

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE CINZA DE FIBRAS NATURAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO PORTLAND

SQUINZANI, Alisson¹

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: O trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência da adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar e cinza de casca de coco nas propriedades do concreto no estado endurecido, a partir da substituição parcial do cimento Portland por cinza pozolânica. Esta proposta surge da necessidade de aumentar a resistência à compressão do concreto e aos impactos ambientais provocados pela produção do cimento Portland. Este trabalho avaliou a viabilidade técnica do aproveitamento de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas nas caldeiras em usinas de álcool e açúcar, e cinzas da casca do coco provenientes dos resíduos de fábrica de briquetes. Foram moldados ao todo 21 corpos de prova e após 28 dias em cura controlada, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão através de ruptura por compressão axial. Para a cinza do bagaço de cana-de-açúcar foi possível notar que adição causou redução na resistência à compressão. Já para a cinza da casca do coco foi possível observar que em adições com baixo teor ocorreu acréscimo na resistência, sendo o teor de 5% na cinza da fibra da casca do coco a que apresentou maior acréscimo na resistência.

Palavras-chave: Cinza pozolânica, concreto, resistência à compressão, corpo de prova.

1. INTRODUÇÃO

O disparado avanço tecnológico, em busca do progresso, consome excessiva matéria-prima na produção de bens que são utilizados para atender a demanda social do mundo. Os inúmeros processos industriais de fabricação trazem consigo uma vasta gama de resíduos que, muitas vezes, são depositados, inadequadamente ao meio ambiente. Exemplos disso são usinas de processamento de cana-de-açúcar para a produção do etanol ou, até mesmo, extração do caldo da cana para fazer doces e açúcares. Já nas fábricas de extração da água de coco, partes dos cocos são utilizados para doces, por exemplo, e o restante é feito o descarte. Utilização da fibra do bambu, que é um material existente na natureza e pouco utilizado, apresentando uma grande resistência (MEDEIROS, 2008).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: squinzani.alisson@gmail.com

² Docente, Mestre, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

A produção de cimento causa um alto impacto ambiental, que pode ser reduzido com adições em substituições dos cimentos, tais como cinzas de fibras de produtos naturais. Essa substituição também oferece vantagens econômicas, pois está sendo substituído o clínquer, por resíduos sólidos naturais. Desse modo, pode-se dizer que um dos avanços mais importantes do desenvolvimento do concreto neste último século foi a utilização de subprodutos industriais na sua produção (MEDEIROS, 2008).

Neste contexto, este trabalho caminha na direção da sustentabilidade em três vertentes. Por um lado, pelo aproveitamento de resíduos industriais, pelo aproveitamento de um material natural existente na natureza em abundância, e por outro, pela substituição de parte do cimento Portland, que é um material com altíssimo nível de emissão de CO₂ inerente ao seu processo de produção.

O trabalho de pesquisa apresentado tem como objetivo principal a verificação da viabilidade técnica da utilização de cinza de cana-de-açúcar e cinza de coco verde, provenientes respectivamente do bagaço da cana e da casca do coco, como adição à mistura de concreto para finalidades estruturais. Este estudo delimitar-se-á em testes laboratoriais utilizando por parâmetro a NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015) no que tange à moldagem e cura dos corpos de prova e a NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2018) referente ao ensaio de compressão. Salienta-se que para que este trabalho científico tenha pleno êxito deverão ser atingidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Verificar a resistência à compressão do concreto com adição de cinza de cana-de-açúcar quando comparado ao concreto padrão de referência;
- b) Verificar a resistência à compressão do concreto com adição de cinza de coco verde em comparação ao concreto padrão de referência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo será abordado o conceito de concreto, e ensaios para verificações de características mecânicas.

2.1.1 Concreto de cimento *Portland*

Segundo Neville (2013), o concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto da relação

entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente essa definição pode cobrir uma larga gama de produto. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. Além disso, esses concretos podem ser aquecidos, curados a vapor, alto clavados, tratados a vácuo, prensados, vibrados por impactos e projetados.

A qualidade do concreto está diretamente ligada à seleção dos materiais que o compõe, mas depois de misturado deve ser transportado, lançado e adensado corretamente. Os materiais que compõem o concreto *Portland* são: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e adições (PETRUCCI, 1998).

2.1.2 Materiais constituintes do concreto

2.1.2.1 Cimento *Portland*

O cimento Portland é um material que possui propriedades adesivas, com capacidade de unir agregados miúdos e graúdos, formando uma massa compacta (NEVILLE, 2013).

