

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
CAROLINE FANTINELL CARDOSO

ESTUDO TEÓRICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS
PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE CINZA DE FIBRAS NATURAIS

CASCATEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

CAROLINE FANTINELL CARDOSO

**ESTUDO TEÓRICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS
PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE CINZA DE FIBRAS NATURAIS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof.(a) Orientador(a): Mestre Engenheira Civil Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres.

**CASCADEL - PR
2018**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e família, pelo amor infinito e compreensão, fontes de
minha extrema motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força divina em minha vida.

Aos meus pais, Tânia Fantinell Cardoso e Roberto Cardoso, por todo o apoio recebido em todas as fases do meu desenvolvimento, responsáveis pelo que sou hoje. Por entender minha ausência diária durante esta longa caminhada.

A toda a minha família, que me apoiaram em todos os momentos.

A minha professora orientadora, Mestre Engenheira Civil Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, por ter desempenhado papel exemplar no norteamento deste trabalho, pela dedicação, tempo, incentivo e conhecimentos cedidos para que fosse possível o desenvolvimento deste estudo.

Aos meus amigos pela amizade, compreensão e pelo apoio ao longo desses anos.

E todos os professores e colegas que de alguma forma estiveram presentes na realização deste trabalho e ao longo da minha vida acadêmica.

EPÍGRAFE

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

Roberto Shinyashiki.

RESUMO

Os resíduos do bagaço da cana-de-açúcar e de casca de arroz são gerados ao final do processo de moagem e beneficiamento do grão, e podem ser utilizados como fonte de energia através da queima em caldeiras, onde ao final do processo da queima, as cinzas residuais são geralmente lançadas ao meio ambiente. Frente a este contexto, a indústria da Construção Civil pode incorporar esses resíduos, considerando as propriedades de aplicação em materiais de construção civil. O uso de cinzas pode ser incorporado ao cimento Portland e tem sido incentivado ao longo dos anos, pois proporciona a economia de energia no processo de produção do material (cimento) e reduz os índices de poluição do meio ambiente. Perante estas considerações, o presente trabalho teve como propósito avaliar trabalhos desenvolvidos em nível de mestrado e doutorado, avaliando a resistência do concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e da cinza de casca de arroz. A metodologia usada foi baseada em uma revisão bibliográfica e análise dos dados dos trabalhos de referência, onde utilizou-se para a avaliação da resistência mecânica do concreto com adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar os trabalhos desenvolvidos por: Thiago da Cruz Sessa (2013), Sofia Araújo Lima Bessa, (2011) e Sérgio Eduardo Fernandes (2014); e com relação a utilização da adição da cinza de casca de arroz os trabalhos de: Douglas Giongo Ludwig (2014), Charles Londero (2017) e Sílvia Santos (1997). Os resultados obtidos indicaram a viabilidade da utilização das cinzas na aplicação de concretos na indústria da construção civil e, as análises apresentaram que para determinadas aplicações que necessitam de valores elevados de resistência, as dosagens são diferentes tanto para a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, como para as cinzas de casca de arroz. Conclui-se que, com a substituição de cinzas naturais o concreto mostrou um ganho significativo de resistência em algumas proporções, e que até mesmo ficando abaixo do valor de resistência do concreto de referência, ainda atende a uma resistência significativa para construções. Porém, devido as grandes discrepâncias de resultados e poucas pesquisas feitas até hoje, ainda não é viável a substituição dos materiais do concreto por cinzas de fibras naturais.

Palavras-chave: Propriedades do concreto; Cinzas pozolânicas; Adições ao concreto; Resistência mecânica; Reaproveitamento de resíduos de cinza.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cana-de-açúcar	23
Figura 2: Cinza do bagaço da cana-de-açúcar.....	24
Figura 3: Casca de arroz.....	25
Figura 4: Cinza de casca de arroz.....	26
Figura 5: Comparação da resistência à compressão dos concretos	40
Figura 6: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série A	41
Figura 7: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série B	41
Figura 8: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série C	42
Figura 9: Resistência à compressão de concretos com diferentes substituições de CBCA	43
Figura 10: Resistência à compressão em 03 dias	44
Figura 11: Resistência à compressão em 07 dias	44
Figura 12: Resistência à compressão em 28 dias	45
Figura 13: Resistência do rompimento dos traços em todos os períodos	46
Figura 14: Valores médios de resistência.....	47
Figura 15: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,4)	48
Figura 16: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,5)	48
Figura 17: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,6)	49
Figura 18: Evolução da resistência à compressão axial ao longo do tempo	50
Figura 19: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série A	51
Figura 20: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série B	51
Figura 21: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série C	52
Figura 22: Resistência à compressão de concretos com diferentes substituições de CBCA ..	52
Figura 23: Resistência do rompimento dos traços em todos os períodos de análise.....	54
Figura 24: Valores médios de resistência.....	55
Figura 25: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,4)	56
Figura 26: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,5)	56
Figura 27: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,6)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dosagem dos concretos em traço unitário.....	29
Tabela 2: Dosagem dos concretos em traço unitário.....	30
Tabela 3: Dosagem dos concretos em traço unitário.....	30
Tabela 4: Dosagem dos concretos em traço unitário.....	31
Tabela 5: Dosagem dos concretos em traço unitário.....	31
Tabela 6: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação $a/c = 0,4$	32
Tabela 7: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação $a/c = 0,5$	32
Tabela 8: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação $a/c = 0,6$	32
Tabela 9: Quantidade de corpos-de-prova por autor	36
Tabela 10: Quantidade de corpos-de-prova por autor	37
Tabela 11: Teores em % que cada autor utilizou	37
Tabela 12: Teores em % que cada autor utilizou	37
Tabela 13: Idades de rompimento de corpos-de-prova de cada autor	38
Tabela 14: Idades de rompimento de corpos-de-prova de cada autor	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR – Norma Brasileira.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

CBCA – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

CCA – Cinza de casca de arroz.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1	12
1.1. INTRODUÇÃO	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. JUSTIFICATIVA	13
1.4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.5. FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	14
1.6. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
2. CAPÍTULO 2	16
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1. Concreto de cimento <i>Portland</i>	16
2.1.2. Materiais constituintes do concreto	16
2.1.2.1. Cimento <i>Portland</i>	16
2.1.2.2. Agregados	17
2.1.2.3. Água	18
2.1.2.4. Aditivos	19
2.1.3. Propriedades do concreto	19
2.1.3.1. Concreto fresco	19
2.1.3.2. Concreto endurecido	20
2.1.4. Material Pozolânico	21
2.1.4.1. Cana-de-açúcar e cinza do bagaço da cana-de-açúcar	22
2.1.4.2. Cinza da casca de arroz	24
3. CAPÍTULO 3	27
3.1. METODOLOGIA	27
3.1.1. Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento <i>Portland</i>	27
3.1.2. Adição da cinza da casca de arroz ao cimento <i>Portland</i>	28
3.1.3. Métodos Utilizados	28
a) Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento <i>Portland</i>	28
b) Adição da cinza da casca de arroz ao cimento <i>Portland</i>	30
4. CAPÍTULO 4	39

4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1.1. Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)	39
4.1.2. Adição da cinza da casca de arroz (CCA).....	43
4.2. COMPARATIVO DE RESULTADOS	49
4.2.1. Resumo dos resultados sobre a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)	49
4.2.2. Considerações sobre a adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA)	53
4.2.3. Resumo dos resultados sobre a adição da cinza da casca de arroz (CCA)	53
4.2.4. Considerações sobre a adição da cinza da casca de arroz (CCA)	57
5. CAPÍTULO 5.....	58
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
6. CAPÍTULO 6.....	59
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. CAPÍTULO 1

1.1. 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 geram inúmeros 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 açúcar. 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. Outro exemplo a ser lembrado, são as indústrias de processamento de arroz, as quais não tem uma destinação final da casca desse arroz, elemento muito estudado para reaproveitamento (MEDEIROS, 2008).

Diversas indústrias promovem resíduos úteis à construção civil, sendo algumas geradoras de cinzas vegetais provenientes em grande parte de biomassa. As cinzas vegetais têm evidenciado significativo potencial, como adição mineral em materiais a base de cimento, transformando seu uso em uma considerável solução ecológica para a intensa produção de cimento. Dentre essas cinzas, destacam-se estudos sobre as da casca do arroz, do bagaço de cana-de-açúcar, cinzas do caroço do açaí, da castanha de caju e da lenha de eucalipto. Isso se explica pelas potenciais melhorias conferidas às argamassas e concretos quando as cinzas são adicionadas (CORDEIRO, 2006; POUHEY, 2006; LIMA, 2008; VASKE, 2012; TAPAJÓS *et al*, 2014).

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 se substituindo o clínquer por resíduos sólidos naturais. Desse modo, um dos avanços mais importantes do desenvolvimento do concreto neste último século foi à utilização de subprodutos industriais na sua produção (MEDEIROS, 2008).

No que se refere ao mercado nacional de cimento, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), as vendas internas no ano de 2015 acumularam 64,4 milhões de toneladas. Este mesmo mercado já produz cimentos com adições como a escória granulada de alto forno e cinzas volantes, resíduos com composição semelhantes ao

cimento dentre outras viáveis adições descobertas nos últimos anos com propriedades adequadas para utilização no cimento (CINCOTTO, 1988).

Neste contexto, esse 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 um altíssimo nível de emissão de CO₂ inerente ao seu processo de produção.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Tem como objetivo avaliar o efeito da incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar e cinza de casca de arroz a resistência à compressão do concreto.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analisar as alterações mecânicas referentes à compressão do concreto com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA);
- Analisar as alterações mecânicas referentes à compressão do concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA);
- Analisar e comparar a resistência à compressão do concreto convencional, com as dos concretos com adições;
- Verificar as porcentagens mais empregadas.

1.3. JUSTIFICATIVA

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos referentes a um uso de cinzas naturais e uma das áreas na qual seu uso se tornou relevante foi na aplicação desse material como adição

no concreto. Esses estudos apresentam o uso de diferentes porcentagens de cinzas relacionando os seus resultados na modificação de algumas propriedades do concreto.

Devido ao grande estudo com relação à adição de cinzas de fibras naturais, o estudo teve como propósito buscar a partir de resultados científicos já desenvolvidos por outros pesquisadores, verificar a influência da adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) e cinza de casca de arroz (CCA) nas propriedades mecânicas do concreto.

Conforme Neville (1997) existe estudos que comprovam o ganho em resistência do concreto com a adição de cinzas. A utilização das cinzas ricas em Sílicas no concreto pode ser justificada com o baixo custo para obtenção na natureza, além de possuírem características adequadas para essa finalidade. Outro fator importante se deve ao fato de serem recursos naturais renováveis, não degradando o meio ambiente com extração mineral.

Diversos estudos evidenciam o potencial das cinzas como adição mineral em concretos (CORDEIRO, 2006; PAULA, 2009; MACEDO 2009; SNELLINGS *et al.*, 2010). A eficácia da adição é atribuída principalmente à atividade pozolânica. A pozolana é definida pela ASTM 618-08^a como um material silicoso ou silicoaluminoso que na presença de umidade reage com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis como silicatos e aluminatos de cálcio, responsáveis pelo aumento de resistência da pasta endurecida.

1.4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Existe aumento ou redução na resistência à compressão do concreto, com a substituição parcial do cimento por adição de cinzas de fibras naturais? Quais as proporções mais adequadas para que exista ganho significativo na resistência?

1.5. FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Existe um ganho significativo na resistência do concreto utilizando cinza de fibras naturais, esse ganho significativo pode justificar a utilização em escala desses materiais.

1.6. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa trata-se de um estudo teórico referente à adição de cinza de fibras naturais no concreto, especificamente as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cinza de casca de arroz, sendo desenvolvido por meio de levantamentos de dados na literatura acadêmica referente ao tema proposto e comparando os resultados obtidos por diferentes pesquisados. As publicações usadas como base para o desenvolvimento da pesquisa foram buscadas em vários bancos de dados, sendo utilizados trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado, desenvolvidos em diferentes instituições de ensino no Brasil.

2. CAPÍTULO 2

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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, mesmo essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos. 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, extrudados 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 constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre, formando assim um material pulverulento. Devido a sua constituição, ao ser misturado com água, hidrata-se e produz o endurecimento da massa, oferecendo assim, elevada resistência mecânica (PETRUCI, 1998).

Os principais componentes do cimento *Portland* são: calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. É um material que possui propriedades adesivas, com capacidade de unir agregados miúdos e graúdos, formando uma massa compacta (NEVILLE, 2013).

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

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

- CP I - Cimento *Portland* Comum;
- CP II – Cimento *Portland* Composto;
- CP III – Cimento *Portland* de Alto Forno;
- CP IV – Cimento *Portland* Pozolânico;
- CP V – Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial.

2.1.2.2. Agregados

Segundo Petrucci (1998), agregado é um material granular, que não tem forma e volume definidos, geralmente são inertes, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de Engenharia.

Já para 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.

Neville (2013) classifica como o 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 (ABNT, 2005), 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 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 sendo assim 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 dano no concreto pode ser ingerida pelo homem.

