final desse período, foram desmoldados e imersos em água saturada com cal, onde permaneceram até a idade de 3, 7 e 28 dias.

**Rompimento á compressão**

Após cumprir os prazos para cura dos corpos de prova submersos, utilizou-se uma prensa modelo EMIC de 1000 toneladas para os rompimentos realizados aos 3, 7 e 28 dias após a moldagem das amostras, aplicando uma força de compressão, atingindo-se seu limite de resistência em tres amostras por traço a cada data de rompimento e então obtendo uma média das resistências de dosagens (fcj).

Os dados analisados do concreto estão expressos nas respectivas tabelas abaixo, considerando o traço pobre na Figura 5, resultados obtidos para o traço normal na Figura 6 e para o traço rico na Figura 7.

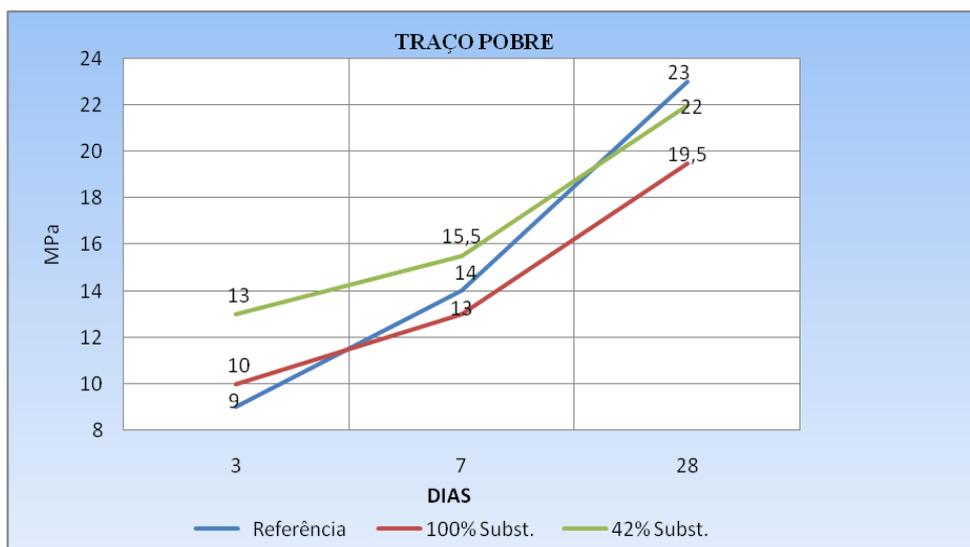


Figura 5. Resistência média à compressão (fcj) do traço pobre

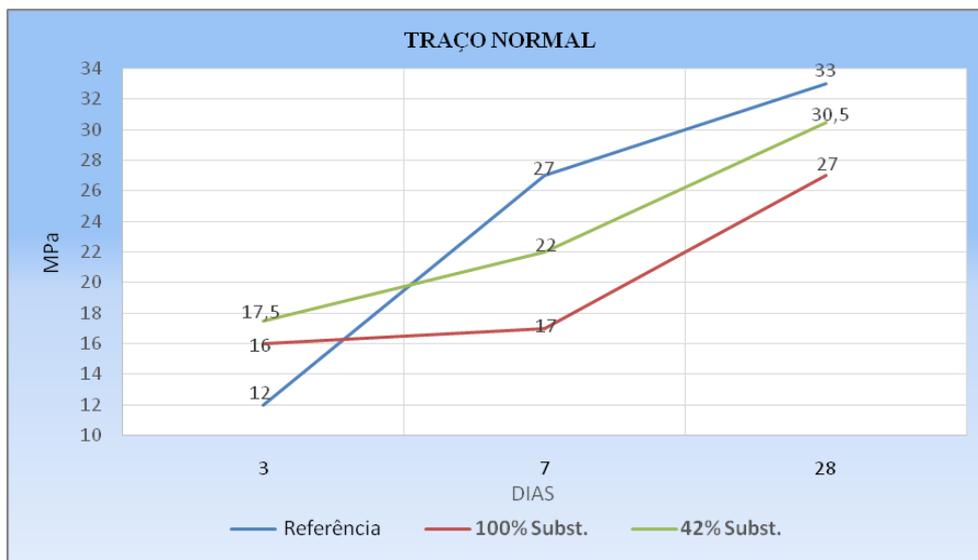


Figura 6. Resistência média à compressão (fcj) do traço normal

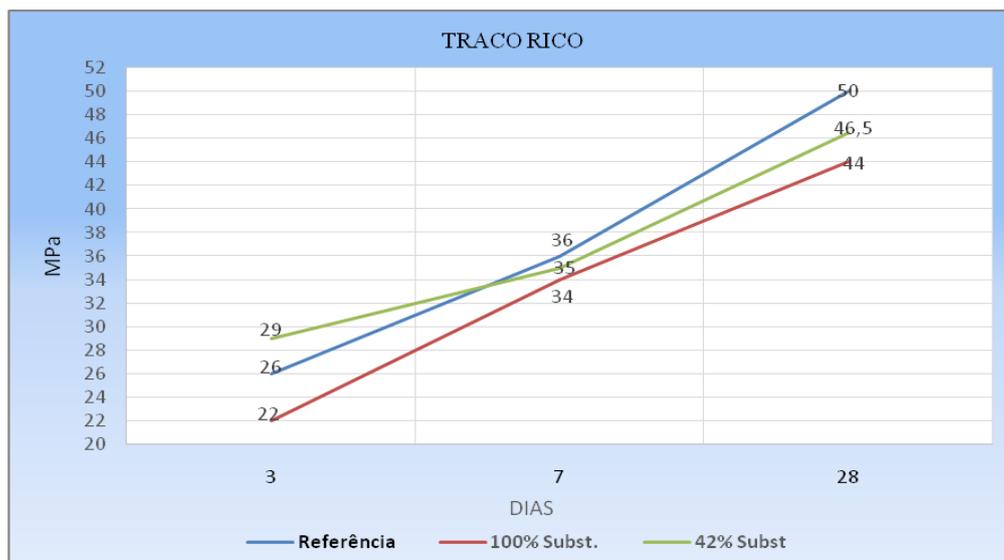


Figura 7. Resistência média à compressão ( $f_{cj}$ ) do traço rico

Ao analisar os valores de resistência à compressão dos corpos de prova referentes aos traços pobres, como visto na Figura 5, verifica-se que a amostra confeccionada com de 0% de subst. apresentou uma resistência de 23Mpa dentro dos respectivos 28 dias, sendo que a amostra confeccionada com 42% e 100% de substituição alcançaram resultados 5% e 15% abaixo do exemplar de referência, na idade de 28 dias.

Nas Figuras 6 e 7 dos traços Normal e Rico, é possível notar que aos 28 dias em relação com a amostra de referência houve uma diferença menor de 7% da amostra confeccionada com 42%, e 12% da amostra 100%.

Ao observar as amostras de referência, 100% e 42% de substituição de CBC, observaram-se que os traços com substituição tanto pobre, normal e rico atingiram uma resistência mais alta nos 3 primeiros dias quando comparadas ao traço padrão. Ao verificar a resistência a partir do sétimo dia em diante, nota-se que a resistência do traço padrão continua aumentando em uma proporção mais acelerada do que a resistência dos traços com substituição, atingindo um valor mais alto no seu rompimento com 28 dias. Para poder explicar esse fato, deverá ser feito mais ensaios avaliando as propriedades físicas e químicas do CBC, como em relação ao tempo de pega inicial e final quando juntas ao cimento.