Os principais componentes do cimento Portland são: calcário, sílica, alumina e óxido de ferro.

O processo de fabricação do cimento Portland consiste na moagem do calcário e da argila, em uma mistura dos elementos em proporções adequadas, e, em seguida, a queima da mistura resultante em forno a uma temperatura aproximada de 1450°C. Assim, quando atingir essa temperatura, o material é fundido e forma o clínquer. O clínquer é resfriado e, em seguida, moído, formando um pó fino.

Existem vários tipos de cimentos que podem ser diferenciados por suas composições e características apresentando diferentes propriedades depois de serem hidratados, entre eles os principais são:

1. CP I - Cimento Portland Comum:

O CP I é o cimento Portland comum com seu uso adequado para construções de concreto em geral, mas, é o menos utilizado por ter uma baixa resistência. É um cimento puro e sua única adição é o gesso (cerca de 3%, que também está presente nos demais tipos de cimento Portland). Esse tipo de cimento é tratado pela NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

2. CP II – Cimento Portland Composto:

O CP II é um cimento composto podendo ter a adição de escória, filer, calcário ou pozolana. Seu uso é indicado na maioria das construções, entre elas pode-se citar: concreto armado, protendido e usinado, pisos, contra pisos entre outras. Esse tipo de cimento é tratado pela NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

3. CP III – Cimento Portland de Alto Forno:

O CP III é um cimento Portland de alto forno, de alta resistência recomendado para uso em geral na construção, sobretudo em obras com exposição a ambientes agressivos, galerias de água e esgoto, obras submersas, pavimentação de estradas, etc. Esse tipo de cimento é tratado pela NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

4. CP IV – Cimento Portland Pozolânico:

O CP IV contém adição de pozolana, o que atribui ao cimento uma alta impermeabilidade e consequentemente maior durabilidade proporcionando resistência mecânica à compressão superior ao do concreto de cimento comum em longo prazo. O seu uso é principalmente recomendado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. Esse tipo de cimento é tratado pela NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

5. CP V – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial:

O CP V é produzido com um clínquer de dosagem diferenciado de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina, o que atribui a esse tipo de cimento uma alta resistência inicial; é indicado para casos que necessite de desforma rápida e alguma resistência a agentes agressivos do meio ambiente. Esse tipo de cimento é tratado pela NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

2.1.2.2 Agregados

Segundo Petrucci (1998), agregado é todo material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia, sendo eles as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas provenientes de alterações de rocha.

Já segundo Neville (2013), os agregados naturais são formados por processos de intemperismo e abrasão ou por britagem de grandes blocos da rocha-mãe. Sendo assim, apresentam características químicas, minerais, dureza, estrutura de poros, coloração presentes na rocha-mãe.

De acordo com Neville (2013), a classificação mais importante dos agregados, em virtude do comportamento bastante diferenciado de ambos os tipos, quando aplicados nos concretos, é a que se dividem os agregados, segundo o tamanho, em agregados miúdos e agregados graúdos.

Para Neville (2013), entende-se por agregado miúdo a areia natural quartzosa ou pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira 4,8mm e o restante fica retido na peneira 0,075mm. Existem três tipos de areia natural para execução do concreto; areia grossa com módulo de finura entre 3,35 e 4,05mm, média 2,40 e 3,35mm e fina 1,97 e 2,40mm, já o módulo de finura da areia industrial é de 0,5 a 4,8mm.

O agregado graúdo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira com tamanho de 152mm e ficam retidas na peneira 4,8mm. Os agregados mais utilizados para o preparo do concreto são; brita 0, com módulo de finura 9,5 a 4,8 mm, brita 1, com 19 a 9,5 mm e brita com 2, 25 a 19mm.

Segundo a NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2019), os agregados devem apresentar requisitos gerais, dentre os quais, serem compostos por minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos e não devem conter substâncias que afetem o processo de hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo da estrutura. A granulometria dos agregados permite determinar o módulo de finura e o diâmetro máximo, bem como a distribuição granulométrica dos agregados, a composição granulométrica que o concreto exerce, a influência na trabalhabilidade do concreto fresco e por consequência, no concreto endurecido. Misturas de concreto que tenham facilidade de manejo e aplicação, ou seja, boa trabalhabilidade resulta em concretos de boa capacidade muito mais duráveis e resistentes.

2.1.2.3 Água

De acordo com Petrucci (1998), pode-se dizer que toda água que serve para beber pode ser usada para a produção do concreto, porém, nem toda água utilizada sem danos no concreto pode ser ingerida pelo homem.