Ainda de acordo com o autor, a água utilizada no amassamento do concreto deve ser livre de impurezas para não prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento, notando-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 se estaciona, e no segundo caso, a renovação do agente agressivo tem seus efeitos mais nocivos.

Considerando que as maiores deficiências que provém da água do amassamento não é propriamente dos elementos que ela possa conter, mas sim do excesso da água utilizada, sendo que, sempre que hajam 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, lembrando 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 aptidão, 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 agregado e cimento, denominado como traço;
- Proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde à granulometria do concreto;
- Forma do grão dos agregados;
- Aditivos com intuito de influir na trabalhabilidade, geralmente denominados plastificantes.

b) Fatores externos:

- Tipo de mistura (manual ou mecanizada);
- Tipo de transporte, quanto ao sentido vertical ou horizontal, quanto ao meio de transporte;
- Tipo de lançamento, de pequena ou grande altura;
- Tipo de adensamento mais usual: manual e vibratório;
- 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, vulnerável à alterações impostas pelo meio ambiente, sendo elas físicas, químicas e mecânicas, e que ocorrem de maneira vagarosa. Das propriedades do concreto endurecido, as mais características são 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 ($\pm 3.700 \text{ kg/m}^3$).

b) Resistência aos esforços mecânicos

Segundo Petrucci (1998), o concreto é o material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração, onde 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.

Para Petrucci (1998), os principais fatores que afetam a resistência mecânica são:

- Relação água/cimento: é o parâmetro mais importante na composição de um concreto. Esta relação tem influência na resistência, durabilidade e retração do concreto. Seu valor é o resultado da relação dos pesos de água e do cimento contidos no concreto.

- Idade: a resistência do concreto avança com a idade, devido ao processo de hidratação do cimento ao longo do tempo. É utilizada como padrão a resistência do concreto aos 28 dias.

- Forma e graduação dos agregados: na ligação pasta-agregado depende de sua textura superficial e da natureza química dos agregados. A forma e textura podem alterar a área específica nas superfícies de forma cúbicas, e aumentam-se as resistências, o que é perceptível no caso de tração na flexão. No caso de superfícies arredondadas, como os seixos rolados, tendem a serem menos resistentes do que aqueles confeccionados com pedra britada, mesmo possuindo o mesmo fator água/cimento, isto devido a menor aderência pasta/agregado. Este efeito só é relevante para concretos de elevada resistência. A resistência do concreto também é influenciada pela granulometria do agregado graúdo. Concretos fabricados com britas de menor diâmetro podem gerar concretos mais resistentes quando é mantida a mesma relação água/cimento.

- Tipo de cimento: quanto ao tipo de cimento, a composição química do cimento (proporção de C_3S e C_2S) influencia na resistência do concreto, bem como a adição de escórias e pozolanas. Quanto mais fino for o cimento, maiores são as resistências iniciais do cimento.

Ainda segundo Petrucci (1998), existem outros fatores que afetam a resistência mecânica do concreto, sendo eles: forma e dimensão dos corpos de prova e velocidade da aplicação da carga de ensaio e duração da carga.

2.1.4. Material Pozolânico

São materiais silicosos, que possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentante. Mas quando são finamente divididos, na presença de umidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar composto com propriedades cimentante (NBR 12653, ABNT 1992).

A utilização de material pozzolânico se dá de duas formas, como adição de cimento Portland durante sua fabricação, gerando os cimentos compostos, ou como adição ao concreto. Independente da forma, os resultados são semelhantes e muitos dos efeitos

exercidos são benéficos. Entre as propriedades influenciadas pela presença de adições pozolânicas estão o calor de hidratação, a resistência mecânica, a fluidez e o aumento da durabilidade, a questão mais relevante da sua utilização (ISAIA *et al*, 2010).

A reação pozolânica ocorre de forma lenta, desta forma, a liberação de calor também acompanha esta velocidade. O uso de adições minerais possibilita a redução do aumento da temperatura quase que em proporção direta a quantidade do cimento Portland substituído pela adição, sendo considerado o calor de hidratação total produzido pelas reações pozolânicas com a metade do calor médio produzido pela hidratação do cimento Portland (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

As adições minerais estão diretamente ligadas à produção do concreto de alta resistência e com alto desempenho desde a década de 80, devido ao efeito químico relacionado com a adição envolver a formação adicional de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), produto responsável pela maior fração à resistência das pastas de cimento. O outro efeito importante é a transformação de grandes vazios através da ocupação deste espaço, gerando uma grande quantidade de poros menores. A redução de tamanho e volume de vazios reduz a permeabilidade, sendo este o ponto principal referente à durabilidade (GROENWOLD, 2010).

2.1.4.1. Cana-de-açúcar e cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (Figura 1) tem origem em Nova Guiné, depois de séculos chegou à Índia. A notícia da existência de uma planta que dava mel sem abelhas chegou a Europa através dos Gregos. Os Árabes levaram para a costa africana do Mediterrâneo, sul da Sicília e sul da Espanha, de onde os portugueses levaram para a Ilha da Madeira (MACHADO, 2003).

Figura 1: Cana-de-açúcar



Fonte: Revista Nova Família (2018)

Martin Afonso trouxe as primeiras mudas de cana-de-açúcar para o Brasil em 1502 (CESNIK e MIOCQUE, 2004). O mesmo fundou em São Vicente o engenho de Erasmo e em seguida, Coelho Duarte fundou um em Pernambuco, por ter um clima mais favorável para o cultivo e estar mais próximo a Europa (MACHADO, 2003). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar.

A indústria da cana-de-açúcar gera diversos tipos resíduos, que podem ser utilizados para diversos fins, porém, ainda não há estudos científicos que justifiquem e comprovem sua eficiência. Durante o processo de extração do caldo por meio da moagem é gerado o bagaço da cana-de-açúcar. No Brasil 95% do bagaço é queimado em caldeiras a vapor, gerando uma cinza.

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (Figura 2) é obtida através da queima do bagaço nas fornalhas das caldeiras das usinas produtoras de açúcar e álcool. A produção da cinza inicia-se com o plantio e, posteriormente, a queima da lavoura para auxiliar na colheita. Em seguida, aplica-se a moagem da cana, resultando no bagaço úmido, esse é queimado nas fornalhas para a cogeração de energia, gerando como produto final a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (FREITAS, 2005).

Figura 2: Cinza do bagaço da cana-de-açúcar



Fonte: PINI (2018)

Poucos estudos têm sido relatados sobre o uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial em materiais cimentícios. Estes estudos demonstram que a cinza tem grande potencial, principalmente pelo fato de apresentar como principal composto a sílica e, dependendo das condições de queima, pode apresentar sílica no seu estado amorfo (CORDEIRO, 2006).

Se esta cinza é um material Pozolânico ou não, é um tema controverso. Alguns pesquisadores, como Sales, *et al.* (2010), chegaram a 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. Este fato leva a crer que o material é pozolânico em alguns casos e em outros não, e isso deve ter relação com a forma de produção da cinza da fibra da cana-de-açúcar.

2.1.4.2. Cinza da casca de arroz

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), a estimativa de produção de arroz em 2013 é de 11.900.575 toneladas, correspondendo a um crescimento de 4,6% em relação à safra de 2012. A região sul deve produzir 9.301.486 toneladas em 2013, o que representa mais de 78% da produção nacional de arroz, uma expansão de 3,9% em relação a 2012 (Figura 3).

Figura 3: Casca de arroz



Fonte: Uagro (2018)

A cinza da casca de arroz (Figura 4) resulta do processo de combustão, apresentando formas estruturais variáveis dependendo do tipo de queima, tempo e temperatura de oxidação.

Figura 4: Cinza de casca de arroz



Fonte: CPT (2018)

A cinza da casca de arroz, quando queimada e moída corretamente, torna-se uma pozolana já estudada por vários pesquisadores no Brasil. Sua utilização é a solução para a redução da poluição ambiental ocasionada pelo descarte deste material. Uma característica importante é o índice de atividade pozolânica deste material, que depende da finura da cinza e do teor de Sílica amorfa, sendo esse determinado pelo processo de queima da casca de arroz, considerando os parâmetros de temperatura e tempo de queima (DUART, 2008).

Duart (2008) destaca ainda que a cinza da casca de arroz produzida em nosso país é uma excelente pozolana com desempenho comparado a Sílica Ativa. Segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992), o termo pozolana é utilizado para definir um material que sozinho possui pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando na presença de água e finamente dividido, reage com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos de características aglomerantes.

3. CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido com o método de estudo de revisão bibliográfica, o qual é caracterizado por Gil (1994) como uma pesquisa exploratória. Trata-se de uma pesquisa em diversos tipos de publicações que possam ser utilizadas como fonte de informações científica, que abordam sobre o tema em questão, ou seja, sobre concreto com adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) e cinza da casca de arroz (CCA).

A questão norteadora da revisão científica é se estes materiais, considerados não convencionais, apresentam um potencial significativo de alteração das características mecânicas, sendo uma alternativa ecológica para seu uso em concretos.

Através desta pesquisa em documentos, formulou-se uma conclusão sobre o assunto percorrido explorando quais são os benefícios de se adicionar cinzas à matriz cimentícia do concreto, e se é uma área de estudo próspera.

O período em que ocorreu a busca dos artigos científicos foi de fevereiro a maio de 2018, sendo que os artigos utilizados variam dos anos de 1997 até 2017, e as bases de dados utilizadas foram materiais publicados em anais de congressos, teses e dissertações. As palavras chaves que ajudaram a localizar os trabalhos foram: cinzas naturais, bagaço da cana-de-açúcar, cinza da casca de arroz, desempenho mecânico, construção civil e reciclagem.

3.1.1. Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland.

Para análise da adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), foi utilizado como objeto de estudo três pesquisas, sendo elas:

- Trabalho de conclusão de curso de Thiago da Cruz Sessa, intitulado de “Avaliação da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em concreto usando construções residenciais de menor impacto”, realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro, na cidade do Rio de Janeiro – RJ (2013).

- Tese de doutorado de Sofia Araújo Lima Bessa, intitulada de “Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de

infraestrutura urbana”, realizado na Universidade Federal de São Carlos, na cidade de São Carlos – SP (2011).

- Dissertação de mestrado de Sérgio Eduardo Fernandes, intitulada de “Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar”, realizado na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Londrina, apresentado na cidade de Ilha Solteira – SP (2014).

3.1.2. Adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland.

Para análise da adição da cinza de casca de arroz (CCA), foi utilizado como objeto de estudo três pesquisas, sendo elas:

- Trabalho de conclusão de curso de Douglas Giongo Ludwig, titulado de “Concreto com adição de cinza de casca de arroz”, realizado no Centro Universitário Univantes, na cidade de Lajeado – RS (2014).

- Trabalho de conclusão de curso de Charles Londero, titulado de “Trabalho de conclusão de curso de graduação em engenharia de energia”, realizado na Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Araranguá – SC (2017).

- Dissertação de mestrado de Sílvia Santos, intitulada de “Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz resíduas em argamassas e concretos”, realizado na Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis – SC (1997).

3.1.3. Métodos Utilizados

Foi realizada a comparação dos métodos que os três autores de cada substituição e adição (cinza do bagaço da cana-de-açúcar e cinza da casca de arroz) utilizaram para a caracterização mecânica, ou seja, para a realização de ensaios de resistência à compressão, subdividindo-se nos itens a seguir.

3.1.3.1. Traços utilizados

a) Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland

As dosagens dos concretos de Sessa (2013) foram realizadas utilizando o Método do Empacotamento Compressível (MEC). Sua conceituação baseia-se num modelo de empacotamento de partículas para a otimização de misturas granulares buscando a máxima compactidade possível, acoplado a um conjunto de modelos de comportamento para o concreto. Assim, faz-se a dosagem a partir da fração volumétrica otimizada obtida e, então, torna-se possível a predição das propriedades do concreto (DE LARRARD, 1999).

A Tabela 1 apresenta, respectivamente, a massa dos materiais para as moldagens do concreto de referência; concreto com substituição de 20% do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar; e concreto com substituição de 40% do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

Tabela 1: Dosagem dos concretos em traço unitário

MATERIAIS	REFERÊNCIA	20% DE CBCA	40% DE CBCA
ÁGUA	0,47	0,59	0,79
CIMENTO	1,00	1,00	1,00
BRITA 0	0,38	0,48	0,64
BRITA 1	2,58	3,23	4,33
AREIA	1,84	2,30	30,8
CBCA	0,00	0,25	0,67

Fonte: Fantinell (2018)

Bessa (2011) também apresentou em forma de tabela os traços. A Tabela 2 apresenta, respectivamente, a massa dos materiais para as moldagens do concreto de referência, concreto com adição de 30% e 50% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar. O consumo de cimento foi de 425 kg/m³ de cimento para todos os traços.