Um fato importante citado por Cordeiro (2006) pode ser reportado na utilização das cinzas devido sua composição química e física como adição mineral. Quando há controle na queima e no resfriamento, geram-se efeitos químicos no qual se modifica a estrutura dos seus compostos, podendo apresentar reatividades pozolâmicas. Esse fato pode-se deixar de desejar no presente trabalho, por falta de homogeneidade na produção da cinza, que não pode ser exigida no processo industrial, onde raramente possui controle operacional da temperatura de combustão e do tipo de resfriamento. Mas também não podemos afirmar que não possa ter ocorrido alguma atividade.

Este fato também foi observado por CYR (2008, apud LIMA, Sofia Araújo et al., 2011), que relata que esses efeitos físicos e químicos da cinza quando não controlada seu tempo de queima, podem influenciar no tempo de pega do concreto podendo ocorrer até a idade de 180 dias.

Dado ao fato que os traços Pobre, Normal e Rico apresentam resistências aumentadas em proporções gradativamente, não tem haver totalmente com a influência da CBC, e sim

com a relação água/cimento, sendo que no traço Pobre o consumo de cimento é menor, o que requer mais água, em relação ao traço Normal e Rico.

Classificando-se de acordo com a sua resistência característica à compressão em MPa, de acordo com a NBR 8953(ABNT, 2015), nota-se que apenas os traços pobres não podem ser considerados para obra permanente aos 28 dias. Pois se classificam como C15 ao se aplicar a taxa de segurança, podendo ser utilizados em fundações e obras provisórias segundo a norma NBR 6122(ABNT, 2010).

A amostra confeccionada com 100% de cinza apresentou resultados menores no 28º dia que o da amostra de referência. Essa perda de resistência pode ter ocorrido devido à menor granulometria da CBC em relação à areia, o que requer mais água de amassamento para manter a mesma consistência no estado fresco, o que se tornaria mais restrito devido a pouca trabalhabilidade da mistura, sendo necessário o uso de um aditivo plastificante na hora de rodar o traço.

Quanto à amostra confeccionada com 42% de cinza no traço Pobre, Normal e Rico obteve valores menores, mas próximos à amostra de referência. Com uma variação de até 5% menor, esse traço se tornaria aceitável devido sua fácil trabalhabilidade e desempenho, levando em conta no termo de sustentabilidade.

