

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS APÓS A INCORPORAÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR E CARVÃO ATIVADO DE OSSO BOVINO

Susane Andressa Masi Alves (Unicesumar). E-mail: susanealves@hotmail.com
Osorio Moreira Couto Junior (Universidade Estadual de Maringá). E-mail: osorio_eq@yahoo.com.br

RESUMO: Este trabalho trata-se de um estudo sobre o comportamento mecânico de concretos quando há uma substituição parcial do cimento Portland por resíduos como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (RB 867515) e carvão ativado de osso bovino. O propósito de estudos com esse teor dá-se pela necessidade de transformar a construção civil em uma indústria cada vez mais sustentável considerando que esta é responsável por cerca de 50% do consumo de recursos naturais e a fabricação de cimento é responsável por 5% da emissão mundial de CO₂. A metodologia utilizada constituiu de ensaios laboratoriais onde foi comparado para diferentes traços o comportamento do concreto quando houve uma substituição gradativa do cimento Portland pelos resíduos cinza do bagaço de cana-de-açúcar e carvão ativado de osso bovino em 1%, 10% e 20%, onde se avaliou possíveis alterações na resistência mecânica à compressão, consistência, módulo de elasticidade, porosidade total, absorção, índice de vazios. Conclui-se que aos 28 dias de idade, o concreto de referência apresentou resultados na ordem de 25 MPa, já os concretos produzidos com resíduos apresentaram em alguns casos uma diminuição na resistência à compressão de até 40%, mas em sua maioria mantiveram comportamentos semelhantes ao do concreto padrão. Em relação a permeabilidade observou-se que houve um incremento de 10%.

Palavras Chave: Construção Civil; Resíduos; Cinza de cana-de-açúcar; Carvão ativado de osso bovino; Concreto.

ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIEOR OF CONCRETES MADE BY COMBINING ASHES OF SUGAR CANE BAGASSE AND ACTIVATED BONE CHARCOAL

ABSTRACT: This work it is a study of the mechanical behavior of concrete when there is a partial replacement of Portland cement by waste as ash from bagasse of sugarcane of RB 861715 variety and activated bone charcoal. The purpose of studies with this content gives up the need to transform the civil construction into an increasingly sustainable industry considering that this accounts for about 50% of the consumption of natural resources and the production of cement accounts for 5% of global CO₂ emissions. The methodology consisted of laboratory tests which were compared for different traits concrete behavior when there was a gradual replacement of Portland cement by ash waste bagasse from sugarcane and activated bone charcoal at 1%, 10% and 20 %, which evaluated possible changes in compressive strength, consistency, elasticity modulus, porosity, absorption, voids. It was concluded that at 28 days of age, the reference concrete presented results of around 25 MPa, as the concrete produced with waste present in some cases a decrease in compressive strength to 40% but mostly remained similar behavior the standard concrete. Regarding the permeability it was observed that there was a 10% increase.

Keywords: Construction; Waste; Ashes of sugarcane bagasse; Activated bone charcoal, Concrete.

1. INTRODUÇÃO

Ainda hoje as construções em concreto são as mais utilizadas nas edificações, estimava se que anualmente eram consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, o que seria uma média de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor que é inferior apenas ao consumo de água, isso

segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP). O uso de aditivos em concreto tem crescido conforme as edificações tomam formas e dimensões fazendo com que as propriedades do concreto tradicional já não sejam suficientes. Em países de primeiro mundo em torno de 70 a 80% dos concretos usam aditivos (IBRACON, 53^o Ed. 2009).

De acordo com Mehta e Monteiro (2006), a taxa em que o concreto é usado na atualidade é muito maior do que era a 40 anos. O fato de o concreto possuir uma excelente resistência a água, faz com que ele seja mais utilizado do que, por exemplo, o aço que possui uma resistência a compressão muito maior.

Cada vez mais, pesquisas têm sido desenvolvidas para que subprodutos como no caso da escória de alto forno moída e sílica ativa sejam usados no concreto para colaborar com suas propriedades, entretanto há uma necessidade de saber exatamente como essas combinações devem acontecer para que algumas características do concreto sejam melhoradas (SAMPAIO, 2013).

Nos dias atuais um desafio tem se posto à frente da indústria do concreto, o de que o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente possam conviver de maneira harmoniosa principalmente considerando os problemas agregados ao cimento Portland, o principal componente do concreto (CORDEIRO, 2006).

Seguindo essa linha, adições minerais ao concreto tais como o uso de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) entre outros, tem se tornado uma alternativa economicamente viável. No Brasil, o uso do CBC tem sido causa de diversas pesquisas em busca da avaliação desse subproduto (PRUDÊNCIO JR, 2003).

Segundo Cordeiro (2006), se controladas as condições nas quais a queima do bagaço é feita, com a temperatura variando de 600°C a 650°C a quantidade de sílica (SO₂) encontrada no bagaço em estado amorfo apresenta características pozolânicas. Seu uso varia como na substituição parcial do cimento Portland gerando uma pasta, usada na fabricação tanto de argamassas quanto de concretos.

Pesquisas envolvendo carvões ativados vêm sendo desenvolvidas em grande número devido a sua qualidade como adsorvente. Preparados a partir de grande variedade de materiais, estão sendo aplicados em diversas áreas dos meios industriais e ambientais. Com alto teor de carbono, materiais como o osso bovino, xisto betuminoso, casca de frutas, coque de petróleo, lignita e madeira são os usualmente utilizados na fabricação de carvão ativo (RIBEIRO, 2011).

Segundo Oliveira (2012), com inúmeras possibilidades de uso, o carvão de osso tem sido constantemente explorado por seu potencial adsorvente. Obtido através de ossos bovinos, a indústria açucareira o tem usado na clarificação do xarope, bem como na retenção de flúor. Na construção civil entretanto, seu uso é pouco conhecido.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme a sociedade tem avançado e desenvolvido uma mentalidade mais ecologicamente correta, a necessidade de todos os setores da economia de se adaptar a essa nossa tendência tem crescido cada vez mais causando uma grande mudança em hábitos já a muito considerados como corriqueiros. A indústria da construção de concreto é um desses setores que tem visto esse pensamento sustentável atingir muitas de suas áreas, fazendo com que as empresas envolvidas tenham que se adaptar indo em busca de formas alternativas de energia, materiais e processos (BENTZ; FERRARIS; SNYDER, 2013).

Um concreto que venha utilizar em sua mistura um componente de uma fonte renovável que possa mostrar se bastante viável e ainda acarretar uma melhora nas propriedades mecânicas deste para utilização na construção civil, tem feito universidades, institutos, empresas entre outros órgãos a

buscarem desenvolver pesquisas para responder as dúvidas que ainda existem sobre essa nova ideia (SAMPAIO; SOUZA; GOUVEIA, 2013).