Conforme Petrucci (1998), a água utilizada no amassamento do concreto deve ser livre de impurezas para não prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento. Nota-se que se usarmos água com agentes agressivos no amassamento, a ação é menos intensa do que quando a mesma água age constantemente sobre o concreto endurecido, porque no primeiro caso, depois do agente que havia na água ter exercido a sua ação, a sua agressão estaciona-se, e no segundo caso, a renovação do agente agressivo, tem seus efeitos mais nocivos.

Com isso, é possível considerar que as maiores deficiências que provém da água do amassamento não são propriamente dos elementos que ela possa conter, mas sim do excesso da água utilizada. Assim, sempre que haja suspeitas, devem ser feitos ensaios para verificar a influência das impurezas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica e a estabilidade de volume, sendo que ainda, as impurezas podem ocasionar eflorescências na superfície do concreto e corrosão das armaduras (PETRUCI, 1998).

2.1.2.4 Aditivos

Para Petrucci (1998), entende-se por aditivos as substâncias que são acrescentadas intencionalmente ao concreto, com o objetivo de reforçar ou melhorar certas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização. Sempre é bom lembrar que um aditivo nunca pretenderá corrigir defeitos próprios do concreto, derivados de dosagem incorreta ou colocação mal feita.

2.1.3 Propriedades do concreto

2.1.3.1 Concreto fresco

De acordo com Petrucci (1998), as propriedades do concreto fresco são: a consistência, a textura, a trabalhabilidade, a integridade da massa (oposto de segregação), o poder de retenção de água (oposto de exsudação) e a massa específica. Embora a trabalhabilidade seja a propriedade mais importante do concreto fresco, é difícil chegar a um conceito sobre a mesma, porque envolve uma série de outras propriedades sem que haja uma completa concordância entre elas.

Trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade.

Os fatores principais que comprometem a trabalhabilidade são:

a) Fatores internos:

- Consistência, que pode ser identificada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- Proporção entre cimento e agregado, denominado traço;
- Proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde à granulometria do concreto;
- Forma do grão dos agregados;
- Aditivos com finalidade de influir na trabalhabilidade, normalmente denominados plastificantes.

b) Fatores externos:

- Tipo de mistura (manual ou mecanizada);
- Tipo de transporte, quer quanto ao sentido vertical ou horizontal, quer quanto ao meio de transporte em guinchos ou vagonetes, calhas e bombas;
- Tipo de lançamento, de pequena ou grande altura: por pás, calhas, trombas de elefante, etc.;
- Tipo de adensamento mais usual: manual e vibratório, além de vácuo, centrifugação, etc.;
- Dimensões e armadura da peça a executar.

Segundo Neville (1997), não existe um ensaio aceitável que determine diretamente a trabalhabilidade, e mesmo sendo feitas inúmeras tentativas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física fácil de ser determinada, nenhuma tem sido plenamente satisfatória, embora proporcionem informações úteis.

2.1.3.2 Concreto endurecido

O concreto é um material em constante evolução e susceptíveis alterações impostas pelo meio ambiente, sendo elas físicas, químicas e mecânicas, e que ocorrem de maneira lenta. Das propriedades do concreto endurecido, uma das qualidades características é a resistência mecânica e estrutural do concreto.

a) Massa específica

Para Petrucci (1998), a massa específica do concreto, normalmente utilizada, é a massa da unidade de volume, incluindo os vazios; e essa massa específica varia entre 2.300kg/m³, sendo tomada usualmente para o concreto simples, e 2.500kg/m³ para o concreto armado. Com o uso de agregados leves, é possível reduzir esse valor (da ordem de 1.800 kg/m³), e em alguns casos usa-se concretos pesados, em que o agregado graúdo é barita (± 3.700 kg/m³).

b) Resistência aos esforços mecânicos

Ainda segundo Petrucci (1998), o concreto é o material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração, pois a sua resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão. Nos ensaios de flexão, obtêm-se valores da resistência à tração (módulo de ruptura) da ordem do dobro das resistências obtidas por tração simples.

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são: relação água/cimento, idade, forma e graduação dos agregados, tipo de cimento, forma e dimensão dos corpos de prova, velocidade de aplicação da carga de ensaio e duração da carga.

2.1.4 Substituição parcial do cimento por cinza de fibras naturais no concreto

Segundo Tezuka (1989), entre as principais fibras naturais utilizadas no reforço de matrizes cimentícias encontram-se as de sisal, coco, bagaço de cana-de-açúcar, bambu e juta, entre outras. Sob o ponto de vista ambiental e econômico, o emprego de fibras naturais é vantajoso, em função do custo reduzido, baixo consumo de energia necessário para sua produção e do caráter renovável do material de origem.