Tabela 2: Dosagem dos concretos em traço unitário

			COMPOSIÇÃO DO TRAÇO UNITÁRIO				
TIPO DE CIMENTO	NOME DA SÉRIE	TEOR DE CBCA	CIMENTO	AREIA	BRITA	CBCA	RELAÇÃO A/C
CPV ARI RS	AR	0%	1,00	1,830	2,690	0,00	0,52
	A 30	30%	1,00	1,281	2,690	0,549	0,53
	A 50	50%	1,00	0,915	2,690	0,915	0,54
CPIII 40 RS	BR	0%	1,00	2,120	2,860	0,00	0,53
	BR 30	30%	1,00	1,484	2,860	0,636	0,54
	BR 50	50%	1,00	1,060	2,860	1,060	0,55
CPII E 32	CR	0%	1,00	2,010	2,860	0,00	0,52
	C 30	30%	1,00	1,407	2,860	0,603	0,53
	C 50	50%	1,00	1,005	2,860	1,005	0,54

Fonte: Fantinell (2018)

Na Tabela 3, são apresentadas, as dosagens dos concretos utilizados por Fernandes (2014), contendo o traço de referência e os traços com substituição parcial do concreto por 5%, 10%, 15% e 20% por cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

Tabela 3: Dosagem dos concretos em traço unitário

CONCRETO	CIMENTO	AREIA	BRITA	CBCA	ÁGUA
REFERÊNCIA	1,00	1,93	3,05	0,00	0,51
5%	1,00	1,74	3,06	0,09	0,50
10%	1,00	1,74	3,05	0,19	0,49
15%	1,00	1,64	3,05	0,29	0,50
20%	1,00	1,55	3,05	0,38	0,49

Fonte: Fantinell (2018)

b) Adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland

Cada autor estudado utilizou um traço diferente, sendo que Ludwig (2014) utilizou os traços conforme Tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Dosagem dos concretos em traço unitário

MATERIAL	REFERÊNCIA	3% CCA	5% CCA	7% CCA
CIMENTO	1,00	1,00	1,00	1,00
CCA	0,00	0,03	0,05	0,07
BRITA 1	2,26	1,10	2,37	2,43
BRITA 0	1,50	1,55	0,58	1,62
AREIA MÉDIA	2,125	2,19	2,23	2,28
AREIA FINA	1,01	1,04	1,06	1,09
ÁGUA	0,67	0,69	0,71	0,72

Fonte: Fantinell (2018)

A composição unitária empregada por Londero (2017) para a composição do concreto de referência (0%) é o padrão aplicado na empresa Concretar, com relação água/cimento de 0,57, e dosado para atingir resistência de 35 MPa aos 28 dias de hidratação do cimento. A Tabela 5 apresenta o traço unitário para o concreto de referência, para o concreto com 10% de CCA, para o concreto com 15% de CCA e para o concreto com 20% de CCA.

Tabela 5: Dosagem dos concretos em traço unitário

MATERIAL	REFERÊNCIA	10% CCA	15% CCA	20% CCA
CIMENTO	1,000	1,000	1,000	1,000
AREIA GROSSA	1,922	1,922	1,922	1,922
AREIA FINA	1,035	1,035	1,035	1,035
BRITA 3/4	1,865	1,865	1,865	1,865
BRITA 0	1,243	1,243	1,243	1,243
ÁGUA	0,570	0,570	0,570	0,570
CCA	00,00%	10,00%	15,00%	20,00%

Fonte: Fantinell (2018)

Para a dosagem dos concretos, Santos (1997) utilizou 3 traços, levando-se em consideração a relação água/cimento pozolana em massa equivalente e o teor de substituição das pozolanas. A metodologia foi baseada na dosagem Instituto de Pesquisas Tecnológicas do

Estado de São Paulo, da Escola Politécnica da USP (IPT/EPUSP), descrita por Helene e Terzian (1992). A substituição do cimento por pozolana foi feita em volume absoluto de cimento, onde foram confeccionados 5 concretos diferentes, como mostra as Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação a/c = 0,4

CONCRETO	REFERÊNCIA	15% CCA	40% CCA
CIMENTO	1,00	1,00	1,00
CCA	0,00	0,11	0,55
AREIA	1,24	1,42	2,06
BRITA	1,76	2,07	2,93
A/C	0,40	0,40	0,40

Fonte: Fantinell (2018)

Tabela 7: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação a/c = 0,5

CONCRETO	REFERÊNCIA	15% CCA	40% CCA
CIMENTO	1,00	1,00	1,00
CCA	0,00	0,11	0,44
AREIA	1,80	1,95	2,40
BRITA	2,20	2,39	2,93
A/C	0,50	0,50	0,50

Fonte: Fantinell (2018)

Tabela 8: Dosagem dos concretos em traço unitário para relação a/c = 0,6

CONCRETO	REFERÊNCIA	15% CCA	40% CCA
CIMENTO	1,00	1,00	1,00
CCA	0,00	0,11	0,44
AREIA	2,35	2,63	3,14
BRITA	2,63	2,94	3,51
A/C	0,60	0,60	0,60

Fonte: Fantinell (2018)

3.1.3.2. Procedimento de moldagem e cura do concreto

A NBR 5738 (ABNT, 2003), descreve o procedimento de moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto.

As dimensões básicas dos corpos-de-prova devem ter a altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametraais têm uma tolerância de 1%, e a altura de 2%. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde. As superfícies devem ser lisas e livres de saliências, e cumprir os requisitos descritos a seguir (ABNT NBR 5738, 2003).

O comprimento deve ser no mínimo 50 mm maior que o vão de ensaio e 50 mm maior que três vezes a dimensão do lado da seção transversal do corpo-de-prova. A dimensão transversal deve ser de no mínimo 150 mm. A tolerância das dimensões deve ser inferior a 2% e nunca maior do que 2 mm (ABNT NBR 5738, 2003).

I. Características gerais

Tem como características gerais que a base e as laterais do molde devem ser de aço ou material não absorvente, não pode reagir com o cimento Portland e deve ser resistente para manter sua forma durante a moldagem. O molde deve ser aberto na parte superior para permitir fácil desmoldagem, sem danificar os corpos-de-prova. A base, colocada na parte inferior do molde, deve ser plana e rígida, com tolerância de planeza de 0,05 mm (ABNT NBR 5738, 2003).

Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003), o conjunto constituído pelo molde e sua base deve ser estanque. Quando as juntas não forem estanques, devem ser vedadas com um material de características adequadas que não reaja com o cimento Portland.

A haste de adensamento deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa de $(16,0 \pm 0,2)$ mm de diâmetro e comprimento de 600 mm a 800 mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste (ABNT NBR 5738, 2003).

A amostra de concreto destinada à preparação de corpos-de-prova deve ser obtida de acordo com o definido na NBR NM 33 (ABNT, 1998), onde se deve registrar a data, a hora de adição da água de mistura, o local de aplicação do concreto, a hora da moldagem e o abatimento obtido.

II. Procedimento de moldagem:

- a) Dimensões dos corpos-de-prova: A dimensão do corpo-de-prova deve ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto. As partículas de dimensão superior à máxima nominal

devem ser eliminadas por peneiramento do concreto, de acordo com a NBR NM 36 (ABNT, 1998).

- b) Preparação dos moldes: Antes de proceder à moldagem dos corpos-de-prova, os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral. A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos-de-prova durante sua moldagem e início de pega (ABNT NBR 5738, 2003).
- c) Moldagem dos corpos-de-prova: De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003), deve-se proceder a uma prévia remistura da amostra para garantir a sua uniformidade e colocar o concreto dentro dos moldes em número de camadas determinadas, utilizando uma concha de seção U. Ao introduzir o concreto, deslocar a concha ao redor da borda do molde, de forma a assegurar uma distribuição simétrica e, imediatamente, com a haste em movimento circular, nivelar o concreto antes de iniciar seu adensamento.
- d) Adensamento manual com haste dos corpos-de-prova: Introduzir o concreto no molde em camadas de volume aproximadamente igual e adensar cada camada utilizando a haste, que deve penetrar no concreto com seu extremo em forma de semiesfera, o número de vezes definido. A primeira camada deve ser atravessada em toda a sua espessura, quando adensada com a haste, evitando-se golpear a base do molde. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde. Cada uma das camadas seguintes também deve ser adensada em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20 mm na camada anterior. Se a haste de adensamento criar vazios na massa de concreto, deve-se bater levemente na face externa do molde, até o fechamento destes. A última camada deve ser moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que, ao ser adensada, complete todo o volume do molde e seja possível proceder ao seu rasamento, eliminando o material em excesso. Em nenhum caso é aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada (ABNT NBR 5738, 2003).
- e) Rasamento: Independentemente do método de adensamento utilizado, após o adensamento da última camada deve ser feito o rasamento da superfície com a borda do molde, empregando para isso uma régua metálica ou uma colher de pedreiro adequada (ABNT NBR 5738, 2003).

- f) Manuseio e transporte: Quando não for possível realizar a moldagem no local de armazenamento, os corpos-de-prova devem ser levados imediatamente após o rasamento até o local onde permanecerão durante a cura inicial. Ao manusear os corpos-de-prova, evitar trepidações, golpes, inclinações e, de forma geral, qualquer movimento que possa perturbar o concreto ou a superfície superior do corpo-de-prova. Após a desforma, os corpos-de-prova destinados a um laboratório devem ser transportados em caixas rígidas, contendo serragem ou areia molhada (ABNT NBR 5738, 2003).
- g) Cura: A NBR 5738 (ABNT, 2003) traz que após a moldagem, colocar os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que possa perturbar o concreto. Durante as primeiras 24 h, no caso de corpos-de-prova cilíndricos, todos os corpos-de-prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto.

Antes de serem armazenados, os corpos-de-prova devem ser identificados. Imediatamente após sua identificação, os corpos-de-prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95%. Os corpos-de-prova não devem ficar expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento (ABNT NBR 5738, 2003).

A norma ressalta que, deve-se impedir a secagem das superfícies dos corpos-de-prova prismáticos entre o momento em que são retirados do local de cura e a realização do ensaio.

Após o período de cura especificado para as estruturas de 28 dias, os corpos-de-prova devem permanecer no mesmo local e exposto às mesmas condições climáticas que as estruturas, até que sejam enviados ao laboratório para serem ensaiados. Ao chegar ao laboratório, os corpos-de-prova devem ser mantidos em câmara úmida até o momento do ensaio (ABNT NBR 5738, 2003).

Na NBR 5738 (ABNT, 2003) especifica-se que os corpos-de-prova devem ser capeados ou retificados. A retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado. Esta operação é normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas. A retificação deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das

camadas adjacentes à camada removida, e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos. As falhas de planicidade em qualquer ponto da superfície obtida, não devem ser superiores a 0,05 mm. O capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos-de-prova com uma fina camada de material apropriado, com as seguintes características: aderência ao corpo-de-prova; compatibilidade química com o concreto; fluidez no momento de sua aplicação; acabamento liso e plano após endurecimento; resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto. Deve ser utilizado um dispositivo auxiliar, denominado capeador, que garanta a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo-de-prova. A superfície resultante deve ser lisa, isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a 0,05 mm em qualquer ponto. A espessura da camada de capeamento não deve exceder 3 mm em cada topo.

Atendendo ao procedimento de moldagem e cura do concreto, tanto os trabalhos sobre a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland, desenvolvidos por Sessa (2013), Bessa (2011) e Fernandes (2014), quanto os trabalhos sobre a adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland, de autoria de Ludwig (2014), Londero (2017) e Santos (1997) moldaram os corpos-de-prova conforme procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2003).

3.1.3.3. Quantidade de corpos-de-prova

Os autores utilizados como referência no desenvolvimento do trabalho, realizaram diferentes quantidades de moldes, sendo:

- a) Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland:

Tabela 9: Quantidade de corpos-de-prova por autor

AUTORES	QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA
SESSA	60
BESSA	54
FERNANDES	100

Fonte: Fantinell (2018)

- b) Adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland:

Tabela 10: Quantidade de corpos-de-prova por autor

AUTORES	QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA
LUDWIG	72
LONDERO	60
SANTOS	108

Fonte: Fantinell (2018)

3.1.3.4. Porcentagens de substituição de cimento por cinza

Cada autor estudado utilizou porcentagens de substituições de cinza do bagaço de cana-de-açúcar diferentes para os ensaios de resistência à compressão, sendo:

a) Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland:

Tabela 11: Teores em % que cada autor utilizou

AUTORES	SESSA	BESSA	FERNANDES
TEORES	20%	30%	5%
			10%
	40%	50%	15%
			20%

Fonte: Fantinell (2018)

b) Adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland:

Tabela 12: Teores em % que cada autor utilizou

AUTORES	LUDWIG	LONDERO	SANTOS
TEORES	3%	10%	15%
	5%	15%	40%
	7%	20%	

Fonte: Fantinell (2018)

3.1.3.5. Procedimento de ensaio de compressão e idade de ruptura

Segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), o teste de resistência do concreto é feito pelo método do ensaio de compressão. Após o laboratório receber o corpo-de-prova, ele é armazenado em câmara úmida por um tempo determinado de acordo com o pedido dos autores analisados, sempre lembrando que o concreto atinge a sua resistência característica no 28º dia. Vencido este prazo o corpo-de-prova segue para outro setor do laboratório onde ele passa por um nivelamento das superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina que irá fazer o ensaio e, finalmente, ele é encaminhado para a última fase, chamada de rompimento. A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo-de-prova até que o mesmo venha a romper, a força exercida é dividida pela área de topo do corpo-de-prova em cm^2 , então a relação de kgf (exercido pela máquina) por cm^2 , que, para chegar ao MPa, basta dividir este valor por 10.