Este trabalho procura obter um maior número de informações sobre a possibilidade de usar subprodutos como o carvão ativado de osso bovino e as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar de variedade RB 867515 em conjunto com o cimento Portland em concretos, tendo em vista a grande disponibilidade destes materiais e sua viabilidade.

2. OBJETIVOS

Este artigo concentra-se em investigar a influência que a adição das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e do carvão ativado de osso bovino terá nas características mecânicas do concreto quando estes substituírem parcialmente o cimento Portland como aglomerante. Para tal foram realizados no concreto ensaios analisando sua consistência, módulo de elasticidade, índice de vazios, absorção, porosidade e resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Concreto

O concreto de cimento Portland, é um material proveniente da junção de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, podendo ou não receber outros componentes como aditivos que intensificam algumas de suas propriedades após o endurecimento da pasta (cimento e água) ou até mesmo em seu estado fresco (NBR 12655, 2006).

3.1.1 Propriedades do Concreto

Consistência

O fator água/materiais secos é com certeza o principal fator que influi na consistência, trata-se de uma propriedade do concreto em seu estado fresco, relacionada com a coesão e mobilidade entre os materiais componentes da massa, tendo em vista a forma uniforme e compassível do concreto. O termo consistência referisse à facilidade em que o concreto flui (SAMPAIO, 2013).

Este é usado para determinar o grau de umidade, que quando alterado, influi em características do concreto como a plasticidade, que permite uma maior ou menor deformação do concreto perante esforços. O Slump Test é o ensaio utilizado para a determinação da consistência, e baseia-se em colocar a massa de concreto fresca em uma forma de tronco cônica, adensar igualmente três camadas com 25 golpes cada uma e em seguida levantar a forma verticalmente e medir a diferença de altura entre o molde e a massa de concreto assentada (NBR NM 67, 1998).

A Tabela 3.1 apresenta os valores dos abatimentos máximos e mínimos recomendados para diferentes tipos de obras, enquanto que a Tabela 3.2 refere-se às condições dos diferentes tipos de adensamento relacionando-os com os índices de consistência e os tipos de obras.

Tabela 3.1 - Abatimento recomendado para diferentes tipos de obras.

Tipo de obra	Abatimento em cm	
	Máximo	Mínimo
Bloco sobre estaca e sapata	8	2
Viga e parede armada	10	2
Pilar de edifício	10	2
Laje maciça e nervurada	8	2

Fonte: NBR 6118/2014

Tabela 3.2 - Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento.

Consistência	Abatimento (cm)	Tipo de obra	Tipo de adensamento
Extremamente seca (terra úmida)	0	Pré-fabricação	Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas: pavimentação	Vibração muito enérgica
Seca	0 a 2	Estruturas de concreto armado ou protendido	Vibração enérgica
Rija	2 a 5	Estruturas correntes	Vibração normal
Plástica (Média)	5 a 12	Estruturas correntes	Adensamento manual
Úmida	12 a 20	Estruturas correntes sem grandes responsabilidades	Adensamento manual
Fluida	20 a 25	Concreto inadequado para qualquer uso	-

Fonte: NBR 6118/2014

Trabalhabilidade

Um das mais importantes propriedades do concreto é a trabalhabilidade, devido ao fato de que o concreto ao ser lançado e consolidado deve assegurar as propriedades para o qual foi projetado. Um concreto que não se consolida bem ou que não é facilmente lançado, não tem a durabilidade e outros requisitos exigidos pelas propriedades de endurecimento (BENTZ; FERRARIS; SNYDER, 2013).

A trabalhabilidade do concreto em estado fresco tem grande efeito sobre o bombeamento e a forma de construção pois determina a facilidade em que a mistura de concreto poderá ser manuseada sem que haja segregação prejudicial. Quanto maior o manuseio da massa, maiores são as chances de que a resistência, durabilidade e aparência do concreto sejam afetadas (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Módulo de Elasticidade

A ASTM 469 descreve o módulo de elasticidade como sendo uma tensão nos valores da deformação envolvidos no endurecimento do concreto a qualquer idade e condições de cura a que for designada. A norma também estabelece que o módulo de elasticidade é aplicado usualmente com uma tensão de trabalho de 0 a 40% do valor da resistência final do concreto.

O módulo de elasticidade usado em projetos de concreto, é usualmente estimado através de expressões empíricas que assumem uma dependência direta entre este e a resistência e densidade do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Quanto mais baixo for o módulo de elasticidade, menor será o valor da resistência a tração elástica induzida por uma dada quantidade de contração.

Resistência à Compressão

O concreto é um material que possui predominantemente resistência à compressão, sendo a medida de desempenho mais comum utilizada por engenheiros para projetos de edificações e outras

estruturas. A unidade de medida usada para resistência no Sistema Universal (SI) é o megapascal (MPa) e sua variação é de 17 MPa a 28 MPa para concretos residenciais e valores maiores em estruturas comerciais. Para aplicações específicas o valor da resistência pode chegar ou até mesmo ultrapassar 70 MPa (NRMCA CIP 35, 2003).

A Tabela 3.3 apresenta os valores de resistência à compressão do concreto segundo a influência do tipo de cimento utilizado em sua fabricação.

Tabela 3.3 - Resistência relativa aproximada do concreto.

Tipo de cimento Portland	Natureza	Resistência à compressão (porcentagem em relação ao Tipo I ou concreto de cimento Portland comum)			
		1 dia	7 dias	28 dias	90 dias
I	Normal ou uso comum	100	100	100	100
II	Calor de hidratação moderado e moderada resistência a sulfatos	75	85	90	100
III	Alta resistência inicial	190	120	110	100
IV	Baixo calor de hidratação	55	65	75	100
V	Resistente a sulfatos	65	75	85	100

Fonte: MEHTA; MONTEIRO, 1994

3.2 Aglomerantes

Agglomerantes são materiais capazes de unir ou secar outras partículas entre si formando uma coesão mecânica, química ou como um adesivo, são encontrados na maioria em estado pulverulento. Entre suas finalidades, a principal está em agregar maior resistência à união das partículas dos agregados (SAMPAIO, 2013). Na construção civil, o aglomerante utilizado é o cimento Portland.

3.2.1 Cimento Portland

No ano de 1855, em Paris, Joseph Louis Lambot apresentava pela primeira vez ao mundo o mais novo produto que viria a ficar conhecido mundialmente como o cimento Portland, recebendo esse nome devido a sua cor e características semelhantes a rochas que haviam na Ilha de Portland. O resultado foi um pó ligante que resultava da mistura de argila com calcário de forma calcinada em definidas e certas proporções (SNIC, 2015). O cimento Portland, é hoje o tipo de cimento mais utilizado no mundo, usado principalmente como ingrediente básico do concreto, argamassas, rejuntas entre outros.