Lima et al. (2011) verificou que o resultado entre 30% a 50% de substituição parcial do agregado miúdo, em ações abrasivas superficiais de intensidade leve, são benéficas para a produção de artefatos de concreto para infraestrutura urbana.

#### **4. CONCLUSÕES**

Na análise preliminar do CBC em substituição ao agregado miúdo, permitem concluir que as propriedades físicas como massa específica, massa unitária e granulometria, apresentaram características semelhantes as da areia natural;

Ao verificar os traços desenvolvidos podemos concluir então que, conforme há um aumento da parte substituída do agregado miúdo por CBC, o traço então sofre uma diminuição de resistência á compressão e esta resistência também tem uma interferência na quantidade de cimento utilizado para a execução do concreto. Portanto a quantidade de substituição interfere na resistência final, assim como a quantia de cimento utilizado.

A partir das análises realizadas, foi possível verificar que os traços Pobre, Normal e Rico só apresentaram resistências diferentes em proporções, devido ao fato que no traço Pobre, o consumo de cimento é menor em relação ao traço Normal e Rico.

Amostras confeccionadas com 42% e 100% de CBC alcançaram resultados satisfatórios com valores entre 5% a 15% abaixo da amostra confeccionada com 0% CBC (referência), nos traços pobre, normal e rico, respectivamente na idade de 28 dias.

Os traços desenvolvidos com teor de 42% e 100 % de substituição (CBC) mostrou-se que mesmo sem atingir a idade recomendada de dias, seus valores obtidos são de grandes utilidades na construção civil, desde que também seja investigada a durabilidade dos materiais para que se possam estabelecer melhores parâmetros de utilização.

Através dos dados obtidos nessa pesquisa, percebe-se que a utilização do CBC na construção civil não apenas beneficia economicamente, mas também propicia um ganho ambiental, pois é um material que é continuamente utilizado de modo incorreto na natureza, solucionando parte deste problema. Também se comprova que é um agregado pertinente para

concreto, inclusive em toda sua maior parte estrutural, uma vez que, analisada sua resistência à compressão, não sofre grandes prejuízos quando substituídos parcialmente ou por completo.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Usina Nova Produtiva de Astorga, pelo fornecimento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. A empresa Revimak Comércio de Equipamentos Industriais pela assessoria.

## **REFERÊNCIAS**

ANJOS, Marcos A. S. **Adição do resíduo de biomassa da cana-de-açúcar em pastas para cimentação de poços petrolíferos produtores de óleos pesados**. 2009. 172 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), 2009. 172 f. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2009.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 26** - Agregados - Amostragem: Procedimento. 2009.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 30** - Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.2001

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 45** - Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios. 2006.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 52**: Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR- NM 53** - Agregado graúdo - determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. 2009.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 67** - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NBR-NM 248**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 3310-1**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5738**- Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5739** - Concreto — Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6122** - Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6467** – Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**- Agregados para concreto - Especificações. . Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, **NBR 8953**- Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655** - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL, Portal. **Safra 2015/2016 de cana-de-açúcar cresce 3,2%**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/08/safra-2015-2016-de-cana-de-acucar-deve-crescer-3-2>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

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, COPPE/UFRJ, 2006.

LIMA, Sofia Araújo et al. **Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo**. Revista Tecnológica: Edição Especial ENTECA, Maringá, n. , p.87-97, 2009.

LIMA, Sofia Araújo et al. **Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p.201-212, 26 abr. 2011.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. **Sustentabilidade em obras de edificações: Sustentabilidade na construção civil**. In: OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. **ESTUDO SOBRE O USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVOS QUE OTIMIZAM A SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Cap. 5. p. 15-17.

PAULA, Marcos et al. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 3, p.353-357, 29 out. 2008.

TALLINI JUNIOR, Vanderlei Mateus. **DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS A PARTIR DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA, MICRO ESFERAS DE VIDRO DE JATEAMENTO, SAIS DE NEUTRALIZAÇÃO DE ÁCIDOS DE BATERIAS E AREIA DE FUNDIÇÃO**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Cap. 1.

TANGO, Carlos Eduardo de Siqueira; SAAD, Victor Maluf Kyriakos. **Incrementos no Método de Dosagem IPT para concretos com amplo espectro de desempenho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. CONGRESSO. Foz do Iguaçu: Ibracon, 2001.

UNICA. **Bagaço de cana pode ganhar valor substituindo areia na construção civil**. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/33630022920327850689/bagaco-de-cana-podeganhar-valor-substituindo-areia-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

VANDERLEI, Romel Dias et al. **Tópicos Especiais em Construção Civil: Utilização de Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar em Concretos e Argamassas**. Maringá: Gfn Gráfica e Editora, 2013. 145 p. (Tópicos Especiais em Construção Civil).

UNICA. **União da indústria da Cana de açúcar**. 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/na-midia/22757742920338370133/etanol-20-por-cento3A-biocombustivel-revolucionario-que-e-aposta-do-brasil-/>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

ZORDAN, S.E., **A utilização de entulho como agregado, na confecção de concreto**. Campinas, 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Saneamento). Universidade Estadual de Campinas.