Cada autor estudado escolheu um prazo para rompimento:

a) Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland:

Tabela 13: Idades de rompimento de corpos-de-prova de cada autor

AUTORES	SESSA	BESSA	FERNANDES
DIAS PARA ROMPIMENTO	1	7	7
	3	14	28
	7	28	60
	28		90

Fonte: Fantinell (2018)

b) Adição da cinza da casca de arroz ao cimento Portland:

Tabela 14: Idades de rompimento de corpos-de-prova de cada autor

AUTORES	LUDWIG	LONDERO	SANTOS
DIAS PARA ROMPIMENTO	3	3	3
	7	7	7
	28	28	28
			60
			90

Fonte: Fantinell (2018)

4. CAPÍTULO 4

4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através das análises dos trabalhos utilizados como referência.

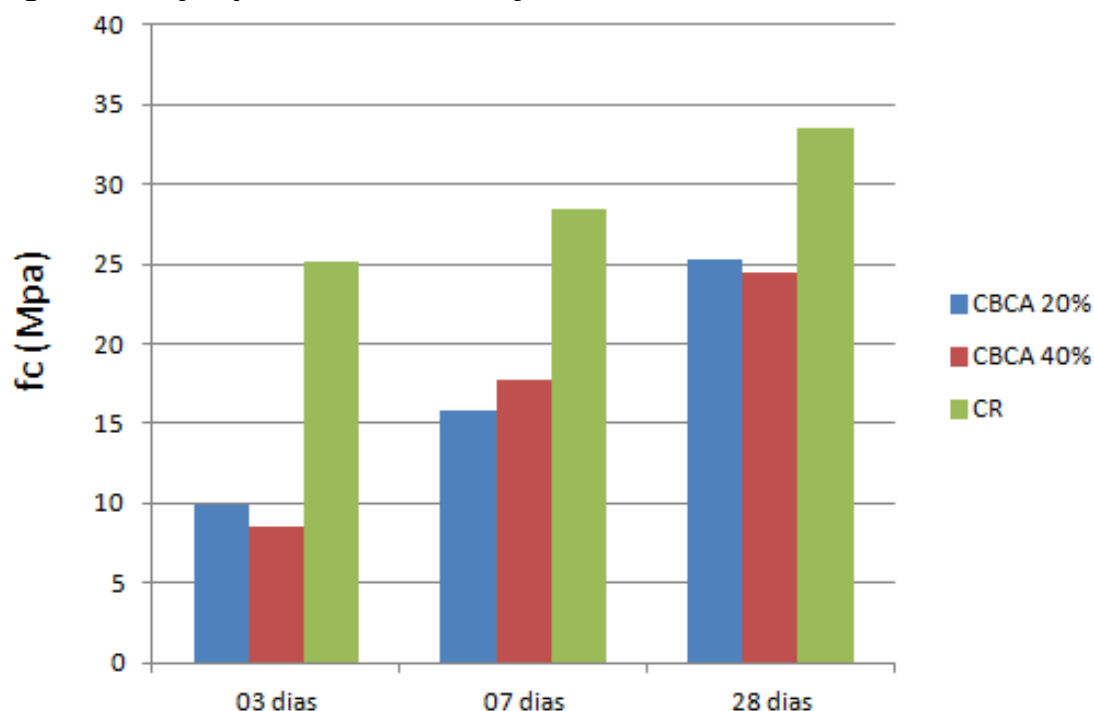
4.1.1. Adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)

No trabalho desenvolvido por Sessa (2013) os resultados dos ensaios de resistência à compressão é apresentado o coeficiente de variação obtido entre as amostras aos 03, 07 e 28 dias. Os valores foram obtidos através de uma média entre os corpos-de-prova rompidos, descartando-se aquele resultado cujo coeficiente de variação fosse maior que 10%, a fim de dispor de maior confiabilidade nas análises.

Na primeira idade não foi possível a realização do ensaio de compressão para a mistura com 40% da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), uma vez que não se conseguiu desmoldar os corpos de prova devido a fluidez ainda existente no concreto. Este fato demonstra que quanto maior o teor de CBCA presente na mistura, maior é o retardo no tempo de pega do concreto (SESSA, 2013).

Para o concreto de referência, o autor traz que foi obtido uma resistência ao primeiro dia de 14,52 MPa, enquanto que o concreto com 20% CBCA atingiu uma resistência de apenas 1,59 MPa, fato que comprova o que foi mostrado em estudos anteriores que a influência da CBCA na resistência do concreto não ocorre de maneira imediata e se acentua ao longo do tempo.

Aos 28 dias, a mistura com 20% de CBCA apresenta um pouco mais de 75% da resistência atingida pelo concreto de referência na mesma idade, já o concreto com 40% de CBCA o indicativo foi de 73% (SESSA, 2013). O comparativo da evolução na resistência em função dos dias de cura do corpo de prova é apresentado no gráfico da Figura 5.

Figura 5: Comparação da resistência à compressão dos concretos

Fonte: Sessa (2013)

Analisando as retas que determinam a resistência em função do tempo de cura, realizado pelo autor da pesquisa, é possível perceber, através da inclinação da reta compreendida entre 07 e 28 dias, que a taxa de crescimento da resistência do concreto com 20% de CBCA foi superior em relação à mistura com teor de 40% de CBCA.

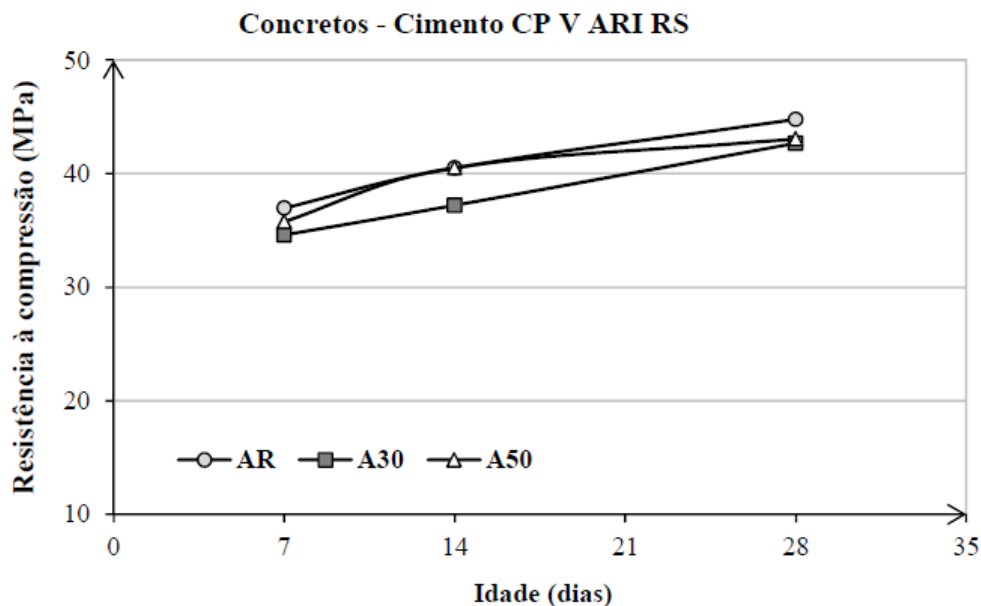
Dessa maneira, Sessa (2013) concluiu que com relação às propriedades mecânicas, o emprego da CBCA reduziu a resistência à compressão quando comparado com o concreto convencional usado como referência para o trabalho.

Para o autor, embora a resistência à compressão tenha sido inferior ao concreto de referência, nas duas misturas com teores de 20% e 40% de CBCA foram possíveis obter concretos com resistência estruturais de aproximadamente 25 MPa aplicáveis em construções.

O segundo trabalho analisado com relação à adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, Bessa (2011) analisou a resistência mecânica para a cinza CBCA com percentual de adição 30% e 50%. Segundo a autora, os valores de massa específica variaram entre 2303,67 kg/m³ para o concreto B50 (CP III com 50% CBC) e 2374,07 kg/m³ para o concreto A 500 (CP V com 50% de CBC). O menor valor de ar incorporado também foi encontrado nos concretos da amostra A 50. Segundo Neville (1997, *apud* Bessa, 2011), o volume total de vazios de um dado volume de concreto interfere na sua resistência à compressão.

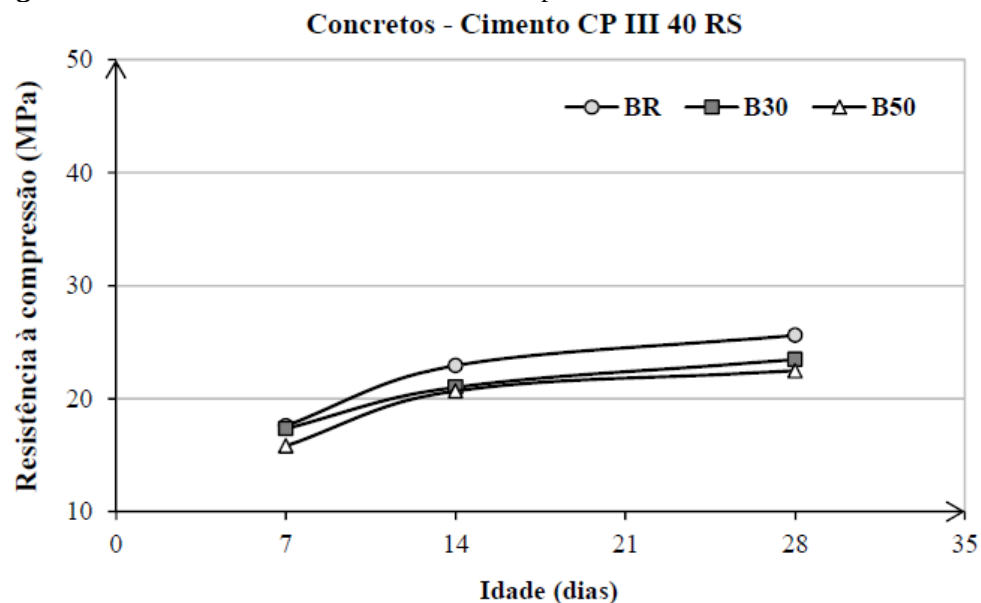
No ensaio de compressão dos concretos moldados foi determinado, segundo as recomendações normativas da NBR 5739 (ABNT, 1994), sendo os resultados para os concretos das séries A e B, apresentados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série A



Fonte: Bessa (2011)

Figura 7: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série B



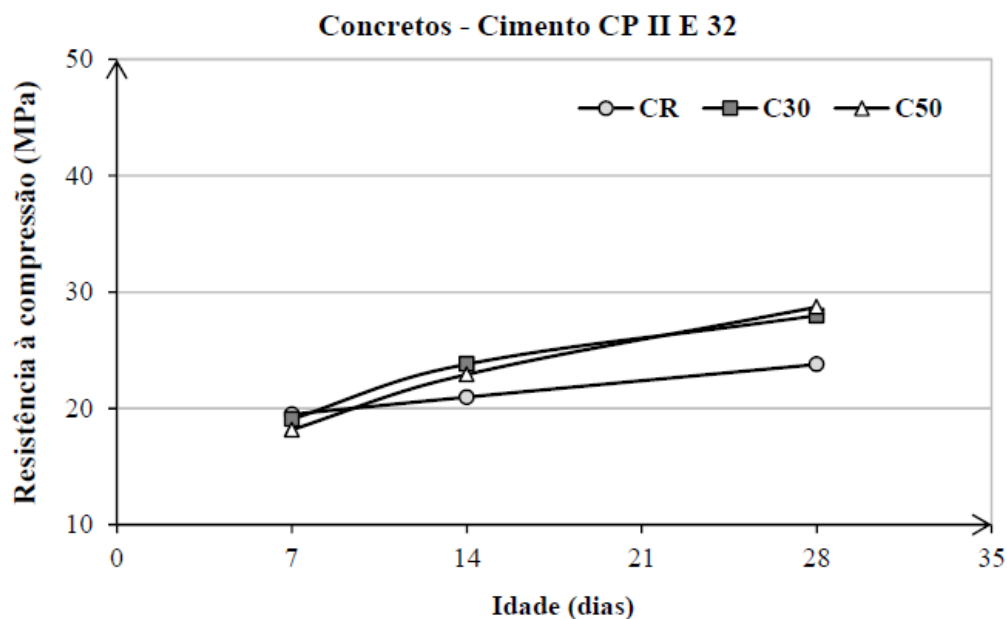
Fonte: Bessa (2011)

Para Bessa (2011), nas séries A e B, os valores de referência foram maiores que os valores de resistência em concretos produzidos com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, aos

28 dias. Sendo que na série A, a diferença foi de 3,8% entre o concreto AR e A50, e para a série B, a diferença foi maior, sendo 12,22% entre o concreto BR e o B50.

