

Desempenho do concreto com adição de cinza do bambu

Concrete performance with addition of bamboo ash

Desarrollo del hormigón con adición de ceniza de bambú

Recebido: 15/07/2020 | Revisado: 06/08/2020 | Aceito: 15/08/2020 | Publicado: 20/08/2020

Amanda Fernandes Pereira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7616-8166>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: amandafeernandes09@gmail.com

Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9820-5148>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: daniilotma@msn.com

Nelson Agapito Brandão Rios

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2805-2286>

Instituto Federal do Piauí, Brasil

E-mail: nelson-rios@bol.com.br

Laécio Guedes do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3321-8156>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: laecioguedes25@hotmail.com

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho do concreto com adição de cinza do bambu, verificar a consistência obtida após o processo de cura, determinar a resistência à compressão aos 28 dias de cura, avaliar a capacidade de absorção de água e o índice de vazios dos concretos convencionais e com cinza. Foram moldados 20 corpos de prova de concreto e a coleta de dados foi feita através de ensaios laboratoriais. As porcentagens substituídas do cimento por cinza foram 0,5%, 1,0% e 1,5%. Como o material adicionado é altamente pozolânico, o mesmo foi previamente moído para aumentar o grau de finura e, assim, a sua granulometria tivesse compatibilidade com a do cimento. Os resultados obtidos, para o traço de 1,5% de cinza foi o que apresentou uma maior trabalhabilidade com 50,75% mais consistente que o convencional. Na resistência, os traços com 0,5% e 1,0% de CB mostraram-

se satisfatórios atingindo 9,5% e 3%, respectivamente, mais favorável quando comparado ao concreto de referência. A de 1,5% teve um déficit de resistência de 2,5%, em relação ao convencional. Em relação a absorção o traço com 1,5% de cinza foi o que obteve melhor índice (1,25%) de absorção. No que se refere aos índices de vazios, os traços com CB não foram conclusivos. Desta forma, pode-se concluir que a fluidez da matriz cimentícia é melhorada com a adição da cinza e que concretos com essas adições tendem a ser mais duráveis.

Palavras-chave: Concreto; Cinza do bambu; Impactos ambientais; Construção civil.

Abstract

This research aims to analyze the performance of concrete with addition of bamboo ash, check the consistency obtained after the curing process, determine the compressive strength at 28 days of curing, evaluate the water absorption capacity and the voids index conventional and gray concrete. 20 specimens were molded and the data collection was done through laboratory tests. The percentages replaced by cement with ash were 0.5%, 1.0% and 1.5%. As the material added is highly pozzolanic, it was previously ground to increase the degree of fineness and, thus, its granulometry was compatible with that of cement. The results obtained, for the trace of 1.5% ash, showed the greatest workability with 50.75% more consistent than the conventional one. Regarding strength, the traces with contents of 0.5% and 1.0% of BW were satisfactory reaching about 9.5% and 3%, respectively, more favorable compared to the reference concrete. The 1.5% had a resistance deficit of 2.5%, compared to the conventional one. Regarding absorption, the trace with 1.5% ash was the one that obtained the best absorption index (1.25%). In relation to the void's indices, the traces with CB were not conclusive. Thus, it can be concluded that the fluidity of the cementitious matrix is improved with the addition of ash and that concretes with these additions tend to be more durable.

Keywords: Concrete; Bamboo ash; Environmental impacts; Civil construction.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo analizar el rendimiento del concreto con la adición de cenizas de bambú, verificar la consistencia obtenida después del proceso de curado, determinar la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, evaluar la capacidad de absorción de agua y el índice de huecos hormigón convencional y gris. Fueron moldeados 20 muestras y la recolección de los datos fueron hechas mediante ensayos laboratoriales. Los porcentajes sustituidos del cemento por la ceniza fueron de 0,5%, 1,0%, y 1,5%. Como el

material agregado es altamente puzolánico, el mismo fue previamente molido para aumentar el grado de afinación y, así, su granulometría estuviera compatible con la del cemento. Los resultados obtenidos, para el tablero de 1,5% de ceniza fue el que presentó una mayor trabajabilidad con 50,75% más consistencia que el convencional. En la resistencia, los tableros con 0,5% y 0,1% de CB resultó satisfactorio llegando alrededor de 9,5% y 3%, respectivamente, más favorable en comparación con el hormigón de referencia. El 1,5% tuvo un déficit de resistencia del 2.5%, en comparación con el convencional. En cuanto a la absorción, la traza con 1,5% de cenizas fue la que obtuvo el mejor índice de absorción (1,25%). En cuanto a los índices nulos, las características con CB no fueron concluyentes. Por lo tanto, se puede concluir que la fluidez de la matriz cementosa se mejora con la adición de cenizas y que los hormigones con estas adiciones tienden a ser más duraderos.

Palabras clave: Concreto; Ceniza de bambú; Impactos ambientales; Construcción civil.

1. Introdução

O concreto é o material mais empregado no âmbito da construção civil na atualidade. É composto por cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, podendo ser acrescido à mistura os aditivos. A durabilidade desse elemento depende diretamente de fatores externos e internos em função de ações físicas, químicas ou mecânicas. A deterioração do concreto pode ser visivelmente constatada com a presença de fissuras, desvios e desagregações, que são alguns sintomas que indicam que o material está sofrendo com algum tipo de danificação que pode vir a comprometer toda a estrutura (Antônio, et al., 2013).

Há a necessidade de se utilizar concretos que atendam a especificações técnicas com um menor custo, que atenda aos aspectos sustentáveis e sem comprometer a qualidade final em obras de grande porte, por exemplo. Para tanto, vem sendo estudado em várias pesquisas experimentais a viabilidade de adições químicas minerais e orgânicas nas dosagens de concretos convencionais, tais como fibras, escórias de alto forno, borrachas, sílicas ativas, resinas poliméricas, cinzas, entre outros. O aspecto tecnológico desses materiais é benéfico a tal ponto em manter e melhorar tais produtos com características cimentícias. Com relação ao setor ambiental, o incentivo se deve em reduzir a quantidade de aglomerantes hidráulicos usados, aumento no desempenho e vida útil e o uso de subprodutos industriais que estejam sobrecarregando aterros de modo inadequado (Carmo & Portella, 2008).