Seu processo de fabricação envolve a moagem do clínquer Portland, produto que em sua maior parte é constituído de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas. Ainda no processo de moagem é permitido a adição de escórias de alto forno, materiais carbonáticos ou pozolânicos (NBR 5732, 1991).

Existe uma grande variedade de cimento Portland no Brasil como CP I, CP I-S, CPII, CP III, CP IV, CP V ARI, CP (RS), CB e CPC. No entanto o mais utilizado é o CP I e CP I-S, que são cimentos mais comuns utilizados em construções em geral, as demais variedades são utilizadas em edificações onde se constata uma necessidade de algumas propriedades do cimento mais específica (ABCP, 2015).

Na Tabela 3.4 estão apresentados os tipos de cimentos existentes e a classe pertencente de acordo com as respectivas normas.

Tabela 3.4 - Nomenclatura dos cimentos Portland.

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
CIMENTO PORTLAND COMUM (NBR 5732)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO (NBR 11578)	Cimento Portland composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
Cimento Portland composto com calcário	CP II-F	25	CP II-F-25	
		32	CP II-F-32	
		40	CP II-F-40	
CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO (NBR 5735)		CP III	25	CP III-25
			32	CP III-32
			40	CP III-40
CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO (NBR 5736)		CP IV	25	CP IV-25
			32	CP IV-32
CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
CIMENTO PORTLAND RESISTENTE AOS SULFATOS (NBR 5737)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidas do sufixo BC.
			32	
			40	
CIMENTO PORTLAND BRANCO (NBR 12989)	Cimento Portland branco estrutural	CPB	25	CPB-25
			32	CPB-32
			40	CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
CIMENTO PARA POÇOS PETROLÍFEROS (NBR 9831)		CPP	G	CPP – classe G

Fonte: ABCP (2002)

3.3 Agregados

Os agregados são materiais naturais, consolidados na crosta terrestre, formados principalmente por minerais. Considerado um material granular com dimensões e propriedades adequadas para seu uso na preparação de argamassa ou concreto (NBR 9935, 2011). Após um ensaio de acordo com a NBR NM 248, os agregados são separados em dois grupos: gráudo e miúdo.

São considerados como agregado gráudo os grãos de minerais que passam na malha da peneira nº 3'' (75 mm) e ficam retidos na malha da peneira de nº 4 (4,75 mm). Já os grãos que passam a malha de abertura da peneira de nº 4 (4,75 mm), são considerados agregados miúdos (NBR 7211, 2009).

3.4 Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é considerada uma forma de energia renovável e limpa não contribuindo para o aquecimento global. Apesar de seu produto principal ser o etanol, seus sub-produtos tais como o bagaço da cana, são utilizados como combustível para termoelétricas e na fabricação de etanol de segunda geração (MATOS; TANNOUS, 2010).

Porém ao transforma-se em cinza, o bagaço adquire características de um material com atividade pozolânica e efeito filler, devido a sua composição predominantemente de sílica. Isso contribui para que as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar possam ser utilizadas como matéria prima substituindo parcialmente o cimento Portland (NUNES et al., 2008).

Segundo Cordeiro (2006), o CBC é composto de dióxido de silício que é proveniente do ácido monossílico das raízes ou mesmo do quartzo das areias proveniente das lavouras que não o removeram totalmente na lavagem da cana.

Sendo aceito como um material pozolânico, o CBC tem sido usado na produção de concretos e argamassas para inúmeros trabalhos de pesquisa (PATIL; NIRMALE; SUTAR, 2014). Estudos como o de Hailu e Dinku (2012), indicam que substituindo 10% do cimento pelo CBC melhoram as propriedades do concreto.



Figura 3.1 – Montanha de bagaço de cana-de-açúcar.

Fonte: Revista Alcoolbrás (2005)



Figura 3.3 - Variedades de cana-de-açúcar.

Fonte: AGEITEC (2012)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html

3.5 *Carvão ativado de osso bovino*

Mas usualmente, o carvão de osso é usado na indústria do açúcar ajudando na remoção de cor do produto, entretanto outras aplicações como o tratamento de águas que sofreram contaminações por compostos tanto orgânicos como inorgânicos. Ossos secos e moídos são calcinados a 800°C com limitada concentração de oxigênio no ambiente de produção, ocasionando assim o carvão ativado de osso (RIBEIRO, 2011).

O que o define, são suas características de grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, o que forma inúmeros poros que podem ser micro, médio ou macroporos. Sua alta eficiência, e baixo custo e notável qualidade de adsorção, faz com que este material seja também usado purificar, recuperar e remover odores (OLIVEIRA, 2012).



Figura 3.4 - Ossos bovinos triturados - matéria usada para produção de carvão ativado de osso

Fonte: Bonechar®

<http://www.bonechar.com.br/carvao-ativado>

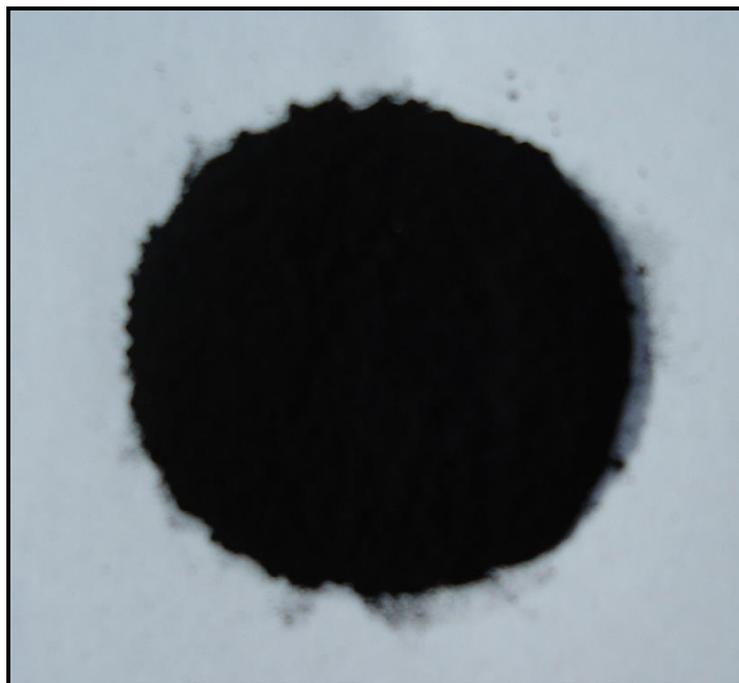


Figura 3.5 - Carvão Ativado Pulverizado
Fonte: Bonechar®
<http://www.bonechar.com.br/carvao-ativado>

4 METODOLOGIA

Os materiais e métodos aplicados para os ensaios foram escolhidos afim de verificar o comportamento mecânico do concreto após a adição das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e o carvão ativado de osso bovino como substituinte parcial do cimento Portland.