No entanto, em relação à durabilidade dos concretos reforçados com esse tipo de fibra, têm-se observado problemas devido à falta de estabilidade dimensional e da possibilidade de degradação em curto espaço de tempo das fibras em presença de umidade (Tezuka, 1989).

2.1.4.1 Cana-de-açúcar

Segundo Machado (2003), a cana-de-açúcar é originária da espécie da Nova Guiné que através dos séculos chegou à Índia. Os gregos levaram para a Europa a notícia da existência de uma planta que dava mel sem abelhas. Os Árabes levaram da Pérsia para a costa africana

do Mediterrâneo, sul da Sicília e sul da Espanha, de onde os portugueses levaram para a Ilha da Madeira.

A partir do estudo realizado por Vanderlei (2013), o elemento predominante nas cinzas é o dióxido de silício (SiO_2). A sílica e/ou silicato de alumínio podem estar no estado amorfo, que é uma condição favorável a reações pozolânicas, pois, nesse estado, tais substâncias podem reagir com o hidróxido de cálcio e formar silicatos de cálcio hidratados, compostos diretamente relacionados à resistência mecânica dos concretos, argamassas e pastas.

2.1.4.2 Coco Verde

Conforme o EMBRAPA (2002), o coco verde é produzido pelo coqueiro, planta de cultura tropical, largamente distribuída na Ásia, África, América latina e região do Pacífico, cerca de 96% da produção é de pequenos agricultores. A partir do coco são produzidos alimentos, bebidas e outros subprodutos.

De acordo com Oliveira (2000), ao substituir parte do cimento por material inerte, ocorre uma redução na quantidade de produtos da hidratação do cimento que ajudariam a resistir aos esforços de compressão, reduzindo assim a resistência à compressão da argamassa. Entretanto, essa redução de resistência provocada pela diluição do cimento pode ser compensada caso o material promova o efeito de redistribuição granulométrica melhorando a compacidade da mistura.

2.1.5 Cinzas

Segundo Neville (1997), a pozolana é um material natural ou artificial rico que possui alta quantidade de sílica ativa que não contém valor cimentício, porém, quando umedecido, reage com o hidróxido de cálcio formando um composto cimentício.

Atualmente, poucos estudos têm sido relatados sobre o uso da cinza de materiais como o bagaço de cana-de-açúcar e o coco verde como substituto parcial em materiais cimentícios. Por esses estudos, as cinzas têm demonstrado grande potencial, especialmente pelo fato de poder apresentar como principal composto sílica e dependendo das condições de queima pode ter sílica no seu estado amorfo (CORDEIRO, 2006).

Segundo o estudo realizado por Ganesan (2007), foi apurado que até 20% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar podem ser substituídos em relação ao cimento Portland. Os resultados demonstraram uma alta resistência inicial, redução à permeabilidade à água e

sensível resistência a cloretos, demonstrando melhoria na durabilidade das estruturas de concreto.

Trata-se de um tema controverso quando se afirma que existem benefícios na adição de material pozolânico. Diante disso, alguns pesquisadores como Sales (2010), chegaram à conclusão que esse tipo de material deve ser usado como material inerte, ou seja, agregado miúdo na dosagem de concretos e argamassas. Já outros pesquisadores como Freitas (2005) e Cordeiro (2009) atestam a atividade pozolânica de cinzas usadas em seus estudos.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado nos ensaios foi o CP II-E-32, pela sua grande empregabilidade, e facilidade de encontrá-lo no mercado.

3.1.2 Especificações dos agregados

O agregado graúdo utilizado foi a brita nº1 com dimensão máxima característica de 19 mm e o agregado miúdo foi a areia de granulometria média proveniente da região de Cascavel/PR.

3.1.3 Cinzas

Para a elaboração deste estudo foram utilizados dois tipos de cinza, sendo elas a cinza do bagaço da cana-de-açúcar e cinza de coco verde respectivamente nas Figuras 1 e 2, ambas adquiridas a partir da queima dos materiais naturais. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) será obtida em uma usina de moagem de cana na região de Maringá-PR, enquanto a cinza da casca de coco (CCC) será obtida em uma indústria de briquetes na região de Cafelândia-PR. Ambas as cinzas foram calcinadas nos seus locais de origem sem controle da temperatura. As Cinzas foram preparadas com peneira com malha de abertura de 1mm com

objetivo de separar possíveis impurezas, e partículas maiores que possam estar misturado às mesmas e para garantir a maior pureza e homogeneidade possível nas mesmas.