Para uso em concreto, entre as pozolanas que são utilizadas, tem-se a cinza volante, a cinza de casca de arroz e, recentemente, a cinza do bagaço de cana e a cinza do bambu.

Destacam-se por serem subprodutos resultantes da produção de energia para fins industriais. Para melhorar as propriedades das cinzas de origem vegetal misturadas ao concreto, é necessário queimar previamente, se possível com controle de temperatura, e moídas com o intuito de aumentar sua finura e, assim, incrementar o desempenho das propriedades mecânicas e da durabilidade (Cechella, et al., 2010).

No que se refere à cinza do bambu, o estudo de Cociña (2011) demonstrou que a caracterização do comportamento da pozolana presente nesta cinza é formada por sílica e com uma natureza totalmente amorfa e com grande influência da atividade pozolânica, devendo, portanto, determinar com os ensaios experimentais de caracterização do concreto como isso pode beneficiá-lo.

A durabilidade, a resistência mecânica e a resistência ao ataque de agentes agressivos são melhoradas devido ao uso dessa adição mesmo quando se diminui a quantidade de cimento na mistura. A estrutura geral apresenta menos porosa e a microestrutura é desenvolvida com uma matriz mais definida (Pereira, et al., 2015).

A cinza do bambu não é nociva ao meio ambiente e se destaca pela facilidade de obtenção em território brasileiro. Porém, o seu cultivo gera um subproduto: a folha do bambu, a qual é queimada em aterros gerando a cinza de folha de bambu que não possui destinação adequada e provocando poluição tendo este fim. É necessário que esta cinza, para ser utilizada no concreto, se comporte como material cimentício e apresente finura compatível com o cimento Portland afim de preencher os poros (Scurlock, Dayton & Hames, 2000).

Desta forma, devido a essa busca por alternativas viáveis e sustentáveis que sejam aptas a serem utilizadas como adições na confecção de concretos sem prejudicá-lo, este artigo tem o intuito de analisar o desempenho do concreto com adição de cinza do bambu.

2. Metodologia

A pesquisa relacionada foi de cunho quantitativo, na qual é caracterizada pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, utilizando-se de técnicas estatísticas. Objetiva a aquisição de resultados que evitem possíveis distorções de análise e interpretação e que possibilitem a maximização da margem de segurança. De modo geral, a pesquisa quantitativa é passível de ser medida em escala numérica (Diehl, 2004).

Quanto aos procedimentos, a pesquisa é de natureza experimental onde consiste em um procedimento metodológico cujas variáveis são controláveis (Lakatos & Marconi, 2011). E também, segundo Pereira et al. (2018), um estudo assim se enquadra em uma análise da

prática no qual os resultados encontrados são utilizados de maneira controlada.

Desta forma, nessa pesquisa foi verificado o desempenho do concreto conforme varia-se a quantidade de cimento e acrescenta-se de cinza do bambu. Os ensaios efetuados foram: no estado fresco, o de consistência conforme a ABNT (1998); no estado endurecido, o de resistência à compressão obedecendo à ABNT (1994) e o de absorção de água e índice de vazios segundo à ABNT (2009).

Foram confeccionados 20 corpos de prova de concreto (100mmx200mm), onde em 15 corpos foram adicionados cinza do bambu e os outros 5 foram os convencionais. As porcentagens introduzidas que substituíram o cimento Portland equivalem a 0,5%, 1,0% e 1,5% de cinza do bambu.

Logo são apresentadas tabelas que especificam a quantidade de corpos de prova que foram produzidos em cada ensaio e em cada etapa, estado fresco (Tabela 1) e estado endurecido (Tabela 2).

Tabela 1 – Especificações do estudo no estado fresco.

Ensaio	Concreto convencional	0,5% de CB	1,0% de CB	1,5% de CB	Total
Índice de consistência	3	3	3	3	12

Fonte: Autores (2019).

A Tabela 1 tem por finalidade mostrar quantos corpos de prova foram utilizados em cada traço no ensaio de consistência.

É importante ressaltar que logo após o ensaio de consistência, os mesmos 12 corpos de prova da Tabela 1 foram moldados e colocados no tanque. Esperou-se 28 dias de cura e foi feito o ensaio de resistência à compressão. E, logo após este, foram moldados mais 8 corpos de prova para o ensaio de absorção de água.

Tabela 2 – Especificações do estudo no estado endurecido.

Ensaio	Concreto convencional	0,5% de CB	1,0% de CB	1,5% de CB	Subtotal
Resistência à compressão	3	3	3	3	12
Absorção de água	2	2	2	2	8
Total					20

Fonte: Autores (2019).

Na Tabela 2 é especificado quantos corpos de prova foram confeccionados para o ensaio de resistência e de absorção de água assim como a quantidade de cada traço em estudo.

O traço padrão foi 1:1,85:2,65:0,45 (cimento, areia, brita e água), ver a Tabela 3, onde o T1 corresponde ao traço convencional, T2 com 0,5% de cinza, T3 com 1,0% e T4 com 1,5%. É importante ressaltar que após a mistura na betoneira observou-se que formou um concreto seco, com pouca trabalhabilidade, devido à baixa quantidade de água. Então adicionou-se mais 800 ml de água ao concreto. Assim, o fator água/cimento passou a ser 3,5.

Tabela 3 – Traço dos concretos.

TRAÇO DOS CONCRETOS							
Traço	Quantidade de cimento (g)	Quantidade de brita (g)	Quantidade de areia (g)	Cinza		Quantidade de água (ml)	Fator agregado/cimento
				do bambu (g)	Fator água/cimento		
T1	6000	11100	15900	-	3,50	3500	1,85
T2	5970	11100	15900	30	3,50	3500	1,86
T3	5940	11100	15900	60	3,50	3500	1,87
T4	5910	11100	15900	90	3,50	3500	1,88

Fonte: Autores (2019).

É importante observar a Tabela 3, pois mostra a quantidade específica de cada material que foi utilizado em cada traço, nos permitindo compreender quanto de cimento que foi

utilizado no traço convencional e o quanto foi removido nos traços com teor de cinza que corresponde à quantidade de cinza que foi acrescida.