Os ensaios para análise do comportamento do concreto foram feitos utilizando materiais adsorventes, cinza do bagaço de cana-de-açúcar e carvão de osso. Ambos os materiais selecionados foram misturados com areia quartzosa, brita, cimento Portland CII Z 32 RS e água sem impurezas. Após a mistura foram realizados ensaios para cada uma delas a fim de determinar as suas características.

Tais materiais foram escolhidos considerando a grande disponibilidade dos mesmos no estado do Paraná, devido ao fato de que o carvão ativado de osso bovino ser fabricado no município de Maringá e há um grande número de usinas de cana-de-açúcar no estado, sendo o Brasil o maior produtor deste material.

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar utilizadas são de variedade RB 867515 sendo esta a mais plantada no Paraná segundo o Catalogo Nacional de variedade RB de cana-de-açúcar (2010), as amostras para ensaios foram disponibilizadas pela Usaçucar® e colidas na unidade do município de Iguatemi – Paraná. O carvão ativado de osso bovino foi disponibilizado em sua forma pulverizada pela Bonechar® em sua unidade no município de Maringá – Paraná.

4.1 Escolha do Traço

Para este trabalho, os ensaios em laboratório foram feitos utilizando um concreto padrão com o traço 1:2:3 (cimento:areia:brita), para uma relação água/cimento de 0,53. Levou-se em consideração na escolha do traço, o fato de este ser segundo Sampaio (2013), viável economicamente e atender em questão de resistência a compressão e economia considerável.

4.2 Cálculo dos Quantitativos

Usando como base as exigências das normas, os cálculos dos quantitativos foram efetuados após ter sido definido o traço a ser utilizado. Foram aplicados ao cimento, os seguintes teores dos resíduos utilizados: 1%, 10% e 20%. A Tabela 4.1 apresenta a formulação dos concreto.

Foram moldados 12 corpos-de-prova cilíndricos (10cm diâmetro x 20cm altura) por traço, seguindo a NBR 5738/2008. A Tabela 4.2 mostra os quantitativos de corpo-de-prova por traço.

Tabela 4.1 - Formulação dos concreto

Concreto	Tipo de resíduo	Traço do concreto	Fator a/c	Teor de resíduo (%)
CP	-	1:2:3	0,53	0
CBC1%	RB 867515	1:2:3	0,53	1%
CBC10%	RB 867515	1:2:3	0,53	10%
CBC20%	RB 867515	1:2:3	0,53	20%
CAO1%	Carvão de osso bovino	1:2:3	0,53	1%
CAO10%	Carvão de osso bovino	1:2:3	0,53	10%
CAO20%	Carvão de osso bovino	1:2:3	0,53	20%

Onde:

CP – Concreto padrão com 0% de resíduo.

CBC1% - Concreto com 1% de cinza de cana-de-açúcar.

CBC10% - Concreto com 10% de cinza de cana-de-açúcar.

CBC20% - Concreto com 20% de cinza de cana-de-açúcar.

CAO1% - Concreto com 1% de carvão ativado de osso bovino.

CAO10% - Concreto com 10% de carvão ativado de osso bovino.

CAO20% - Concreto com 20% de carvão ativado de osso bovino.

Tabela 4.2 – Quantidade de corpo-de-prova por traço

Ensaio	NBR	Idade dos ensaios		Total parcial
		7 dias	28 dias	
Resistência à compressão	5739/2007	3	3	6
Porosidade/ Absorção	9778/2009	-	3	3
Extra	-	-	-	3
TOTAL				12

4.3 Procedimento Experimental

Os ensaios físicos empregados nesse estudo foram efetuados de acordo com as normas estabelecidas pela ABNT.

4.3.1 Cimento

Para os ensaios envolvendo cimento Portland foram utilizados o cimento tipo CII Z 32 da marca Votorantim® que aos 28 dias possui 32 MPa de resistência.

Foi utilizado ao todo 100 kg de cimento oriundos de um único lote. Para determinar a viabilidade do cimento os seguintes ensaios foram realizados.

Ensaio de finura

O ensaio de finura segundo a NBR 11579/2012, determina o índice de finura do cimento e é realizado passando o material na peneira de nº 200 ABNT (75 µm), a porcentagem de massa retida determina o valor (Equação 4.1).

$$F = \left(\frac{R \times C}{M} \right) \times 100 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

F é a porcentagem, em massa, do cimento cujas dimensões são superiores a 0,075 mm (%).

M é a massa inicial do cimento (g) R é o resíduo de cimento na peneira 0,075 mm (g).

C fator de correção da peneira utilizada no ensaio, determinado de acordo com a EB-22, e mantido no intervalo de (1,00 ± 0,20).

Ensaio de resistência do cimento

O ensaio de resistência do cimento é de alta importância antes da fabricação do concreto, pois comprova ou não o que o fabricante especificou ser a resistência à compressão do material.

Seguindo a NBR 5738/2003 os corpos-de-prova foram montados com a argamassa produzida com a ajuda de um misturador mecânico, e o rompimento foi feito seguindo a NBR 7215/1997.

A Tabela 4.1 apresenta os valores de resistência especificados pelo fabricante.

Tabela 4.1 - Exigências mecânicas - Cimento Votorantim® CP II Z 32

	3 dias	7 dias	28 dias
Resistência à compressão (Mpa) normatizada	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0

Fonte: Votorantim Cimentos.

4.3.2 Areia

Ensaio de Granulometria

O ensaio para determinar a composição granulométrica da areia segue a NBR NM 248/2003, e determina a porcentagens e a grandeza das partículas do material analisado. O resultado é apresentado em uma curva granulométrica. O ensaio é realizado através de peneiramento, passando o material por uma série padrão de peneiras.

4.3.3 Brita

Ensaio de Granulometria

A caracterização da composição granulométrica da brita é semelhante a da areia, seguindo a NBR NM 248/2003, divergindo apenas na quantidade de material ensaiado.

4.3.4 Água

A água utilizada para a execução de todos os ensaios é proveniente da rede pública de distribuição da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), estando de acordo com a NBR 12.654/1992.