Figura 1: Cinza de Bagaço de cana-de-açúcar moída (CBC).



Fonte: O Autor (2020).

Figura 2: Cinza da casca do coco (CCC).



Fonte: O Autor (2020).

No quesito pozolanicidade dos materiais, conforme tratam as normas técnicas NBR 12653 (ABNT, 2014) e NBR 5752 (ABNT, 2014) a pesquisa embasar-se-á em outros estudos e artigos realizados anteriormente. Conforme estudo realizado por Barroso (2011), a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) apresentou, na maioria de suas amostras, alta atividade pozolânica. Já a cinza da casca do coco (CCC) não apresentou grandes índices de pozolanicidade em estudos realizados por Milani (2009) e Matos (2017).

3.1.4 Especificação do traço

Para a produção dos corpos de prova, o traço adotado foi 1:2, 85:2, 90:0,58 e os materiais aplicados foram pesados individualmente em balança de precisão a fim de seguir rigorosamente o proposto no estudo e obter resultados precisos.

Nas tabelas 1 e 2 estão dispostas as quantidades de materiais tendo como base 1 kg de cimento, sendo que o traço de referência foi retirado do trabalho de Barboza (2008). A ruptura dos corpos de prova ocorrerá aos 28 dias e no traço de referência espera-se alcançar 20 MPa nesta idade.

Tabela 1: Traço do concreto com adição de cinza de cana-de-açúcar (para 1kg de cimento).

MATERIAL	REFERÊNCIA (g)	5 % CBC (g)	7,5 % CBC (g)	10 % CBC (g)
CIMENTO CP II-E-32	1000	950	925	900
CINZA DO BAGAÇO DA CANA (CBC)	0	50	75	100
BRITA 1	2900	2900	2900	2900
AREIA MÉDIA	2850	2850	2850	2850
ADITIVO PLAST.	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
ÁGUA / CIMENTO	0,58	0,58	0,58	0,58

Fonte: O autor (2020).

Tabela 2: Traço do concreto com adição de cinza coco verde (para 1kg de cimento).

MATERIAL	REFERÊNCIA (g)	5 % DE CCC (g)	7,5 % DE CCC (g)	10 % DE CCC (g)
CIMENTO CP II-E-32	1000	950	925	900
CINZA DA CASCA DO COCO (CCC)	0	50	75	100
BRITA 1	2900	2900	2900	2900
AREIA MÉDIA	2850	2850	2850	2850
ADITIVO PLAST.	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
ÁGUA / CIMENTO	0,58	0,58	0,58	0,58

Fonte: O autor (2020).

3.1.5 Moldagem e Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados manualmente em moldes cilíndricos com as dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura conforme demonstrado na Figura 3. O adensamento foi realizado em duas camadas com 12 (doze) golpes em cada uma com ajuda de uma haste metálica. O ensaio seguirá os procedimentos da NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015). Para cada traço serão moldados 3 corpos de prova, totalizando 21 amostras.

Figura 3: Corpos de prova moldados.



Fonte: O Autor (2020).

Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e identificados e, posteriormente, conforme Figura 4, ainda no mesmo dia, foram levados à câmara úmida com temperatura 23 °C, com variações de ± 2 °C e umidade acima de 95%.

Figura 4: Corpos de prova na câmara úmida.