Na série C, os concretos produzidos com o CBC obtiveram maiores valores de resistência à compressão do que o concreto de referência (CR), como o concreto C50 que apresentou um valor médio 17,20% maior que as amostras de referência, conforme ilustra no gráfico da Figura 8.

Figura 8: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série C



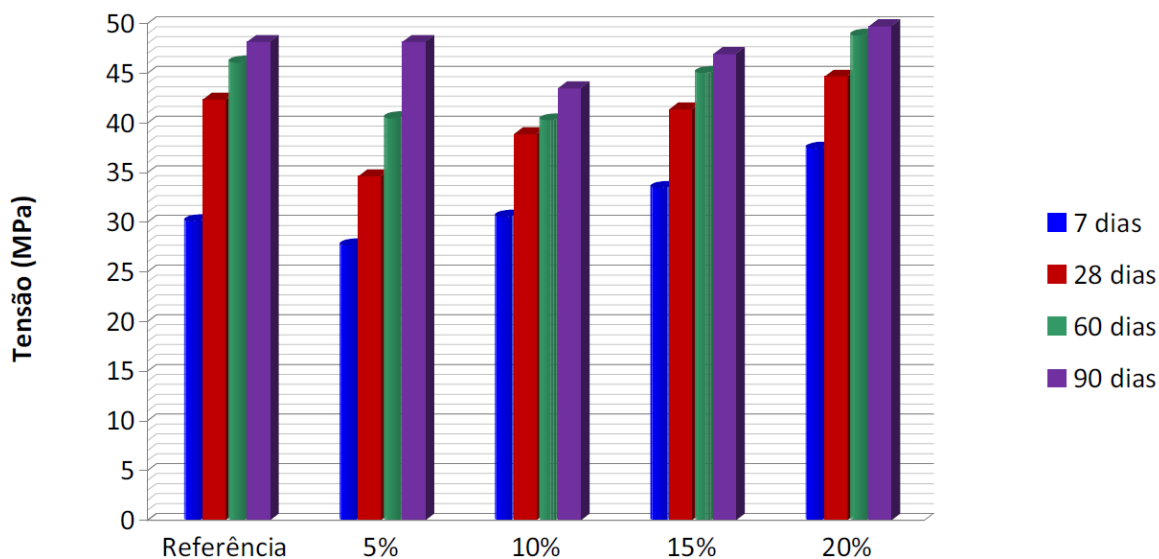
Fonte: Bessa (2011)

Como resultado do coeficiente de variação dos resultados de resistência à compressão, Bessa (2011) ressalta que os valores ficaram abaixo de 6% em todas as séries, atendendo as recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Fernandes (2014) determinou a resistência à compressão do concreto de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), onde os corpos de prova foram rompidos após o capeamento, em uma prensa universal, para ensaios que apresenta velocidade de carregamento igual a $5\text{kgf/cm}^2/\text{s}$. E os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, em que a resistência final foi obtida segundo a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Ao concluir a pesquisa, Fernandes (2014) verificou que os concretos com adição tiveram aumento da resistência, conforme se aumentou a porcentagem adicionada, o que pode ser visualizado no gráfico da Figura 9.

Figura 9: Resistência à compressão de concretos com diferentes substituições de CBCA

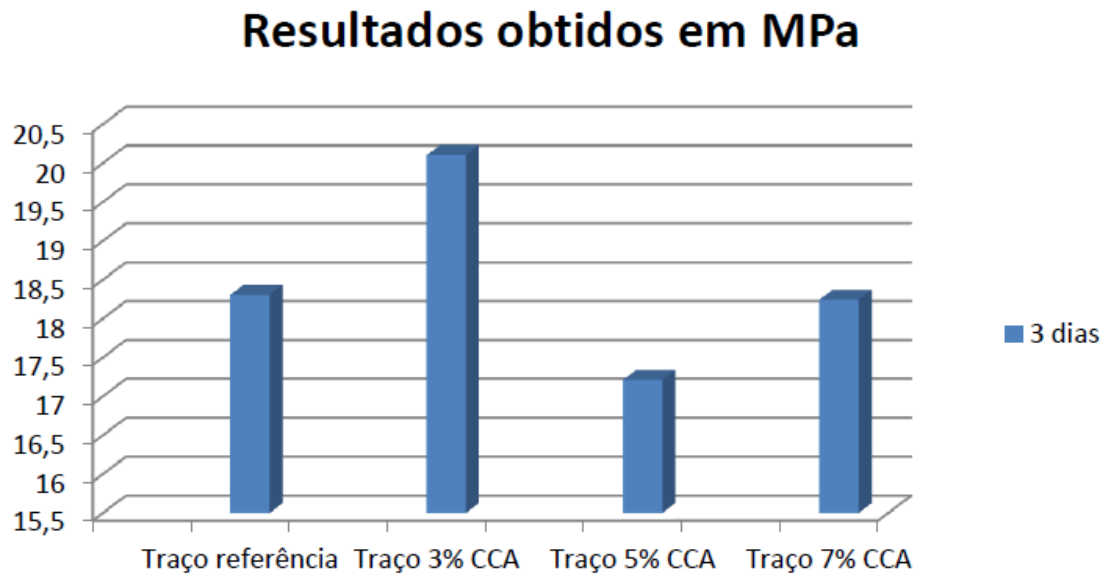


Fonte: Fernandes (2014)

A resistência também aumentou com o tempo, fato já esperado, sendo que o concreto com 20% de adição foi o que obteve os melhores resultados de resistência em comparação aos outros traços, inclusive se este for comparado ao concreto de referência (FERNANDES, 2014).

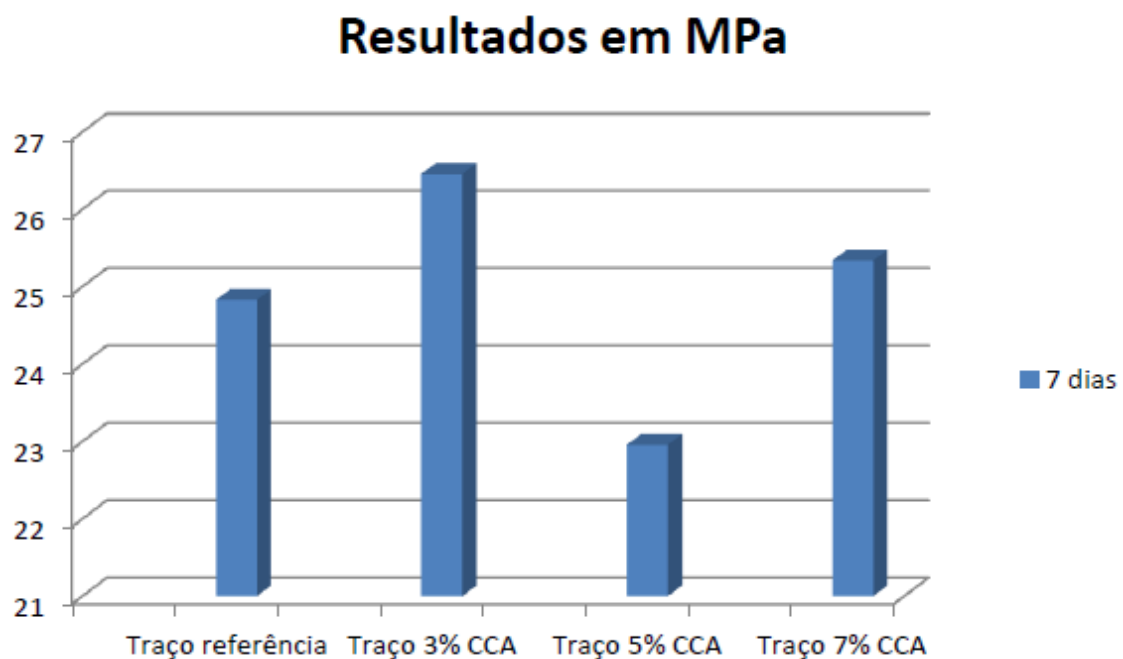
4.1.2. Adição da cinza da casca de arroz (CCA)

Considerando a utilização da cinza de casca de arroz (CCA), o trabalho de Ludwing (2014), o qual além do traço de referência, também desenvolveu outros três, com 3%, 5% e 7% de CCA. Na Figura 10, é apresentado os resultados de ensaio de rompimento em 3 dias, onde o melhor desempenho apresentado foi o traço de 3%, o qual atingiu 20,10 MPa, e quando comparado com a referência, representou um ganho de 8,93%. Os dois traços, 5% e 7%, apresentaram valores inferiores ao traço referência.

Figura 10: Resistência à compressão em 03 dias

Fonte: Ludwing (2014)

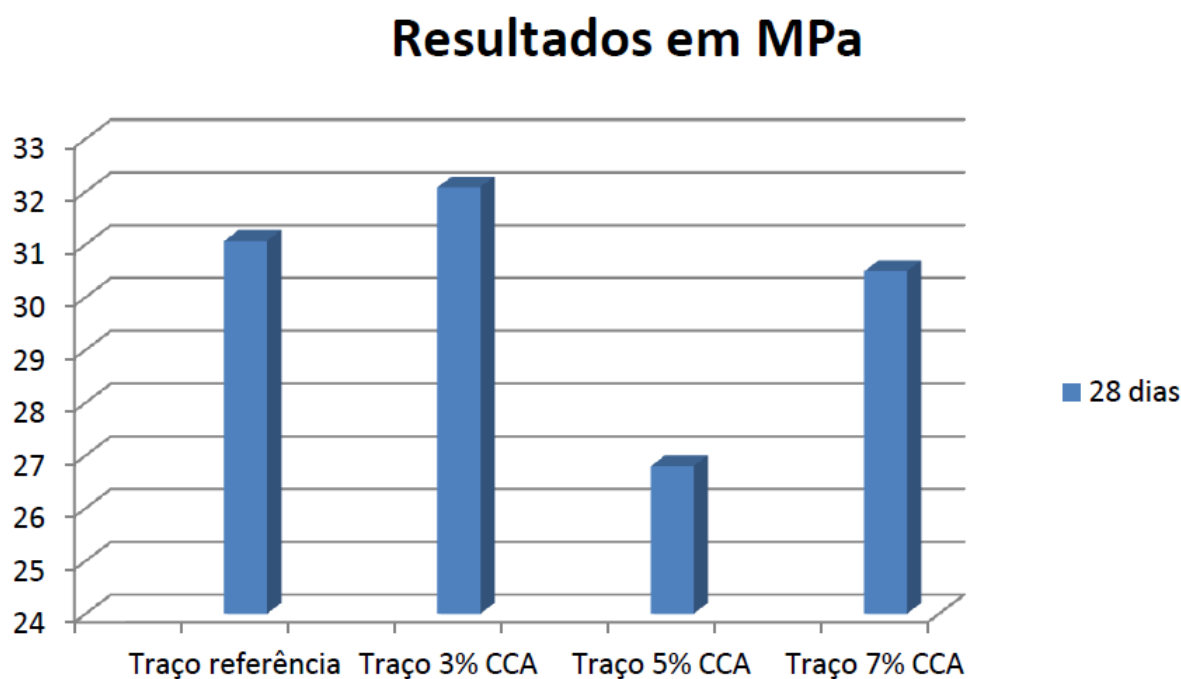
Na Figura 10, o gráfico ilustra o ensaio após um período de 7 dias, onde o concreto com 3% de CCA obteve uma resistência de 26,46 MPa. Nesse período, o traço com 7% de CCA atingiu o segundo melhor valor de desempenho, com uma diferença de 4,23% com relação ao traço 3% CCA.

Figura 11: Resistência à compressão em 07 dias

Fonte: Ludwing (2014)

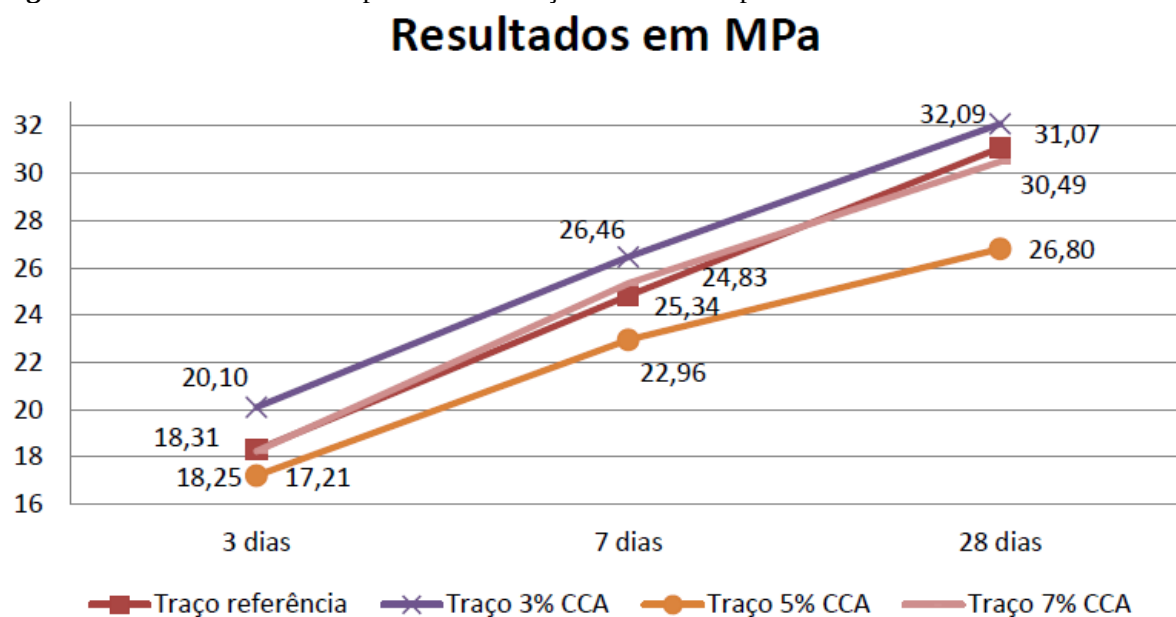
O resultado da pesquisa de Ludwing (2014), após o período de 28 dias (Figura 12), o traço de 3% de CCA também obteve melhor desempenho, com resistência final de 32,09 MPa. O traço de segundo melhor desempenho nesta idade foi o traço referência, com 31,07 MPa, representando 3,17% a menos que o primeiro.