4.3.5 Cinza do bagaço de cana-de-açúcar e Carvão ativado de osso bovino

Ensaio de Granulometria

Para determinar a composição granulométrica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar e do carvão ativado de osso bovino não existem normas específicas, então para tal foi utilizada a NBR 7211/2009.

4.3.6 Concreto

Ensaio de Consistência

A consistência foi determinada através do ensaio de abatimento do tronco seguindo a NBR NM 67/1998 para cada traço da mistura.

Cura

Os corpos-de-prova foram imersos em um tanque com água seguindo a NBR 9479/2006 e ficaram imersos até a data dos ensaios prescritos.

Ensaio de Resistência à compressão axial

Os ensaios para verificar a resistência à compressão axial do concreto foram realizados aos 7 e aos 28 dias seguindo as orientações da NBR 5739/2007. Os corpos de provas foram rompidos no Laboratório de Materiais do Unicesumar em uma prensa elétrica própria para esse tipo de ensaio.

Módulo de Elasticidade

Seguindo a NBR 6118/2014, quando não for efetuado ensaios ou houver dados mais precisos quando o concreto tiver a idade de 28 dias, o módulo de elasticidade tangente inicial pode ser estimado pela Equação 4.2.

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$$

Equação 4.2

Onde:

Eci: Módulo de elasticidade tangente inicial (MPa).

fck: Resistência Característica do Concreto à Compressão aos 28 dias(MPa).

De acordo com a Equação 4.3, o módulo de elasticidade secante é calculado e pode ser utilizado para determinação de estados limites de serviço nas análises elásticas de projeto.

$$E_{cs} = 0,85E_{ci}$$

Equação 4.3

Onde:

Ecs: Módulo de elasticidade secante (MPa).

Eci: Módulo de elasticidade (MPa).

Já o módulo de elasticidade transversal, pode ser calculado seguindo a Equação 4.4.

$$G_c = 0,4E_{cs}$$

Equação 4.4

Onde:

Gc: Módulo de elasticidade transversal (MPa).

Ecs: Módulo de elasticidade secante (MPa).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos materiais

5.1.1 Cimento

Ensaio de finura

Foi obtido no ensaio o valor de 3,2, o que segundo a NBR 11578/2012 é aceitável, pois encontra-se dentro do intervalo que estabelece uma finura máxima de 12.

Ensaio de resistência do cimento

A Tabela 5.1 e a Figura 5.1 apresentam os resultados obtidos com o ensaio de resistência do cimento.

Foram satisfatórios os resultados encontrados, pois obedecem às especificações da norma que afirma que a resistência deve ser de no mínimo 10, 20, 30 MPa, para as idades de 3, 7 e 28 dias respectivamente. Como foi constatado, aos 28 dias o cimento alcançou a resistência de 32 MPa estipulada pelo fabricante.

Executando o mesmo ensaio seguindo a norma pertinente, Sampaio (2013) também obteve resultados semelhantes ao encontrado nesta pesquisa, confirmando assim o que o fabricante afirma sobre seu produto.

Tabela 5.1 - Resistência à compressão do cimento

Idade (dias)	Tensão (MPa)
3	22,15843

7	28,38453
28	32,56243

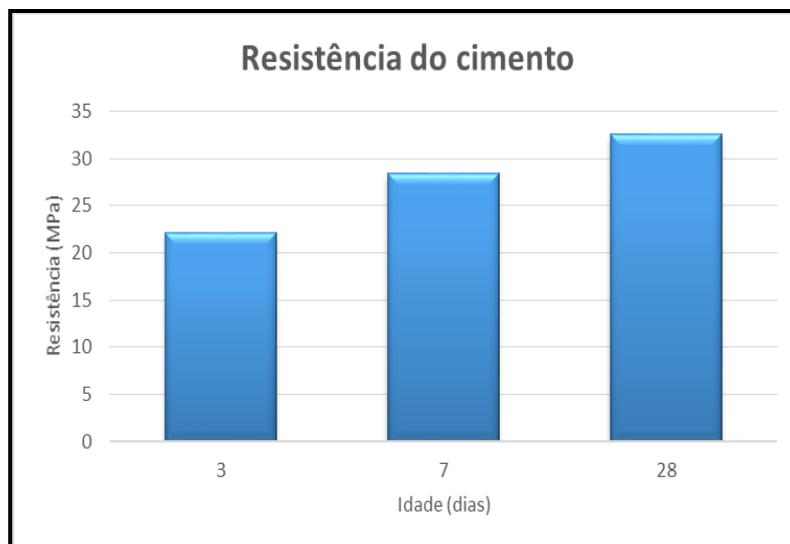


Figura 5.1 – Resistência à compressão do cimento

5.1.2 Areia

Ensaio Granulometria

A Tabela 5.2 e a Figura 5.2 apresentam a composição granulométrica da areia e a Tabela 5.3 o módulo de finura. De acordo com os valores encontrados foi possível constatar que a areia utilizada nos ensaios é classificada como areia de granulometria média com módulo de finura 2,81.

Tabela 5.2 – Composição granulométrica do agregado miúdo

Peneira	Retido(g)	Retido (%)	Acumulada (%)	Passante (%)
4,8	9,90	0,99	0,99	99,01
2,4	58,40	5,84	6,83	93,17
1,2	164,00	16,40	23,23	76,77
0,6	316,50	31,65	54,88	45,12
0,3	342,70	34,27	89,15	10,85
0,15	95,60	9,56	98,71	1,29
<0,15	12,90	1,29	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00		

Tabela 5.3 - Módulo de finura do agregado miúdo

Característica granulométrica	Resultado
Diâmetro máximo (mm)	4,80
Módulo de finura	2,81

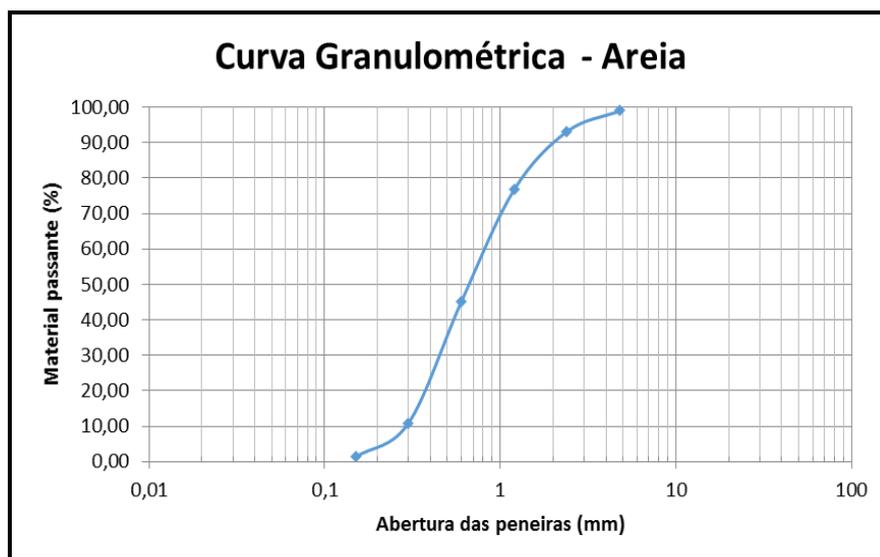


Figura 5.2 - Curva granulométrica do agregado miúdo.