2.1 Caracterização dos materiais

2.1.1 Cimento

Na confecção de todos concretos foi empregado o cimento Portland composto por escória (CPII-E-32) caracterizado conforme a ABNT (1991). Optou-se pelo uso desse material por conter adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação fazendo com que, no processo de cura, haja uma redução e redistribuição dos poros ativos no processo de hidratação do cimento.

2.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo empregado nos ensaios foi a pedra britada nº 1. É a mais utilizada em obras de construção civil pelas construtoras. Possui densidade de 1450 kg/m³.

Tabela 4 – Características do agregado graúdo.

Característica	Norma	Resultado
Diâmetro máximo	NBR 7217 (ABNT, 1987)	19 mm
Módulo de finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	1,83
Umidade natural	-	0, 17%

Fonte: Autores (2019).

A Tabela 4 mostra os parâmetros que são observados para a caracterização do agregado graúdo utilizado nos ensaios com seus respectivos resultados e normas técnicas.

2.1.3 Agregado miúdo

A areia empregada nos concretos possui suas características físicas definidas pela curva granulométrica (Figura 1) estabelecida pelos valores encontrados da Tabela 5, onde foi provado que o agregado miúdo utilizado é de boa qualidade em termos de granulometria conforme pode ser visto nos resultados do ensaio, demonstrou que a curva está entre a zona ótima limite superior e a zona ótima do limite inferior, ou seja, apta para a produção dos concretos.

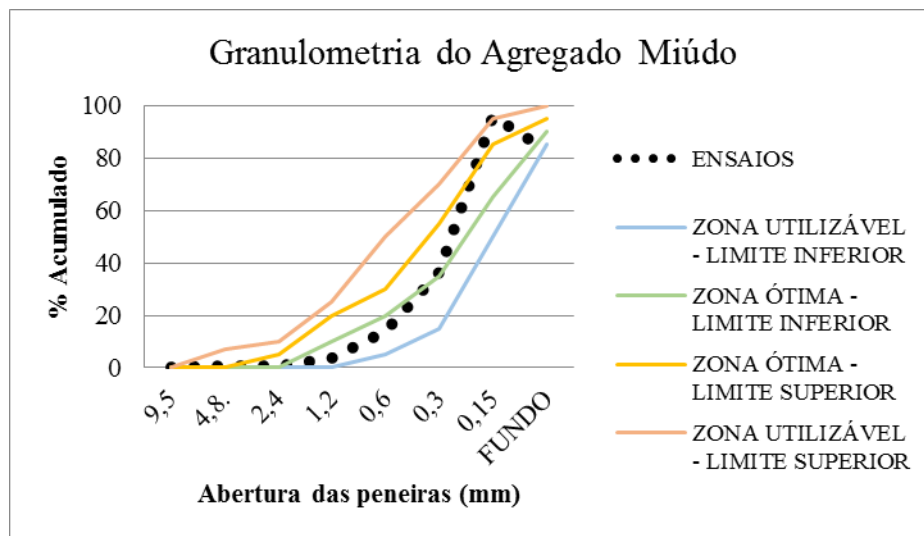
Tabela 5 – Planilha de resultado do peneiramento do ensaio de granulometria.

Peneiras		Total inicial 2000		Total retido	1997
nº	mm	Peso retido (g)	% Retida	% Retido acumulado	
3,8"	9,5	0	-	0,25	9,5
4	4,8	6	0,30	0,55	4,8
8	2,4	6	0,30	0,85	2,4
16	1,2	60	3,00	3,86	1,2
30	0,6	202	10,12	13,97	0,6
50	0,3	450	22,53	36,50	0,3
100	0,15	1190	59,59	96,09	0,15
Fundo		83			

Fonte: Autores (2019).

A Tabela 5 apresenta os resultados do processo de peneiramento do ensaio de granulometria conforme a ABNT (1987) para determinação do tipo de areia e suas características.

Figura 1 – Representação gráfica da curva granulométrica da areia.



Fonte: Autores (2019).

Com o auxílio da Tabela 5, a Figura 1 mostra uma comparação do comportamento físico de forma gráfica dos resultados encontrados no ensaio e as limitações das várias características granulométricas de acordo com as normas vigentes. Assim, com a Figura 1 foi possível classificar a areia utilizada na confecção dos concretos.

Em termos de módulo de finura, a areia utilizada na produção dos concretos é fina devido ao seu módulo de finura equivalente a 1,5 enquadrando-se na classificação de areia fina de acordo com a ABNT (2009).

2.1.4 Umidade da areia

Para a determinação da umidade da areia, apesar que pode ser determinada de diversas formas, no presente estudo a mesma foi definida obedecendo as diretrizes conforme o método de estufa definido pela ABNT (2006). É importante salientar que, o conhecimento do teor de umidade dos agregados é de bastante relevância, pois é o fator água/cimento que é alterado substancialmente com qualquer variação existente na quantidade de água que os mesmos transportam em suas partículas para o concreto resultando assim em um decréscimo da resistência mecânica do mesmo. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores obtidos com o ensaio método de estufa.

Umidade: Método da estufa	
Peso úmido (Ph)	2221g
Peso seco (Ps)	2138g

Fonte: Autores (2019).

A Tabela 6 mostra os resultados do ensaio favorecendo ao entendimento da quantidade de peso que a areia tinha para que assim fosse possível verificar se a umidade presente nesta afeta negativamente o material ou não. Esta verificação é feita a seguir com a utilização da equação prescrita na norma relativa ao ensaio.

Logo em seguida substituiu-se na fórmula (Equação 1) presente na norma para encontrar o valor da umidade h (%).

$$h(\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: Ph, é o peso úmido;

Ps, é o peso seco;

Logo, substituindo:

$$h(\%) = \frac{2221 - 2138}{2138} \times 100 \Rightarrow h(\%) = 3,9 \%$$

Assim, a areia utilizada para a confecção de todos os concretos apresentou uma umidade de 3,9%.

2.1.5 Cinza do bambu (CB)

A cinza do bambu (CB) utilizada nos experimentos foi coletada em uma indústria cerâmica localizada em Teresina que utiliza o cavaco de bambu como matriz energética na produção de tijolos e telhas.