Figura 12: Resistência à compressão em 28 dias



Fonte: Ludwing (2014)

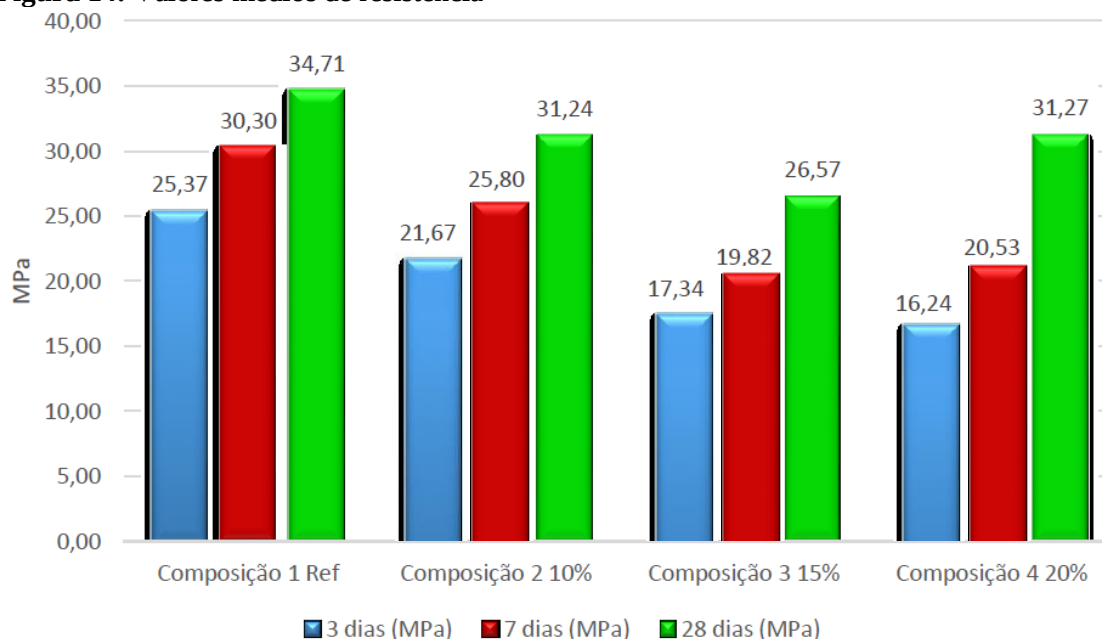
Na Figura 13, pode-se observar todas as idades e todos os traços, com relação ao rompimento e a resistência apresentada por Ludwing (2014).

Figura 13: Resistência do rompimento dos traços em todos os períodos

Fonte: Ludwing (2014)

No trabalho de Londero (2017), a resistência à compressão foi avaliada nas idades obrigatórias de 3, 7 e 28 dias, conforme a norma brasileira NBR 11578 (ABNT, 1991). E foram utilizadas 5 amostras por composição em cada dia, totalizando 60 amostras de concretos.

Na Figura 14, os resultados são apresentados graficamente, onde nos primeiros 3 dias, a composição referência obteve melhor desempenho, atingindo 25,37 MPa, seguido pela composição de 10% CCA com 21,67 MPa, composição 3 com 15% de CCA com 17,34 MPa, e a composição 4 (20% CCA) com a menor média de resistência, 16,24 MPa.

Figura 14: Valores médios de resistência

Fonte: Londero (2017)

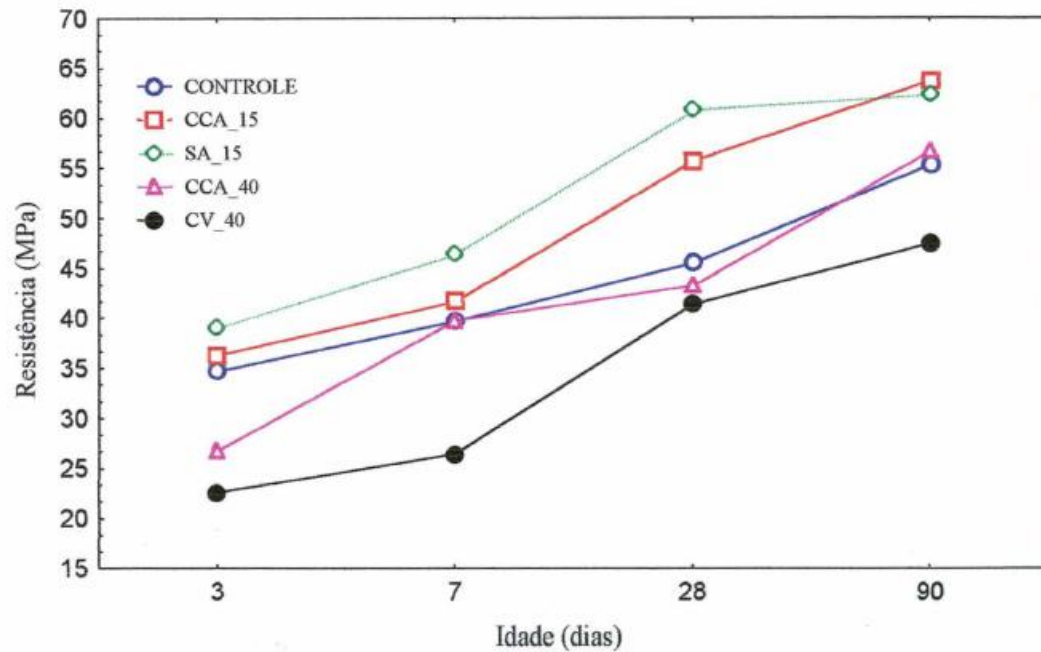
Londero (2017) analisou que, com o aumento de CCA na composição, ocorre um desenvolvimento mais tardio da resistência à compressão das misturas, à medida que cresce a fração de CCA nas primeiras idades (3 e 7 dias), valores significativamente inferiores quando comparados à mistura de referência. Já nas idades mais avançadas, a composição 2 com 20% de CCA exibiu o maior aumento de resistência, 52,3% entre os dias 7 e 28, principalmente se comparado à composição 1 (referência), no mesmo período.

Apesar do aumento de resistência da composição com 20% de CCA, a série referência ainda obteve resultados médios superiores às demais séries no ensaio de resistência à compressão, conforme discutido no trabalho por Londero (2017).

Para o autor, de maneira geral, foi possível verificar que a substituição do cimento Portland CP V pela CCA não apresentou incrementos relevantes nos valores de resistência à compressão, sendo que o ponto com acréscimo de CCA de maior proporção foi mostrado pela composição 4 com 20% de CCA aos 28 dias, com valor médio de resistência 11% menor em relação a composição de referência para a mesma idade.

Já o trabalho desenvolvido por Santos (1997) traz os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão realizados aos 3, 7, 28 e 90 dias, dos corpos de prova de concreto com teores de substituição de 15% e 40% para cinza da casca de arroz (CCA 15 e CCA 40), para relações água/cimento Portland de 0,4; 0,5 e 0,6. Na Figura 15, a evolução de resistência à compressão para as quatro idades, em cada uma das relações de substituição, para a relação água/cimento Portland de 0,4.

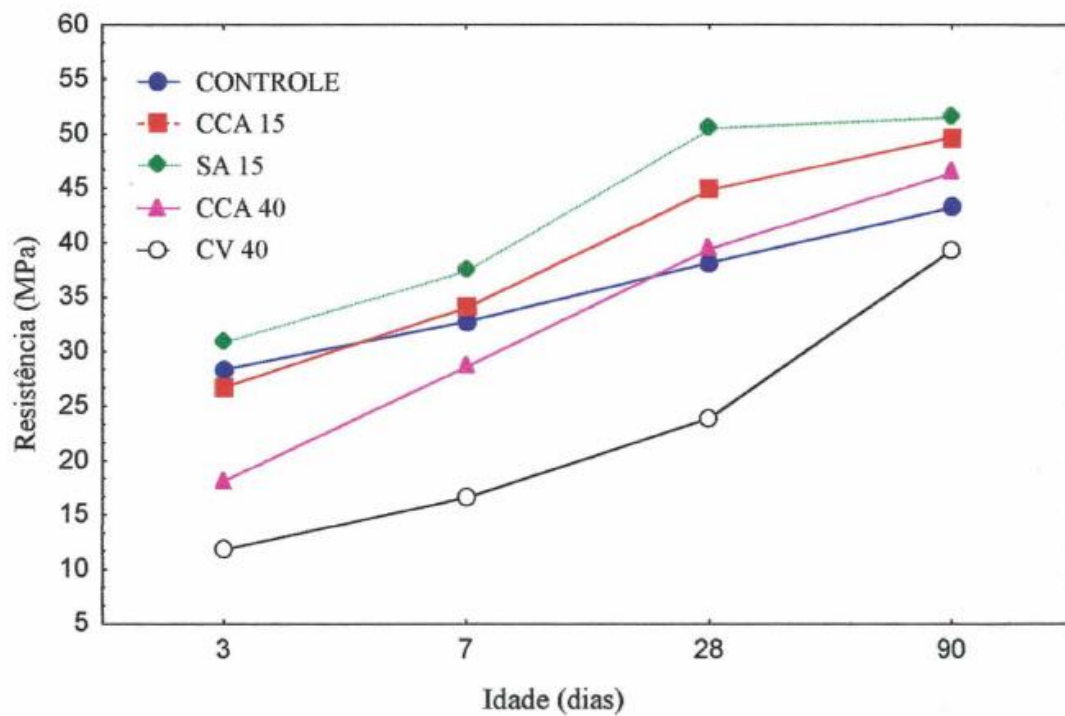
Figura 15: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,4)



Fonte: Santos (1997)

A evolução de resistência à compressão é apresentada no gráfico da Figura 16.

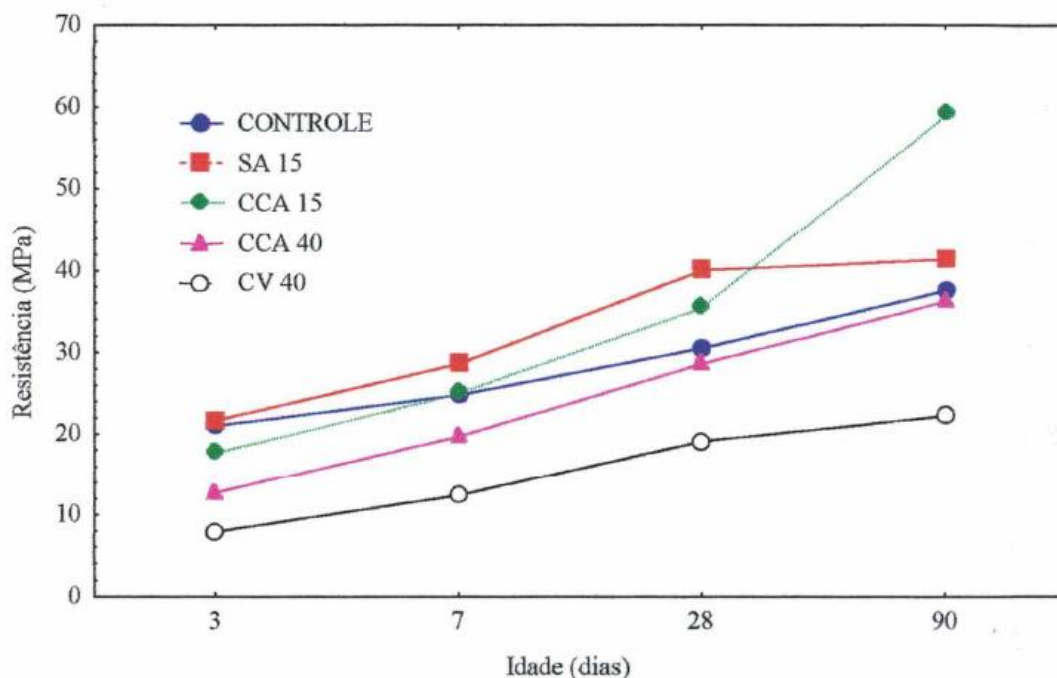
Figura 16: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,5)



Fonte: Santos (1997)

Concluindo as análises de resistência do trabalho desenvolvido por Santos (1997), os valores da resistência obtidos para a relação água/cimento Portland de 0,5 são apresentados na Figura 17.