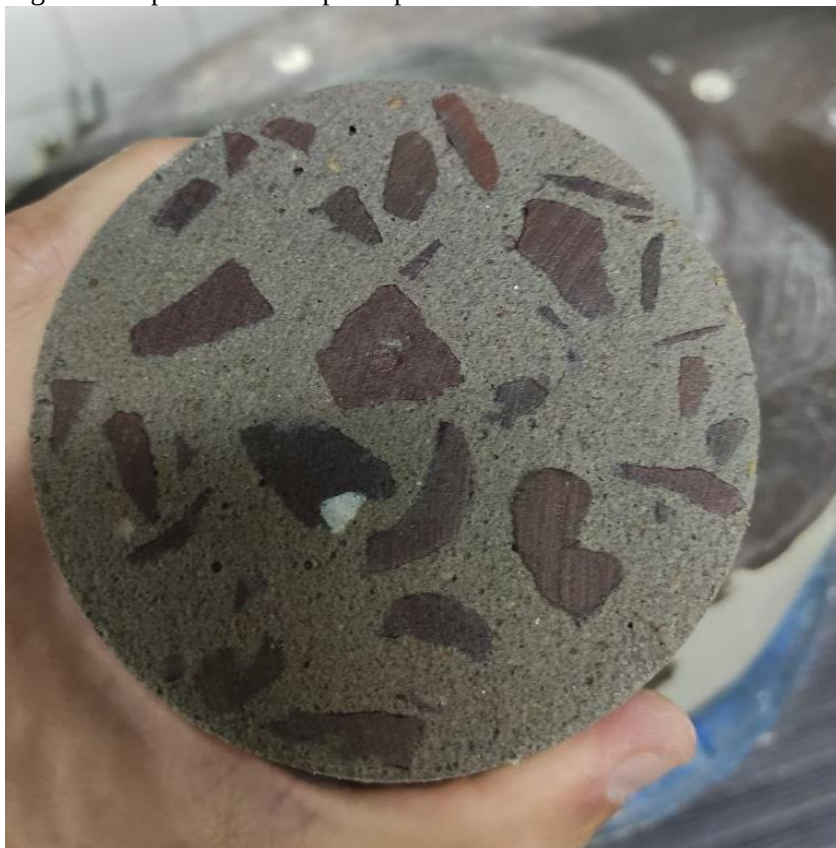


Fonte: O Autor (2020).

3.1.6 Ensaio de Compressão Axial

Os ensaios de ruptura à compressão foram realizados em uma prensa computadorizada da marca CONTENCO modelo I-3058, com capacidade de 100 toneladas, pertencente ao laboratório de Ensaios Mecânicos – Estruturas e Construção Civil do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz. Antes de ser iniciado o ensaio, os corpos de prova foram retificados para se obter uma superfície regular conforme demonstra a Figura 5. Todas as rupturas foram efetuadas de acordo com a NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2018).

Figura 5: Superfície do corpo de prova retificada.



Fonte: O Autor (2020).

Os ensaios de ruptura foram realizados aos 28 dias para todas as amostras, sendo rompidos 3 (três) corpos de prova para cada um dos materiais adicionados em cada uma de suas respectivas porcentagens como demonstrado nas Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: O Autor (2020).

Figura 7: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: O Autor (2020).

Figura 8: Corpos de prova após o ensaio



Fonte: O Autor (2020).

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

Após a execução dos ensaios, os resultados obtidos foram tabulados para comparativo entre o concreto convencional e os concretos contendo adições de cinzas de fibras naturais. Os valores obtidos nos ensaios de ruptura estão dispostos na Tabela 3:

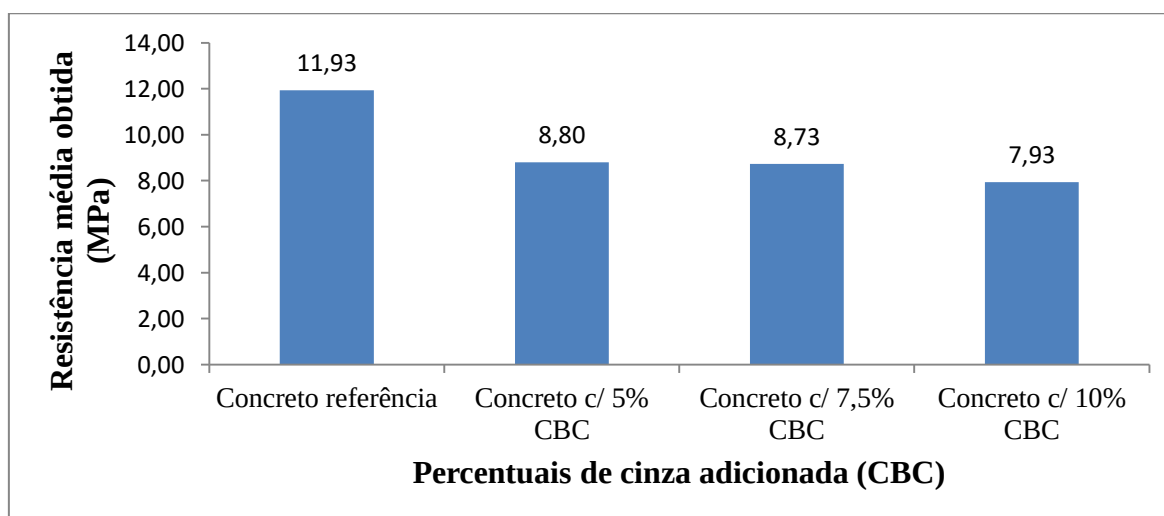
Tabela 3: Resistência à compressão

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - RUPTURA DE CP COM 28 DIAS (VALORES EM MPa)				
MATERIAL	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média fck
CONCRETO REFERÊNCIA	11,2	12,5	12,1	11,93
CONCRETO COM 5% DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA (CBC)	8,4	9,1	8,9	8,80
CONCRETO COM 7,5% DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA (CBC)	8,4	9	8,8	8,73
CONCRETO COM 10% DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA (CBC)	8,6	7,4	7,8	7,93
CONCRETO COM 5% DE CINZA DA CASCA DO COCO (CCC)	13,1	12,4	13,5	13,00
CONCRETO COM 7,5% DE CINZA DA CASCA DO COCO (CCC)	11,8	13	12,3	12,37
CONCRETO COM 10% DE CINZA DA CASCA DO COCO (CCC)	9,8	9,4	10,8	10,00

Fonte: O autor (2020).

Com base no que foi especificado na Tabela 3, é possível observar no Gráfico 1 a variação da resistência à compressão das amostras com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em suas diferentes proporções. O comparativo foi realizado com base nos valores médios de fck obtidos entre as amostras.

Gráfico 1: Variação da resistência à compressão com CBC.



Fonte: O autor (2020).

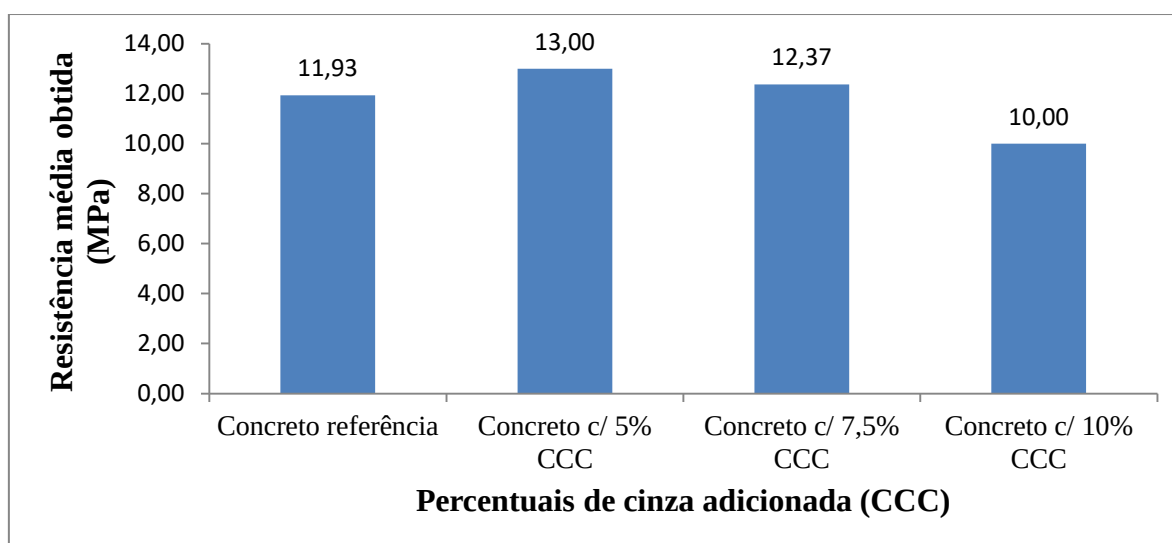
Analisando o Gráfico 1 é possível visualizar as resistências à compressão obtidas para cada percentual de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, em MPa. Também é possível observar a variação da resistência com o acréscimo da adição.

O traço utilizado para o presente trabalho previa resistência característica de 20MPa. Nota-se, no entanto, que os corpos de prova com concreto de referência apresentaram em média 11,93 MPa. Nesse sentido, têm-se, para as adições de 5%, 7,5% e 10% de CBC resistências reduzidas respectivamente em 26,3%, 26,8% e 33,5%.

Em Ganesan (2007), que utilizou as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em seu estudo apurou acréscimo na resistência à compressão. Porém, trata-se de um tema controverso quando se afirma que existem benefícios na adição de material pozolânico. Nas pesquisas realizadas por Sales (2010), não foi observado acréscimo na resistência e chegou-se à conclusão de uso apenas como material inerte na dosagem de concretos e argamassas. Já outros pesquisadores como Freitas (2005) e Cordeiro (2009), atestam a atividade pozolânica de cinzas usadas em seus estudos observando acréscimos na resistência à compressão.