De maneira a verificar se a cinza apresentava ou não eficiência quanto aos aspectos ambientais, a mesma foi submetida aos ensaios de extrato lixiviado e ensaio de massa bruta especificados pela ABNT (2004), a cinza de biomassa vegetal, onde apresentou resultados

suficientes para ser classificada como Resíduo Classe II A - Não inerte - estando, portanto, apta a ser utilizada sem causar danos ao meio ambiente (Borszowski & Anhaia, 2011).

Foram preparados traços com teores de substituição de 0,5%, 1,0% e 1,5% do cimento Portland por CB. Foi disponibilizado 320g na indústria para os ensaios conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Cinza do bambu passante na peneira malha 80.



Fonte: Autores (2019).

A Figura 2 apresenta uma amostra de cinza de bambu coletada na indústria cerâmica já peneirada e com grau de finura compatível com a do cimento. A Figura 3 mostra o estado da cinza petrificada que foi coletado. Parte dela apresenta um aspecto de material sinterizado. O cavaco usado na queima gera de 1% a 2% de cinza e apresenta 0,5% a 1,5% de sílica (Lima Neto, 2010).

Figura 3 – Cinza do bambu coletada em indústria cerâmica.



Fonte: Autores (2017).

É importante verificar a Figura 3 à título de visualização de como apresenta a cinza petrificada e entender que é necessário moê-la para modificar a sua granulometria antes de utilizar na confecção dos concretos.

Empregada em in natura, a cinza foi peneirada na malha de 80 mm (Figura 4) para a retirada de material grosseiro e fazer com que a sua granulometria possua módulo de finura equivalente a 1,0 conforme a ABNT (1987). Como parte da CB fica petrificada fez-se necessário moê-la em um moinho de bolas por 2 horas.

Figura 4 - Peneiramento da cinza em malha 80.



Fonte: Autores (2017).

A Figura 4 nos permite compreender como foi feito o processo de granulometria e como este é importante na remoção de materiais sintetizados.

As peneiras usadas no ensaio de granulometria foram as de malhas 100, 150, 200, 325 e 400, haja vista que toda a cinza já era passante na peneira malha 80. Para este ensaio, foram

utilizados 100 gramas de cinza. Para a realização das análises química e mineralógica, as amostras foram trituradas em almofariz e pistilo até se tornar passante em peneira malha 200. As amostras de cinza foram colocadas em estufa com temperatura de 70 °C por 02 horas para perda de umidade e em seguida foram submetidas a ensaio de Florescência de Raios X (FRX) no aparelho Espectômetro de Fluorescência de Raios X Epsolon 3-XL da PANalytical (Figura 5) pelo método semiquantitativo, numa atmosfera de vácuo com gás hélio.

Figura 5 - Espectômetro de Fluorescência de Raio X.



Fonte: Autores (2017).

A Figura 5 tem por finalidade apresentar o aparelho utilizado nas análises químicas e mineralógica descritas acima.

As amostras também foram usadas para o ensaio de DRX. A caracterização mineralógica foi feita no equipamento PANalytical Empyrean, radiação Co-K α ($\lambda = 1,78901$) em 2θ no intervalo de 10 ° a 100 ° com taxa de varredura de 0,026 °/s.

A Figura 6 apresenta o difratômetro usado na caracterização mineralógica das amostras. A análise mineralógica por difração de raios X permitiu identificar as fases cristalinas existentes nas amostras. A partir dessa identificação de fases, pode-se classificar a argila e perceber propriedades resultantes da interação entre os elementos químicos na formação de fases cristalinas. Como esta pesquisa analisa os efeitos da incorporação de um resíduo ao concreto, também pode-se perceber algumas interações entre a massa padrão e o resíduo incorporado.

Figura 6 - Difratorômetro de Raio X da PANalytical Empryam.



Fonte: Autores (2017).

Assim a Figura 6 tem a finalidade de mostrar o equipamento que é utilizado quando se deseja conhecer a cristalinidade presente em amostras através da difração de raios para assim identificar as características mineralógicas do material.

Para entender o processo químico da cinza, foi necessário realizar o estudo das partículas presentes e como elas se distribuem. Neste processo, verifica-se a quantidade (Tabela 7) passante e retida conforma varia-se as peneiras e suas respectivas aberturas.

Tabela 7 – Distribuição do tamanho das partículas de cinza.

Peneira da ABNT	Abertura (mm)	Cinza
100	0,150	16,15
150	0,106	23,11
200	0,075	14,92
325	0,045	29,01
400	0,038	16,44
Fundo		0,37
Total		100%

Fonte: Autores (2017).

Desta forma, a Tabela 7 mostra os resultados alcançados no ensaio permitindo, assim, que seja possível a interpretação das características das partículas e tamanhos para determinar os componentes químicos (Tabela 8) presentes.

Tabela 8 – Resultado da Florescência das Matérias-Primas.

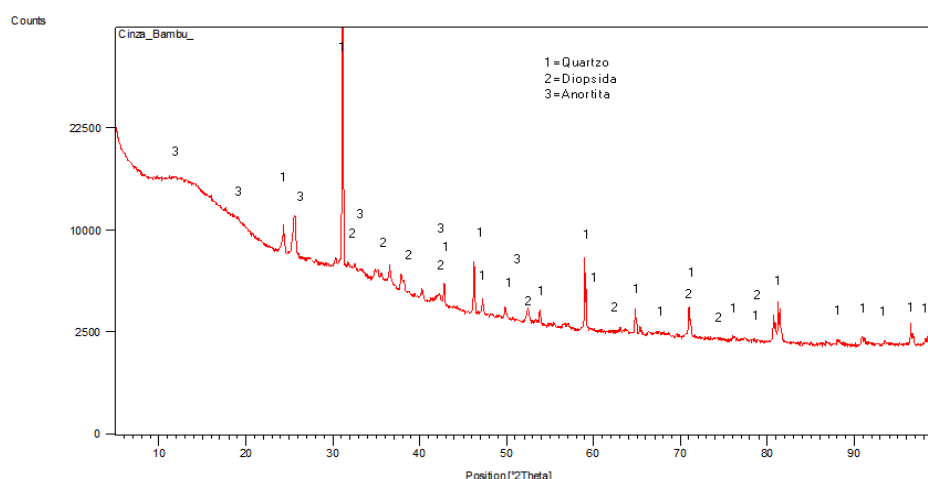
Componentes Químicos da Cinza e da Massa Padrão (%)										
	Si	Al	Fe	K	Ca	Mg	S	Ti	Mn	P
Cinza	51,2	3,08	2,9	23,1	9,28	3,16	0,33	0,27	1,28	4,56

Fonte: Autores (2017).