5.1.3 Brita

Ensaio Granulometria

A Tabela 5.4 e a Figura 5.3 apresentam a composição granulométrica da brita e a Tabela 5.5 o módulo de finura. De acordo com os valores encontrados foi possível constatar que a brita utilizada nos ensaios é classificada como brita 19 mm com módulo de finura de 6,14.

Tabela 5.4 – Composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira	Retido(g)	Retido (%)	Acumulada (%)	Passante (%)
25	0,00	0,00	0,00	100,00
19	142,30	2,85	2,85	97,15
12,5	2643,50	52,87	55,72	44,28
9,5	1342,60	26,85	82,57	17,43
6,3	583,00	11,66	94,23	5,77
4,8	156,00	3,12	97,35	2,65
<4,8	132,60	2,65	100,00	0,00
Total	5000,00	100,00		

Tabela 5.5 - Módulo de finura do agregado miúdo

Característica granulométrica	Resultado
Diâmetro máximo (mm)	19
Módulo de finura	6,14

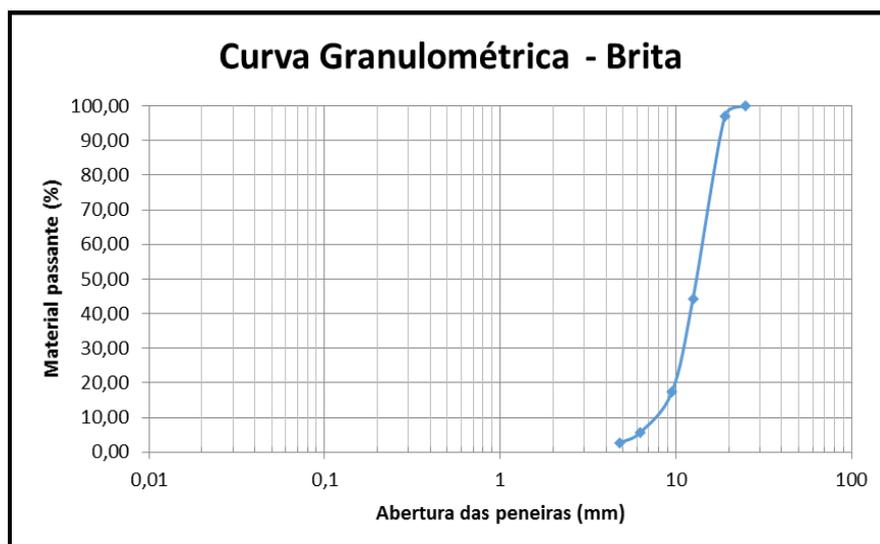


Figura 5.3 - Curva granulométrica do agregado graúdo.

5.1.4 Cinza do bagaço de cana-de-açúcar e Carvão ativado de osso bovino

Ensaio Granulometria

A Tabela 5.6 e a Figura 5.4 apresentam a composição granulométrica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar e a Tabela 5.7 o módulo de finura. De acordo com os valores encontrados foi possível constatar que o diâmetro máximo de 1,2 mm com módulo de finura de 1,70.

Tabela 5.6 – Composição granulométrica da cinza do bagaço de cana

Peneira	Retido (g)	Retido (%)	Acumulada(%)	Passante (%)
4,8	0	0,00	0,00	100,00
2,4	0	0,00	0,00	100,00
1,2	0,3	0,06	0,06	99,94
0,6	72,2	14,44	14,50	85,50
0,3	253,6	50,72	65,22	34,78
0,15	125,9	25,18	90,40	9,60
<0,15	48	9,60	100,00	0,00
Total	500,00	100,00		

Tabela 5.7 - Módulo de finura do CBC

Característica granulométrica	Resultado
Diâmetro máximo (mm)	1,2
Módulo de finura	1,70

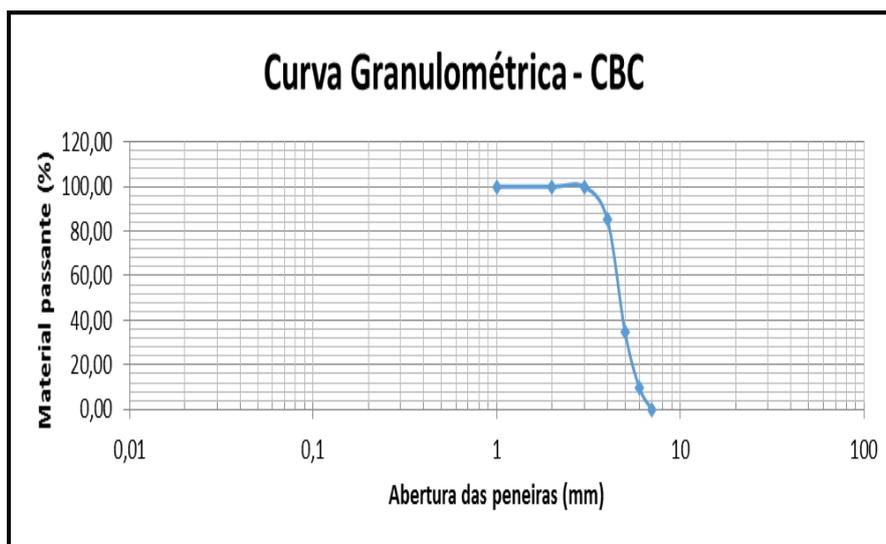


Figura 5.4 - Curva granulométrica do CBC.

A Tabela 5.8 e a Figura 5.5 apresentam a composição granulométrica do carvão ativado de osso bovino e a Tabela 5.9 o módulo de finura. De acordo com os valores encontrados foi possível constatar que o diâmetro máximo de 0,6 mm com módulo de finura de 1,57.