Figura 17: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,6)



Fonte: Santos (1997)

Através da análise dos resultados, pode-se verificar que até os 28 dias, as resistências dos concretos contendo cinza de casca de arroz na quantidade de 15% foi superior que o controle, já o concreto contendo 40% de CCA mostrou-se inferior ao controle nas relações água/cimento Portland de 0,4 e 06, e na relação 0,5 superior somente após 28 dias. Na relação água/cimento Portland 0,6, aos 90 dias, o concreto contendo cinza de casca de arroz 15% é potencialmente mais resistente.

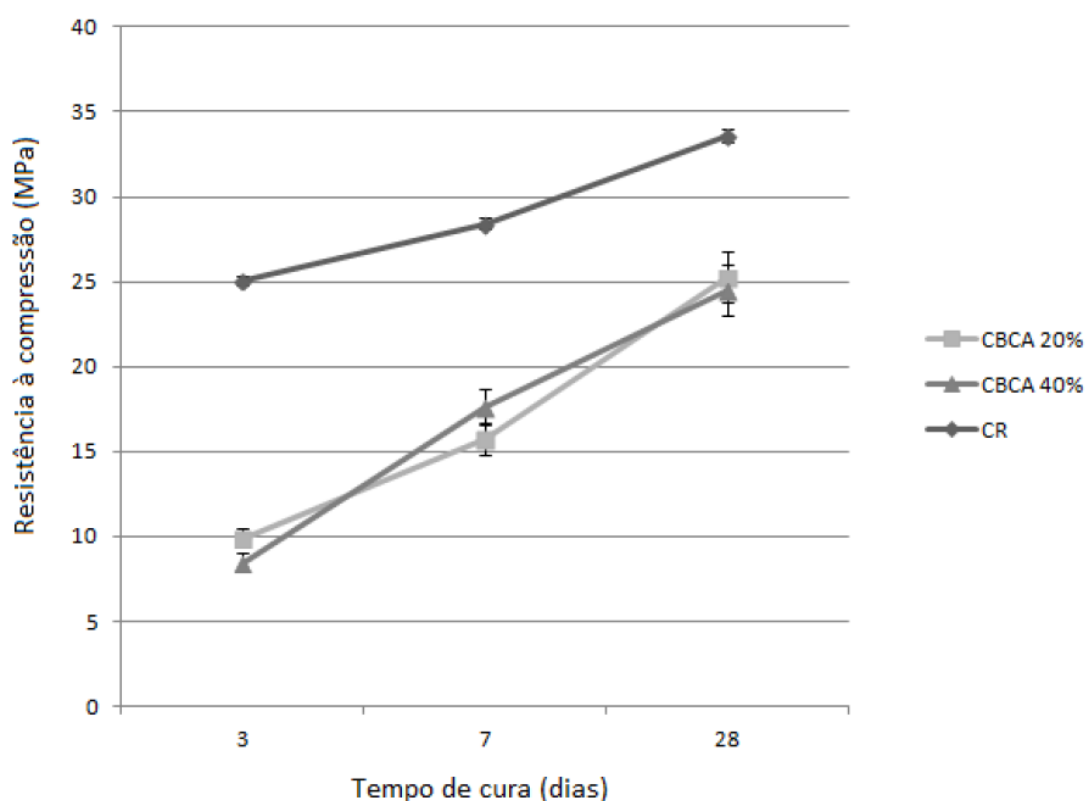
4.2. COMPARATIVO DE RESULTADOS

4.2.1. Resumo dos resultados sobre a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)

Nos gráficos de resistência obtidos pelos autores que utilizaram a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), pode-se analisar que:

a) Sessa (2013) analisou que as resistências com a adição de CBCA 20% e 40% foram inferiores ao concreto de referência, para os tempos de cura de 3, 7 e 28 (Figura 18). Um dos resultados apontado pelo autor é que a influência da CBCA na resistência do concreto não ocorre de maneira imediata, e se acentua ao longo do tempo.

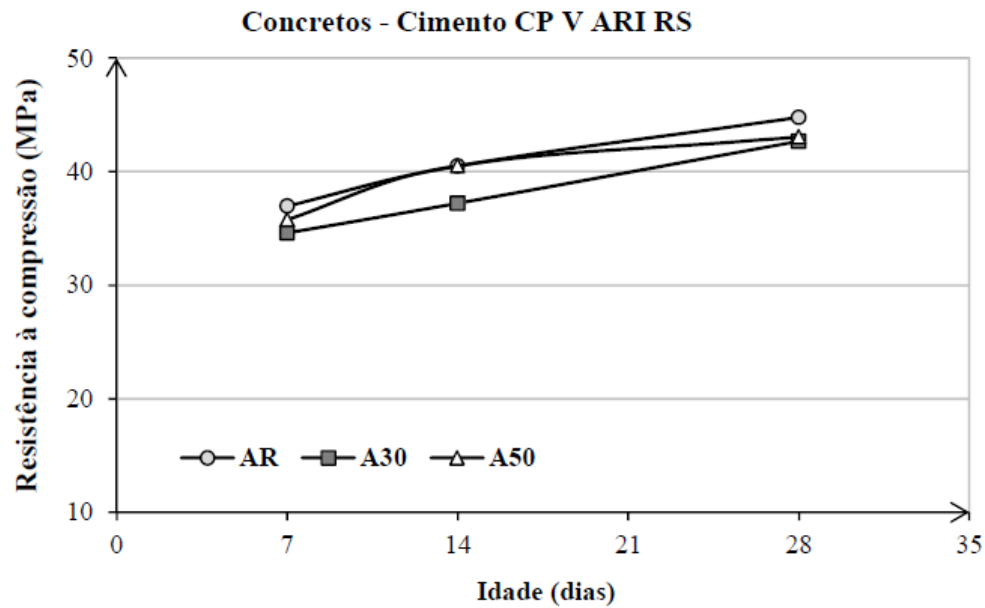
Figura 18: Evolução da resistência à compressão axial ao longo do tempo



Fonte: Sessa (2013)

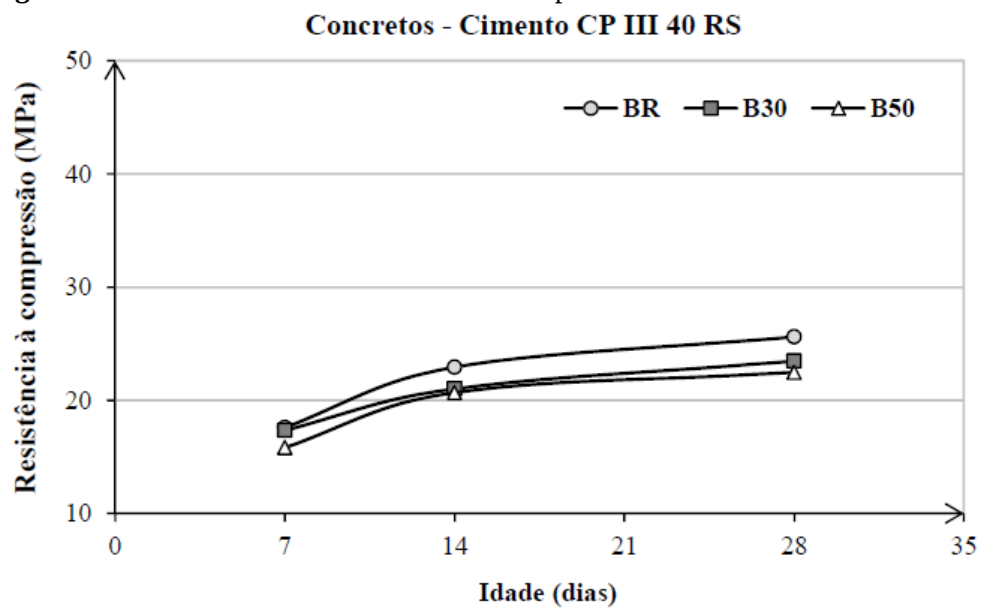
b) Bessa (2011) analisou que as resistências com a adição de CBCA 30% e 50% em três séries de concreto: A, B e C, e em três idades: 7, 14 e 21, conforme apresentado nos gráficos das Figuras 19, 20 e 21. Os valores obtidos foram inferiores ao concreto de referência para os concretos das séries A e B, considerando os três tempos de cura (7, 14 e 28 dias). Para os concretos da série C, no período de 7 dias, tanto 30% quanto 50% os valores de resistência foram inferiores ao concreto referência. Já nos ensaios de 14 e 28 dias, os valores foram superiores à referência, com destaque para o período de 28 dias, concluindo que para o concreto da série C a resistência se acentua ao longo do tempo.

Figura 19: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série A



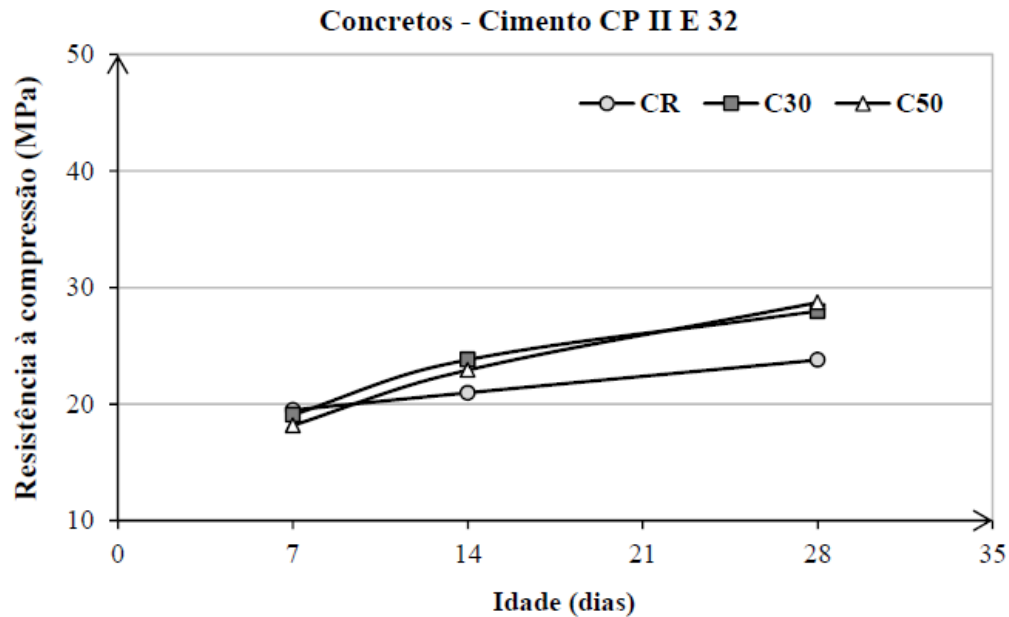
Fonte: Bessa (2011)

Figura 20: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série B



Fonte: Bessa (2011)

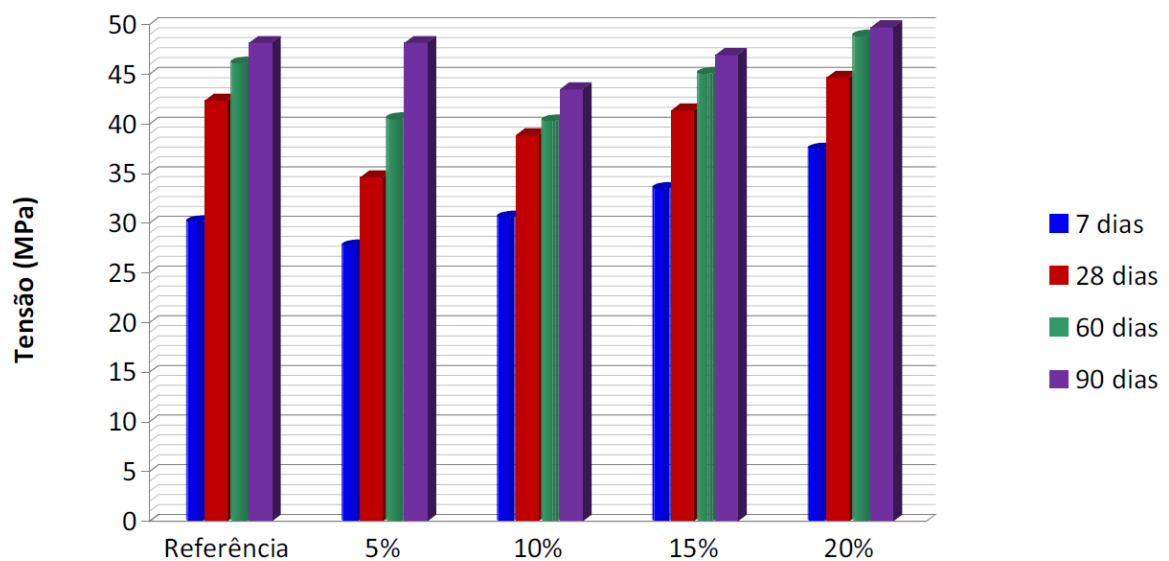
Figura 21: Valores médios de resistência à compressão dos concretos da série C



Fonte: Bessa (2011)

c) Fernandes (2014) verificou que os concretos com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar tiveram aumento da resistência, conforme se aumentou a porcentagem adicionada, o que pode ser visualizado no gráfico da Figura 22. A resistência também aumentou com o tempo, sendo que o concreto com 20% de adição foi o que obteve os melhores resultados de resistência em comparação aos outros traços e a referência.