Conforme mostrado na Tabela 8, foi possível determinar os componentes químicos da cinza e mostra também a quantidade de concentração de cada elemento. A composição química da cinza de bambu detectada por FRX corrobora com caracterização química do cavaco de bambu encontrada por Lima Neto (2010), a qual apresentou as concentrações na seguinte ordem $K > N > Ca > Mg > P > S$. O equipamento utilizado para analisar a cinza não consegue detectar alguns elementos. Entre eles está o Nitrogênio, sem o qual, a sequência de elementos encontrados na cinza segue a mesma ordem.

Através da Figura 7 percebeu-se que as estruturas cristalinas encontradas na cinza por meio de difração de raio X estão conforme a composição química encontrada por FRX. Foram identificados picos relativos ao Quartzo (SiO_2), Diopsida ($Ca (Mg, Al) (Si, Al)_2 O_6$) e Anortita ($Ca (Al_2 Si_2 O_8)$).

Figura 7 - Difratoograma da cinza.



Fonte: Autores (2017).

Na Figura 7 é importante observar a variação de Quartzo, Diopsita e Anortita, pois essas variações que influenciaram diretamente na composição química da cinza.

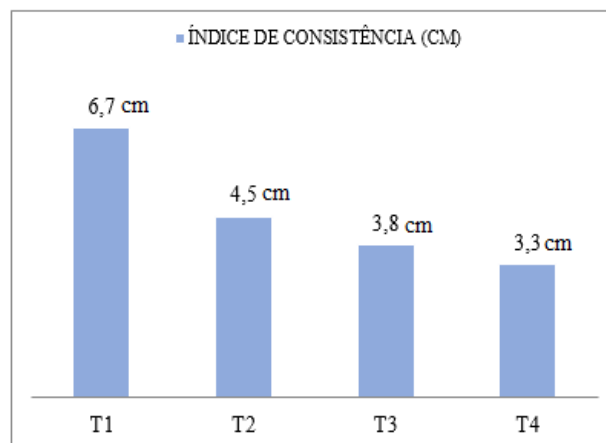
3. Resultados e Discussão

3.1 Consistência

A principal propriedade que caracteriza a trabalhabilidade de um concreto é o abatimento (slump test). Conforme dito anteriormente, este ensaio obedeceu às prescrições da ABNT (1998).

Analisando a Figura 8 que mostra os resultados do ensaio, observa-se que, para os níveis de teores de cinza (0,5%, 1% e 1,5%) quanto maior a quantidade de CB, menor o abatimento, resultando em uma menor fluidez e conferindo aos concretos mais consistência. Ou seja, ao manter-se o fator água/cimento constante, a variação de cinza altera o índice de consistência do concreto.

Figura 8 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de consistência.



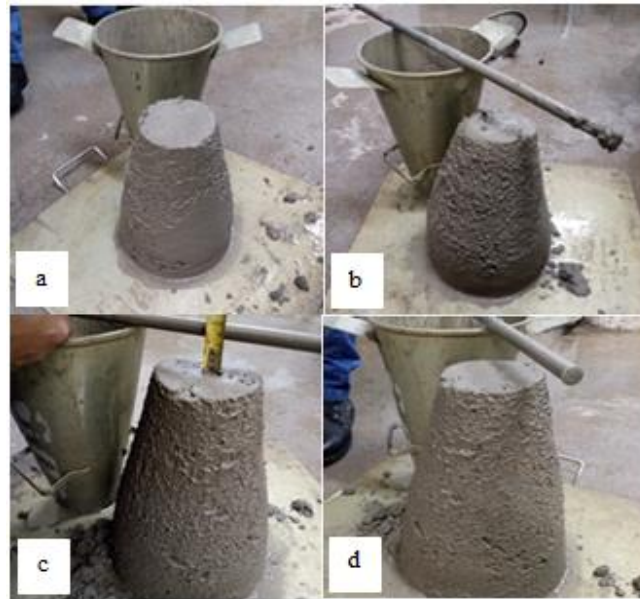
Fonte: Autores (2019).

Verificando ainda na Figura 8, o T4, com teor de 1,5% de cinza, demonstrou-se com melhor comportamento de consistência com cerca de 50,75% melhor que o T1 com um índice menor por apresentar em sua composição uma menor quantidade de cimento com relação aos outros traços. Assim, por possuir menos cimento para reagir com o fator água/cimento (processo de hidratação) quando comparado ao convencional resultou-se em um abatimento de 3,3 cm, isto é, maior e melhor consistência que os outros traços em estudo. Observe que há

um aumento desse abatimento nos outros traços à medida em que há uma quantidade maior de cimento composto na mistura.

Observa-se que a trabalhabilidade depende dos valores percentuais de cinza incorporados nas misturas modificando a consistência (Figura 9 a, b, c, d). Além disso, verifica-se que a relação água/cimento constante de 0,583 também contribui para a variação e melhoria da consistência.

Figura 9 – Abatimento: a) T1, b) T2, c) T3 e d) T4.



Fonte: Autores (2019).

Segundo os autores Mehta & Monteiro (2014), a explicação na qual o concreto sem cinza apresenta um abatimento maior, quando comparado a um concreto com adição de cinza de caráter pozolânico, está diretamente relacionada à quantidade de cimento reagindo com um fator água/cimento constante. Assim, a Figura 9 demonstra uma variação onde o concreto é mais consistente com o acréscimo de cinza.

A partir dos resultados obtidos neste ensaio, foi possível observar que a cinza do bambu apresentou resultado significativo quanto à trabalhabilidade. O concreto de referência mostrou um comportamento fluído, assim, apresentou um abatimento maior devido a maior quantidade de cimento presente nesta mistura. Pôde-se perceber que é o efeito do parâmetro a/c mantido constante e com a variação de cinza que define uma trabalhabilidade adequada para aplicações em concretos quaisquer que seja o teor de cinza utilizada.