Tabela 5.8 – Composição granulométrica do carvão de osso

Peneira	Retido (g)	Retido (%)	Acumulada(%)	Passante (%)
4,8	0	0,00	0,00	100,00
2,4	0	0,00	0,00	100,00
1,2	0	0,00	0,00	100,00
0,6	50	10,00	10,00	90,00
0,3	293,4	58,68	68,68	31,32
0,15	50,3	10,06	78,74	21,26
<0,15	106,3	21,26	100,00	0,00
Total	500,00	100,00		

Tabela 5.9 - Módulo de finura do agregado miúdo

Característica granulométrica	Resultado
Diâmetro máximo (mm)	0,6
Módulo de finura	1,57

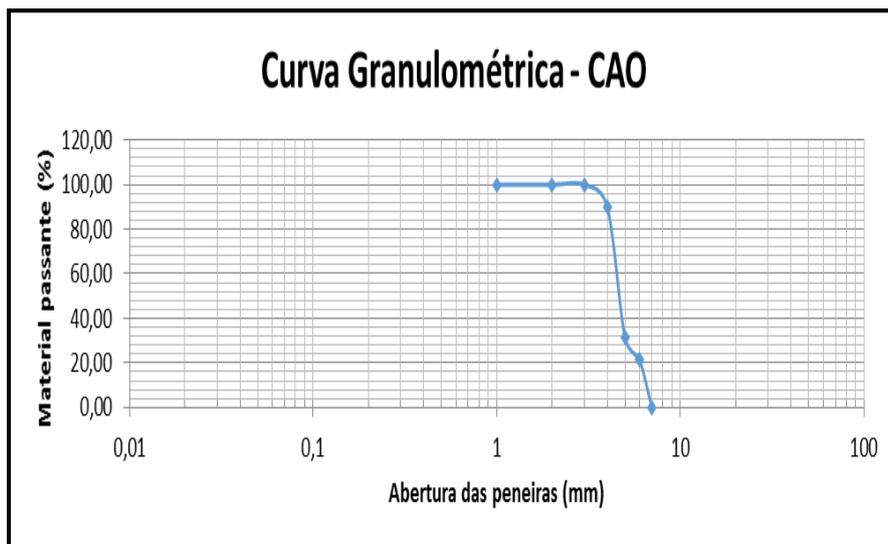
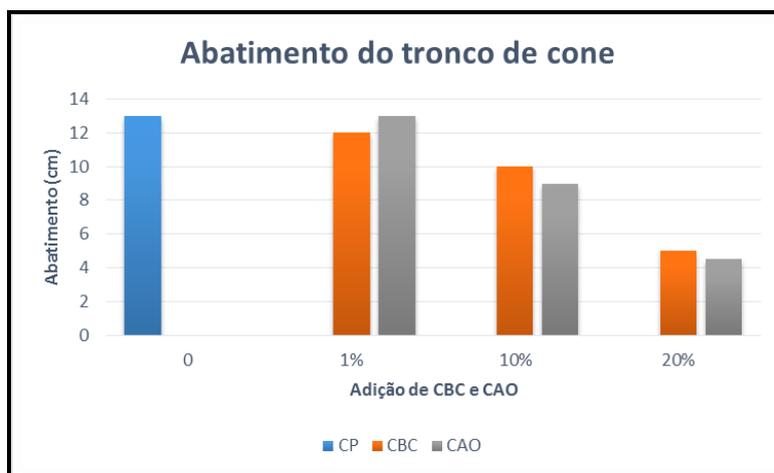


Figura 5.5 - Curva granulométrica do CAO.

5.1.5 Concreto

Ensaio de consistência

O comportamento plástico do concreto e suas alterações estão apresentadas na Figura 5.6.



Onde:

CP – concreto padrão

CBC – concreto com cinza do bagaço da cana-de-açúcar

CAO – concreto com carvão ativado de osso bovino

Figura 5.6 – Ensaio de consistência dos concretos

De acordo com a Figura 5.6, observa-se que conforme o teor de CBC ou CAO aumenta, há uma queda significativa na trabalhabilidade do concreto concluindo-se de que tanto as incorporações de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar quanto de carvão ativado de osso bovino influenciam na plasticidade do concreto.

O concreto CBC apresenta uma queda de aproximadamente 9,5% em relação ao concreto padrão, já o concreto CAO apresenta comportamento semelhante ao padrão quando há adição de 1% do material substituinte.

Quando a adição do material substituinte é de 10%, observa-se que o abatimento chega a aproximadamente 30% para CBC e 23% para CAO em relação ao concreto padrão.

Já para a adição de 20% o concreto que perdeu mais trabalhabilidade foi CAO, chegando a ser aproximadamente 290% menor que o concreto padrão quanto que CBC foi 260% menor.

Segundo Sampaio (2013), o fato da trabalhabilidade ter essa queda brusca deve-se pela combustão incompleta do material, que contém altos teores de matéria orgânica. A queima dos materiais em temperaturas não controladas também faz com que estes absorvam mais água, consequentemente contribuindo para um concreto mais seco e menos trabalhável.

Ensaio de resistência à compressão

Neste subitem os resultados do concreto no estado endurecido serão apresentados. Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova moldados para este foram rompidos aos 7 e 28 dias. As Figuras 5.7 e 5.8 ilustram os resultados.

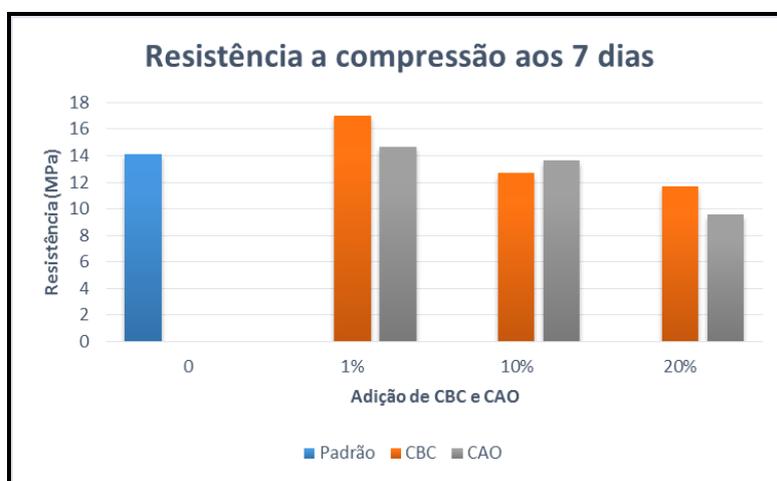


Figura 5.7 – Resistência à compressão dos concretos aos 7 dias

Aos 7 dias de idade (Figura 5.7), observa-se que as misturas produzidas com 10% e 20% de substituição obtiveram uma resistência menor que a do concreto padrão chegando a ser a queda de até 32% enquanto a mistura produzida com 1% de substituição mostrou-se nas primeiras idades 20% mais resistente que o concreto padrão.