Utilizando ainda como base os valores especificados na Tabela 3, observa-se, no Gráfico 2, a variação da resistência à compressão das amostras com adição da cinza da casca do coco em suas diferentes proporções. O comparativo foi realizado com base nos valores médios de fck obtidos entre as amostras.

Gráfico 2: Variação da resistência à compressão com CCC.



Fonte: O autor (2020).

Analisando o Gráfico 2 é possível visualizar as resistências à compressão obtidas para cada percentual de cinzas da casca do coco, em MPa. Também é possível observar a variação da resistência com o acréscimo da adição.

Os corpos de prova utilizados como concreto de referência foram os mesmos utilizados no comparativo anterior, apresentando resistência média de 11,93 MPa. Nesse sentido, tem-se para a adição de 5% de cinza de casca de coco acréscimo de 8,9% na resistência à compressão. Com 7,5% apresentou acréscimo de 3,6% na resistência quando comparado ao concreto de referência. Com 10% ocorreu redução de 16% também comparada com o concreto de referência. Nesse estudo verificou-se que o concreto apresentou aumento da resistência em pequenas porcentagens, e quando as porcentagens foram aumentadas apresentou redução significativa de resistência.

Em Matos (2017), que utilizou as cinzas da casca do coco em substituição parcial ao cimento Portland em argamassas não apurou variação da resistência à compressão até o percentual de 10% de substituição, acima desse valor a resistência apresentava redução significativa. Essa variação nos resultados em porcentagens menores pode se dar com a origem da matéria prima, e em porcentagens maiores entrou em consenso a pesquisa mencionada acima.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os materiais utilizados com expectativa de viabilidade apresentaram valores distintos, e a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar apresentou decremento da resistência à compressão. Em trabalhos similares, como o de Barroso (2011), obtiveram resultados positivos com incremento da resistência à compressão. Os mesmos resultados positivos não ocorreram neste trabalho com o uso da CBC, apresentando inviabilidade no emprego ao qual este trabalho propôs-se.

Em contrapartida, os resultados obtidos com a adição da cinza do coco apresentaram incremento da resistência à compressão nas amostras com adição de até 7,5%, porém, acima desse percentual, apresentaram decremento. Os resultados de resistência obtidos com a adição de cinza da casca do coco em porcentagens reduzidas corroboram para a viabilidade deste estudo.

Com base e delimitado aos resultados dos estudos apresentados e, considerando que o objetivo era verificar se os dois tipos de cinzas naturais apresentavam melhora na resistência à

compressão do concreto e poderiam ser utilizadas como adição, é possível afirmar que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar não é viável, diferentemente da cinza da casca do coco que se mostrou viável para tal finalidade, e apresentou o melhor resultado em substituição ao Cimento Portland no teor de 5%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739**. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12653**. Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BARROSO, T. R. **Estudo da Atividade Pozolânica e da Aplicação em Concreto de Cinzas do Bagaço de Cana-de-Açúcar com Diferentes Características FísicoQuímicas**. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacazes, RJ, 2011.

BARBOZA, M. R. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. Artigo. Universidade Estadual de São Paulo. Bauru, SP, 2008.

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

CORDEIRO, L. N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre atividade pozolânica**. 2009. 98f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2009.

EMBRAPA. **Embrapa testa alternativa ecológica para casca de coco verde**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/17921601/embrapa-testa-alternativa-ecologica-para-casca-de-coco-verde>>. Acesso em: 23 de julho de 2020.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Dos Goytacazes, RJ, 2005.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. **Evaluation of Bagasse Ash as a Supplementary Cementitious Material.** *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 6, p. 515-524, 2007.

MACHADO, F. de B. P. **Brasil, a doce terra – história do setor.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), 2003. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf>. Acesso em: 23 julho de 2020.

MATOS, S. R. C. **Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas.** REEC UFG, 2017. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41675>>. Acesso em 20 de setembro de 2020.

MEDEIROS, S. H. L. **O Etanol.** 2008. Disponível em: http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/maio2008/materias/o_brasil.html. Acesso em: 29 de julho de 2020.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: PINI, 1997.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland.** Ed. revisada. São Paulo. Globo, 1998.

SALES, A., LIMA, S.A. **Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement”,** *Waste Management*, in press. 2010.

TEZUKA, Y. **Concreto armado com fibras.** São Paulo, ABCP, 1989. 24p.

VANDERLEI, R. D., PEINADO H. S., NAGANO, M. F., FILHO, R. G. D. M. **Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concreto e argamassas.** REEC UFG, 2014. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/26534/16077>>. Acesso em 15 de setembro de 2020.