3.2 Resistência à compressão

Segundo a ABNT (1994), a determinação da resistência à compressão compreende corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura (Figura 10). A fórmula (Equação 2) utilizada para obtenção dos resultados é apresentada a seguir.

$$R = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, R = Resistência à compressão;

F = Força de ruptura;

A = Área da seção.

Figura 10 – Corpos de prova rompidos.



Fonte: Autores (2019).

A Figura 10 mostra o perfil de como ficaram os corpos de prova após serem rompidos.

A Tabela 9 abaixo mostra os resultados adquiridos da resistência à compressão onde observa-se que o teor de 0,5% de cinza (T2) houve um aumento de aproximadamente 9,5% em relação ao concreto de referência (T1); para o teor de 1,0% o aumento foi de 3% e para o teor de 1,5% houve uma redução, uma diminuição de 2,5%.

Tabela 9 – Resistência à compressão simples.

Traços	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média da carga (KN/m ²)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
T1	10,11	9,90	12,17	10,73	7853,98	1,37
T2	12,21	12,08	11,04	11,78	7853,98	1,50
T3	8,47	11,33	13,40	11,07	7853,98	1,41
T4	9,14	11,29	11,08	10,50	7853,98	1,34

Fonte: Autores (2019).

Verifica-se, portanto, na Tabela 9, que quando há um aumento no teor de CB, a resistência aumenta no início devido à diminuição da quantidade de vazios presentes e ao adicionar a cinza esta preenche esses poros do cimento e, logo após, quando há uma grande quantidade dessa adição, aumenta-se os poros ocasionando uma tendência de decréscimo de resistência. Permitindo-nos concluir que para o uso de CB em concretos com a intenção de aumentar a resistência é favorável em até 1,0 % e após 1,5% há uma diminuição (Figura 11).

Segundo Nascimento (2002), a maior perda de massa no concreto é decorrente do aumento de teor de cinza na mistura. As reações pozolânicas ocorrem geralmente em idades superiores a 28 dias e que a menor quantidade de cimento hidratado não foi compensada pelo efeito microfíler+pozolânico das partículas finas da cinza.

Figura 11 – Representação gráfica da resistência à compressão.



Fonte: Autores (2019).

Isto é, devido ao acréscimo de água onde esse fator passou de 0,45 para 0,583 correspondendo a cerca de aproximadamente 30% de incremento de água pode ter favorecido, também, à diminuição de resistência evidenciado no T4 como mostra na Figura 11.

Pelas resistências à compressão aos 28 dias dos concretos através das tabelas e linhas de tendências, analisou-se os resultados das proporções de cinza com os resultados do concreto convencional, que os teores de 0,5% e 1,0% apresentaram diferenças positivas em relação a resistência à compressão do concreto de referência. Os resultados mostraram que a variação no teor de cinza teve influência favorável nos valores das resistências atingindo cerca de 9,5% e 3,0%, nos traços T2 e T3. Porém o teor de 1,5% teve perda de resistência com 2,5% apresentando uma tendência de queda de resistência associada ao teor crescente de cinza, fato esperado com a não pozzolanicidade do material (ocorrendo com o tempo).

Outros experimentos já realizados em outras pesquisas, explicam que isto se dá nas primeiras idades, concluindo que devido a uma menor quantidade de cimento a ser hidratado e baixo calor de hidratação, os finos presentes nas partículas da cinza do bambu não compensam a reação pozzolânica sendo necessário uma maior quantidade de dias para que esta reação aconteça apropriadamente. E ampliando-se as proporções das adições é notório o ganho de resistência dos concretos com a cinza do bambu.

3.3 Absorção de água e índice de vazios

Neste item é apresentado a influência que a cinza do bambu exerce nos valores de índice de vazios e absorção de água no concreto ao substituir o cimento Portland, onde esse ensaio (Figuras 12 e 13) foi baseado conforme a ABNT (2009).

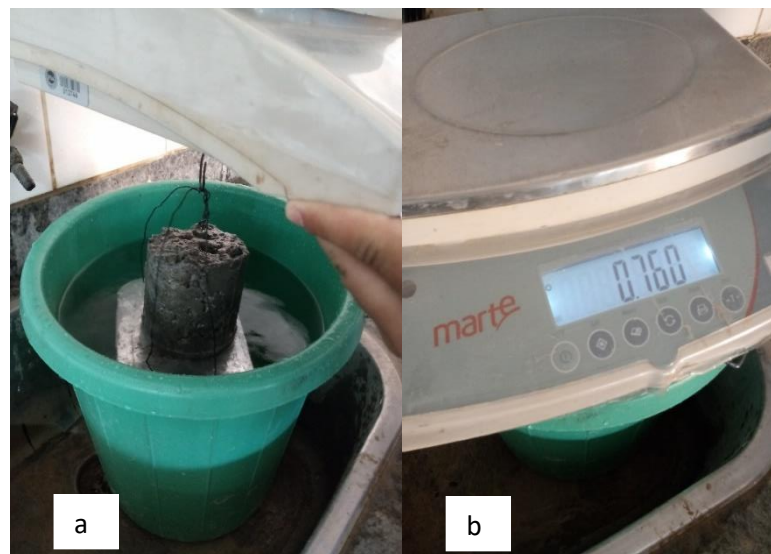
Figura 12 – Amostras na estufa.



Fonte: Autores (2019).

Mostra-se na Figura 12, à título de visualização, como foram submetidas as amostras na estufa e como foram alocadas para a realização do ensaio.

Figura 13 – Pesagem com corpos de prova imersos: a) corpo de prova T4 e b) balança hidrostática



Fonte: Autores (2019).

É importante observar na Figura 13 como deve ser imergido o corpo de prova e como é adquirido o valor de pesagem deste.

Para determinar a capacidade que o concreto tem de absorver água, é preciso da seguinte Equação 3.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Na qual:

M_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

M_s é a massa da amostra seca em estufa.

Com esses resultados também é possível calcular o índice de vazios com a fórmula da Equação 4. O valor é expresso em porcentagem.

$$Iv = \frac{M_{sa} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

M_i é a massa da amostra saturada imersa em água.