Já aos 28 dias, como mostra a Figura 5.8, a mistura CBC com 10% de substituição foi a teve maior resistência à compressão, chegando a ser 5% maior que a do concreto padrão. Observa-se que os traços contendo 20% de substituição mostraram ambos inferiores a 20 Mpa, chegando a ser até 40 % menor que o concreto padrão.

Sampaio (2013) obteve resultados mais aprimorados em sua pesquisa com outras variedades de cana, mostrando o quanto a resistência à compressão pode ser variar dependendo do uso da variedade de cana.

A baixa atividade pozolânica dos materiais segundo Cordeiro (2006) é provavelmente a razão de seu comportamento, não atingindo resistências maiores do que aquela alcançada pelo concreto padrão.

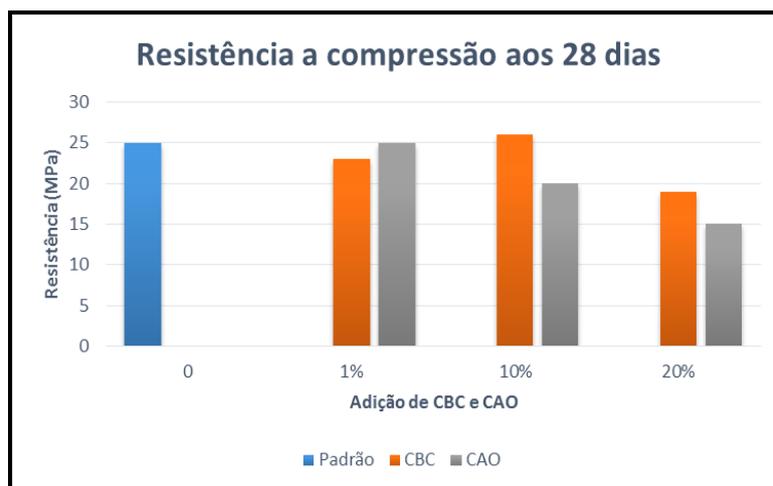


Figura 5.8 – Resistência à compressão dos concretos aos 28 dias

Módulo de Elasticidade

Foram encontrados os valores de módulo de elasticidade tangente inicial, módulo de elasticidade secante e módulo de elasticidade transversal descritos na Tabela 5.10. Os mesmos estão de acordo com o proposto pela NBR 6118/2014, e podem ser usados em cálculos estruturais posteriores.

Tabela 5.10 – Módulo de elasticidade

	Eci	Ecs	Gc
CP	28000	23800	9520
CBC1%	26857	22828	9131
CBC10%	28555	24271	9709
CBC20%	24410	20748	8299
CAO1%	28000	23800	9520
CAO10%	25044	21287	8515
CAO20%	21689	18435	7374

6. CONCLUSÃO

O carvão ativado de osso bovino e a cinzas do bagaço de cana-de-açúcar selecionadas, apresentaram desempenho pertinente à aplicação na fabricação de concretos de resistência convencional. Em função do material em questão estudado, particularidades foram observadas nos ensaios conduzidos em concreto no que se refere a substituição parcial do cimento Portland por carvão ativado de osso bovino e a cinzas do bagaço de cana-de-açúcar.

Com os resíduos estudados foi possível fazer uma manutenção das propriedades mecânicas dos concretos conseguindo que um emprego menor de cimento Portland fosse utilizado. Observou-se que o concreto em termos de trabalhabilidade, tornava-se menos trabalhável conforme o teor de resíduo utilizado aumentava.

Em termo de resistência à compressão, os concretos fabricados com substituição parcial do cimento, mostraram ter comportamento semelhante ao do concreto padrão, salvo as misturas cujo teor de substituição era de 20%, observando assim que quanto maiores os teores de carvão e das cinzas de cana da espécie estudada, as resistências encontradas eram de valores não aconselháveis.

Em suma, segundo a NBR 6118/2014, com os resultados obtidos conclui-se que os concretos com substituição parcial de cimento por carvão ativado de osso bovino e a cinzas do bagaço de cana-de-açúcar são indicados para usos em fundações, obras provisórias, obras de pequeno porte com até 4 pavimentos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. R.; MENEZZI, C. H. S. del.; TEIXEIRA, D. E. “Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard”. 2002. *Bioresource Technology*, vol 85, issue 2, nov 2002, p. 159-163.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM 469: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression, West Conshohocken, PA, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215*: Cimento Portland – determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12655*: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67*: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9935*: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

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

BENTZ, D. P.; FERRARIS, C. F.; SNYDER, K. A. “Best practices guide for high-volume fly ash concretes: assuring properties and performance”, NIST Technical Note 1812, (2013).

CORDEIRO, G. C. *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto*. 2006. 445f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FELIX, A. L. “Biomassa residual do coco babaçu: potencial de uso bioenergético nas regiões Norte e Nordeste do Brasil”. 2014. Disponível em: <<<http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=9807>>>, Acessado em: 02 de abril de 2015.

RIBEIRO, M. V. “Uso do carvão de osso bovino na defluoretação de água para uso em abastecimento público”. 2011. 75f. – Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, MG, 2011.

HAILU, B.; DINKU, A. “Application of sugarcane bagasse ash as a partial cement replacement material”, Journal of EEA, Vol. 29, pp. 1-12, (2012).

J PAULA, M. O. de; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N. S.; SOUZA, C. F. (2009). Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n3/v13n03a19.pdf>>. Acessado em: 02 abril de 2015.

RANGEL, G. W. A. “Determinação da resistência a tração do concreto por compressão diametral e flexão”. 2011. 53f. – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

MATOS, R. B.; TANNOUS, K. “Preparação e estudos de caracterização do bagaço de cana-de-açúcar”. 2010. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. “Concrete – Microstructure, Properties and Materials”, 3rd ed., McGraw-Hill, EUA, 2006.

NEVILLE, A. M., Properties of Concrete, 3rd ed., Pitman Publishing, London, 1981.

NUNES, I. H. S. et al. “Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção”. 2008. 10f. – Revista Tecnológica, v. 17, p. 39-48, 2008.

OLIVEIRA, C. M. “Remoção de metais pesados utilizando carvão de osso”. 2012. 112f. – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2012.

PRUDÊNCIO Jr., et al. (2003). Cinza da casca de arroz. In: Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, Coleção Habitare, v.4, Porto Alegre: ANTAC.

RANGEL, G. W. A. “Determinação da resistência a tração do concreto por compressão diametral e flexão”. 2011. 53f. – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B.; GOUVEIA, B.G. “Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos”, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Volume 7, nº 4, p. 626-647, (2014).

SAMPAIO, Z. L. M. “Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-acucar de variedades SP911049, RB92579 e SP816949”. 2013. 151f. – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2013.