De acordo com a Tabela 10, percebeu-se que variando o teor de cinza, a capacidade do concreto em absorver água teve uma redução significativa em relação ao concreto convencional. O T2 apresentou um déficit de 32,94%, o T3 de 23% e o T4 de 70,38%. Logo, averiguou-se que a absorção de água é influenciada pelo teor variado de cinza e sabendo que quanto menor a capacidade do concreto em absorver água, mais durável será.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água e índice de vazios.

Traços	Amostras	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção de água (A)	Média do AA (%)	Índice de vazios (Iv)	Média do Iv (%)
T1	1	342	1048	1009	3,87	4,22	5,52	6,24
	2	401	1077	1030	4,56			
T2	1	634	1016	980	3,67	2,83	9,42	7,00
	2	710	1237	1213	1,98			
T3	1	695	949	914	3,83	3,28	13,78	10,69
	2	760	1168	1137	2,73			
T4	1	695	845	829	1,93	1,25	10,67	8,46
	2	760	1064	1045	1,82			

Fonte: Autores (2019).

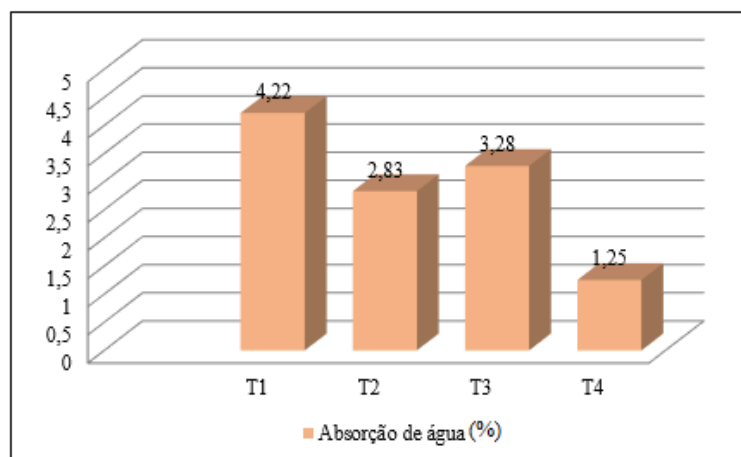
A Tabela 10 demonstra os resultados encontrados nos ensaios que nos permitiu realizar entender como o concreto se comporta no quesito de absorção de água e índice de vazios e se houve melhorias ou não.

Segundo Neville & Brooks (2013), isso se deve ao fato de que o processo de refinamento dos poros decorre de uma maior quantidade de cinza na massa, assim como um menor fato a/c colabora em menor porosidade na matriz.

Várias pesquisas similares com relação ao estudo do efeito de cinza no concreto, como o de Frizzo, Isaía & Gastaldini (2002), concluíram que ao produzir concretos com teores de cinza com 25% e 50% e fator a/c de 0,35, 0,50 e 0,65, verificaram que as misturas com maiores teores obtiveram menor absorção de água levando-nos a concluir que isso é característico tanto para teores muito baixos como para teores altos.

A Figura 14 mostra o comportamento dos concretos com relação à absorção de água, no qual o de melhor performance foi o T4 (1,25%).

Figura 14 – Representação gráfica do ensaio de absorção de água.



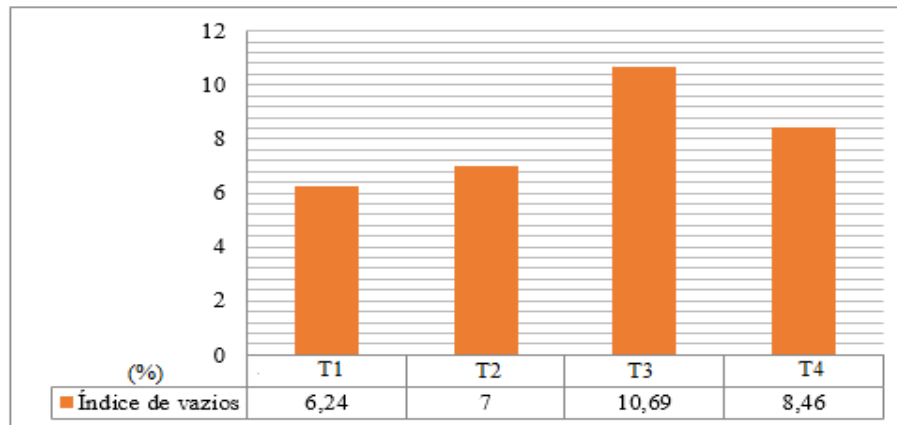
Fonte: Autores (2019).

O T4 por mais que tenha dado menor resistência (1,34 MPa), apresentou, em compensação, melhor resultado com menor absorção de água pelo fato de ter menos porosidade, logo esse concreto com 1,5% de CB tende a durar mais com relação ao T1. Onde não vai entrar intempéries no concreto aumenta a durabilidade do concreto fechando os poros. E o T2 que apresentou resistência maior (1,5 MPa), teve a segunda menor absorção de água.

É importante ressaltar que houve distorção dos valores de absorção de água com os de índices de vazios onde não há uma coerência devido a uma falta de experiências das autoras

na manipulação da balança para a aferição do peso imerso. A Figura 15 demonstra as porcentagens médias equivalentes a cada amostra dos traços estudo.

Figura 15 – Representação gráfica do ensaio de índice de vazios.



Fonte: Autores (2019).

Observando a Figura 15, o concreto convencional foi o que revelou uma menor taxa de porosidade e o T3 uma maior quantidade de poros com cerca de 71,31% em relação ao T1.

Nota-se que não houve uma diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os valores médios encontrados de índice de vazios dos concretos com CB e com o concreto de referência.

Este fato está de acordo com estudos desenvolvidos por diversos autores, entre eles, Ganesan (2007), Chusilp, Jaturapitakkul & Kiattikomol (2009) e Sales et al. (2010), nos quais os ensaios de índice de vazios e absorção de água, é possível observar que a incorporação de partículas ultrafinas (cinzas) promoveu um preenchimento dos vazios do concreto apenas inicialmente, mas que sejam teores altos para tornar o produto final menos poroso, para assim, provocar uma redução nestes índices físicos citados.

Quanto a absorção de água e índice de vazios, com o pequeno acréscimo de cinza de bambu de 0,5%, estes valores foram menores que o convencional por estarem preenchendo os vazios. Porém quando se aumentou a porcentagem de CB, estes valores ultrapassaram os do convencional pelo fato de estar se aumentando o número de poros.

4. Conclusão

Os ensaios laboratoriais embasaram-se nas normas vigentes obedecendo a suas prescrições visando compreender os métodos que são utilizados corretamente para obter resultados adequados e, assim, caracterizar as propriedades pretendidas nesta presente pesquisa. Logo, na avaliação que foi feita no estado fresco, a trabalhabilidade, por meio do índice de consistência, foi influenciada pela relação água/cimento e pela variação de CB com atividade pozolânica (dentro dos limites estudados), onde obteve-se concretos com 1,5% de cinza com trabalhabilidade adequada com um fator a/c constante.

Considerando os resultados obtidos na análise das amostras no estado endurecido, as proporções de 0,5% e 1% de CB demonstraram uma melhoria na resistência com valores superiores com relação ao convencional aos 28 dias. Contudo, observou-se que a partir do teor de 1,5% de CB teve perda de resistência. Mas mesmo essa amostra tendo apresentado essa desvantagem, no ensaio de absorção de água mostrou-se o mais satisfatório considerando que esta propriedade que demonstra a capacidade de o concreto final ser mais durável, conservando seu desempenho e vida útil ao longo do tempo. Porém, com relação aos índices de vazios as amostras com CB não se demonstraram apropriadas.

A aplicação e avaliação do potencial de materiais que são úteis como adição mineral em concretos, como substituto parcial em cimento Portland, se tornou importante em todo o mundo e sobretudo no âmbito da construção civil. A prática de produção de concreto com esses compostos que têm a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado no processo de hidratação do cimento e adquirir propriedades cimentícias após essa reação, trazem inúmeras vantagens. As cinzas de caráter pozolânico são as mais comumente utilizadas e são decorrentes de processos que menos poluem o meio ambiente. Mas que, se foram descartadas de forma clandestina provocam efeitos negativos.

Portanto, levando em consideração que também o intuito deste trabalho foi de buscar por alternativas viáveis e econômicas que melhorem a qualidade do concreto em setores técnicos da engenharia que igualmente beneficiem os setores sociais, ecológicos e ambientais, utilizar a cinza do bambu gerado como resíduo e tornando-o reutilizável na produção de blocos cerâmicos, propicia não somente economia dentro das construtoras quando se trata de obras de grande porte e na redução de cimento, mas como também contribui com o bem-estar da população ao diminuir a poluição está contribuindo para a sustentabilidade.

Vale ressaltar que os ensaios foram executados pelos os autores da pesquisa e que é necessária competência técnica para o manejo correto dos equipamentos. Porém, no ensaio de

absorção de água observou-se um despreparo em manusear a balança hidrostática o que estimulou uma extorsão dos resultados de índice de vazios.

Ademais, como o desempenho das características do concreto não se evoluiu linearmente com o aumento da cinza de bambu, recomenda-se para trabalhos futuros, a investigação da durabilidade destes concretos com CB efetuando ensaios com dias e porcentagens diferentes, para ampliar ainda mais o conhecimento na área e talvez chegar em um aumento significativo da qualidade deste concreto.

Referências

Antônio, J. S. C., Lima, R. C., Reginato, R. A. N., & Carlos, R. A. M. (2013). O concreto como material de construção. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*, Sergipe, 49-58.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1998). *NBR 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 8p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1994). *NBR 5739: Concreto - compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 4p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 9p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1987). *NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2005). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 4p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2004). *NBR 10004: Classificação dos resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 71p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1991). *NBR 11578: Cimento Portland composto*. Rio de Janeiro, 5p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2006). *NBR 15369: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 9p.

Borszowski, P. R., & Anhaia, S. F. (2011). Utilização da Cinza de Biomassa Vegetal: Corretivo para a Acidez do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas. *Technoeng*, 25-33.

Carmo, J. B. M., & Portella, K. F. (2008). Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. *Cerâmica*, 309-318.

Cechella, G. I., Luiz, A. G. G., Meira, L., Duarte, M., & Zerbino, R. (2010). Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. *Ambiente Construído*, (10). doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000100007>.

Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2009). Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. *Construction and Building Materials*, (23), 3352-3358.

Cociña, E. V. (2011). Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. *Cement And Concrete Composites*, (33), 68-73.

Diehl, A. A. (2004). *Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas*. São Paulo: Prentice Hall.

Frizzo, B. T., Isaia, G. C., & Gastaldini, A. L. G. (2002). *Influência da finura e de altos teores de pozolana na absorção capilar de água em concreto estrutural: estudo preliminar*. Foz do Iguaçu: Infohab, 1125-1134. Recuperado de http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1125_1134.pdf.

Ganesan, G. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, 515-524.

Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2011). *Metodologia científica*. São Paulo: Atlas.

Lima Neto. (2010). Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. *Revista Árvore*, Viçosa, (34), 251-257. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622010000200007&lng=en&nrm=iso.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Ibracon.

Nascimento, W. N. (2002). Adição de cinza de casca de arroz (CCA) no concreto, sob o aspecto da durabilidade. *Anais do 44º Congresso Brasileiro do Concreto: Ibracon*.

Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2013). *Tecnologia do Concreto*. São Paulo: Bookman.

Pereira, A. M., Silva, C. A. R., Queiroz, D. C. A., Moraes, M. J. B., Melges, J. L. P., Tashima, M. M., & Akasaki, J. L. (2015). Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. *Revista Matéria*, 227-238.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Sales, A., Lima, S. A., Santos, T. J., Cordeiro, S. G. F., & Cerralio, B. S. (2010). Argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland: influência do tipo de queima do bagaço. *Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto: Ibracon*.

Scurlock, J., Dayton, D., & Hames, B. (2000). Bamboo: an overlooked biomass resource. *Biomass & Bioenergy*, (19), 229-244.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Amanda Fernandes Pereira da Silva – 25%

Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade – 25%

Nelson Agapito Brandão Rios – 25%

Laécio Guedes do Nascimento Guedes – 25%