Figura 22: Resistência à compressão de concretos com diferentes substituições de CBCA



Fonte: Fernandes (2014)

4.2.2. Considerações sobre a adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA)

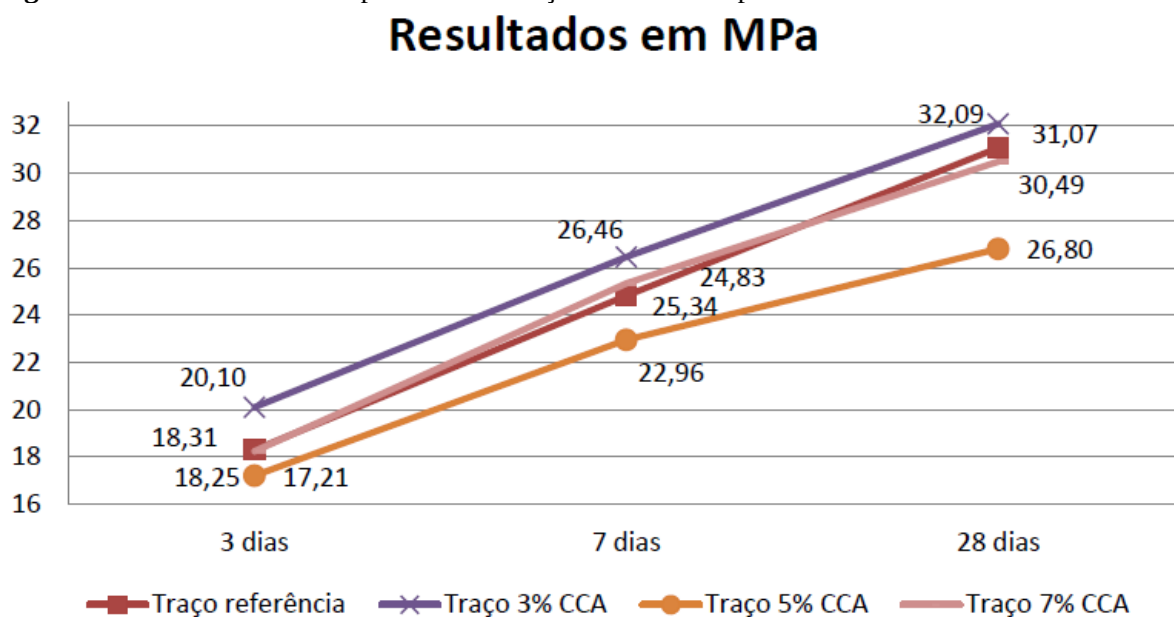
Dessa maneira pode-se observar que os três trabalhos avaliados apresentaram aumento da resistência do concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos períodos finais de verificação, principalmente após os 28 dias. E que a adição ou substituição em maior percentual também caracterizou um aumento na resistência dos concretos, onde maiores volumes incorporados apresentaram maiores resistências.

4.2.3. Resumo dos resultados sobre a adição da cinza da casca de arroz (CCA)

Nos gráficos de resistência obtidos pelos autores que utilizaram a cinza da casca de arroz (CCA), pode-se analisar que:

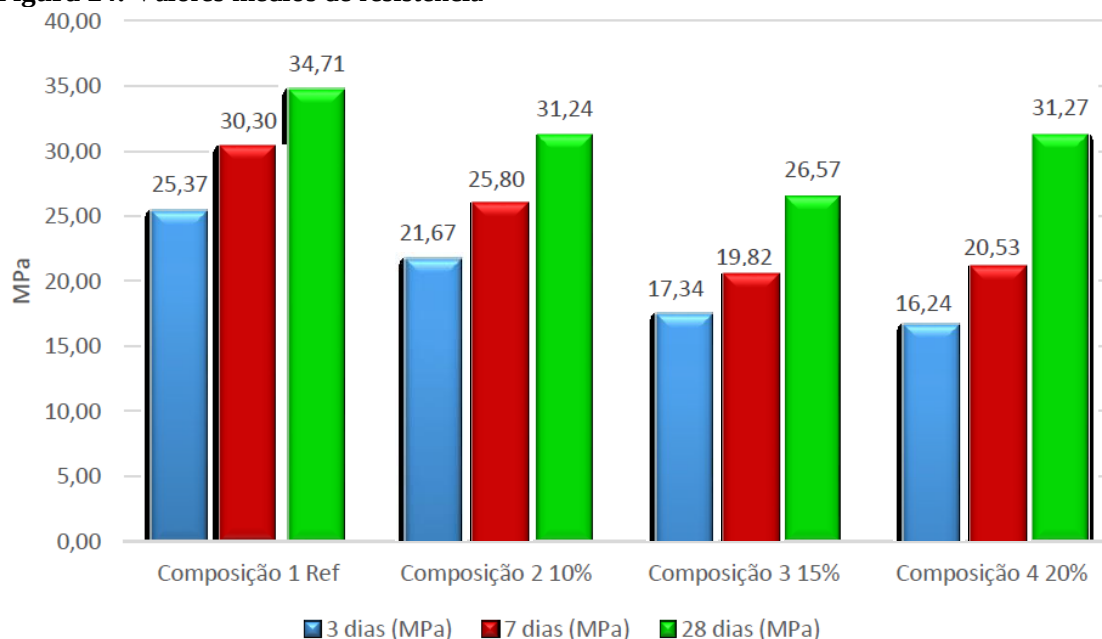
a) O trabalho desenvolvido por Ludwing (2014) apresentou ensaios com três traços diferentes, com 3%, 5% e 7% de CCA, mais o traço referência. Assim como considerou o rompimento em três períodos: 3 dias, 7 dias e 28 dias.

Na Figura 23 pode-se analisar que o traço 5% apresentou resistência inferior ao traço de referência. Já o traço de 7% demonstrou maior resistência do que a referência somente no período de 7 dias, decaindo a resistência na idade de 28 dias. O concreto com adição de 3% de CCA apresentou maior resistência nos três períodos (3, 7 e 28 dias) verificados, demonstrando-se superior ao concreto de referência.

Figura 23: Resistência do rompimento dos traços em todos os períodos de análise

Fonte: Ludwing (2014)

b) Na pesquisa realizada por Londero (2017), a resistência à compressão foi avaliada nas idades de 3, 7 e 28 dias. E foram utilizadas 5 amostras por composição em cada dia, totalizando 60 amostras de concretos com adição de cinza de casca de arroz. O gráfico com os resultados apresentado na Figura 24, demonstra que nos primeiros 3 dias, a composição do traço referência obteve melhor desempenho, bem como, no 7º e 28º dia. As composições de 10% CCA e 20% CCA, apresentaram valores semelhantes no ensaio em 28 dias, porém, inferiores ao traço de referência. Se analisadas as médias de resistência considerando os três períodos, a composição 10% CCA apresentou uma maior resistência média, em comparação com os dois outros traços, 15% e 20% CCA.

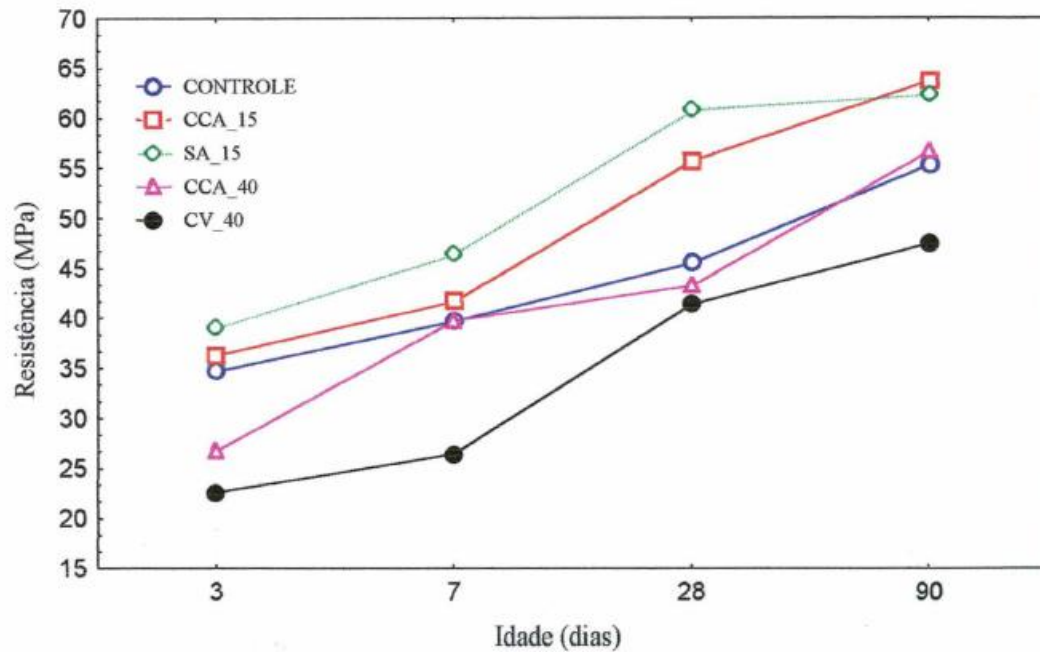
Figura 24: Valores médios de resistência

Fonte: Londero (2017)

c) Santos (1997) traz os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão realizados aos 3, 7, 28 e 90 dias, dos corpos de prova de concreto com teores de substituição de 15% e 40% para cinza da casca de arroz (CCA 15 e CCA 40), para relações água/cimento Portland de 0,4; 0,5 e 0,6.

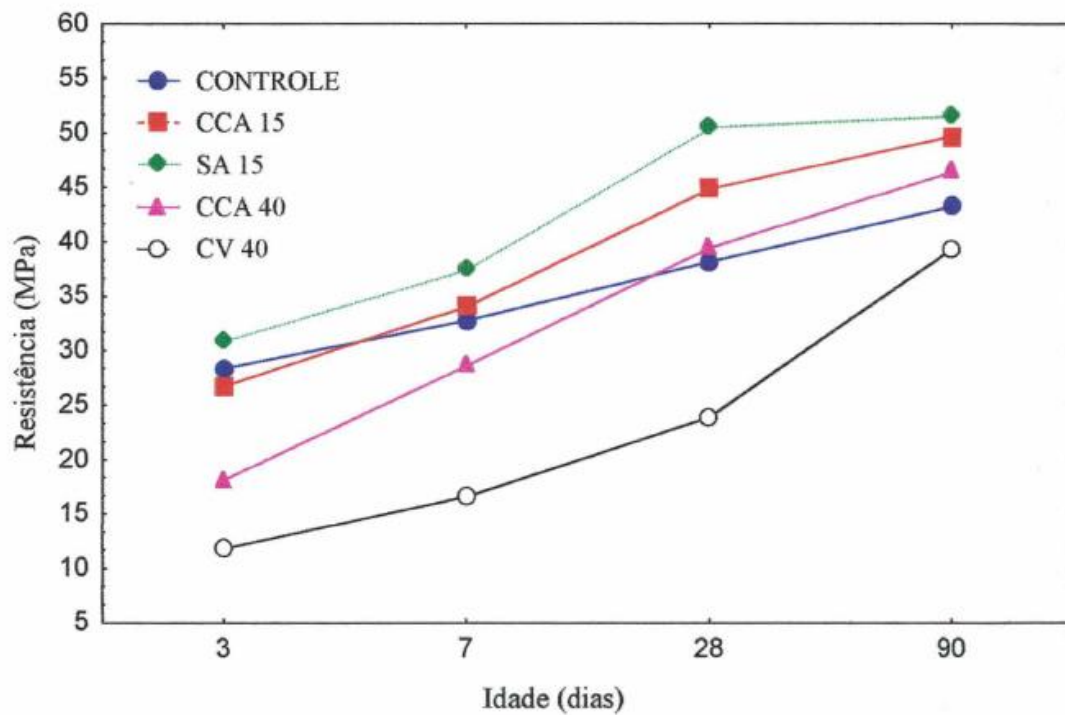
Através da análise dos resultados (Figuras 25, 26 e 27,), pode-se verificar que até os 28 dias, as resistências dos concretos contendo cinza de casca de arroz na quantidade de 15% foi superior que o controle, já o concreto contendo 40% de CCA mostrou-se inferior ao controle nas relações água/cimento Portland de 0,4 e 0,6, e na relação 0,5 superior somente após 28 dias. Na relação água/cimento Portland 0,6, aos 90 dias, o concreto contendo cinza de casca de arroz 15% é potencialmente mais resistente.

Figura 25: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,4)



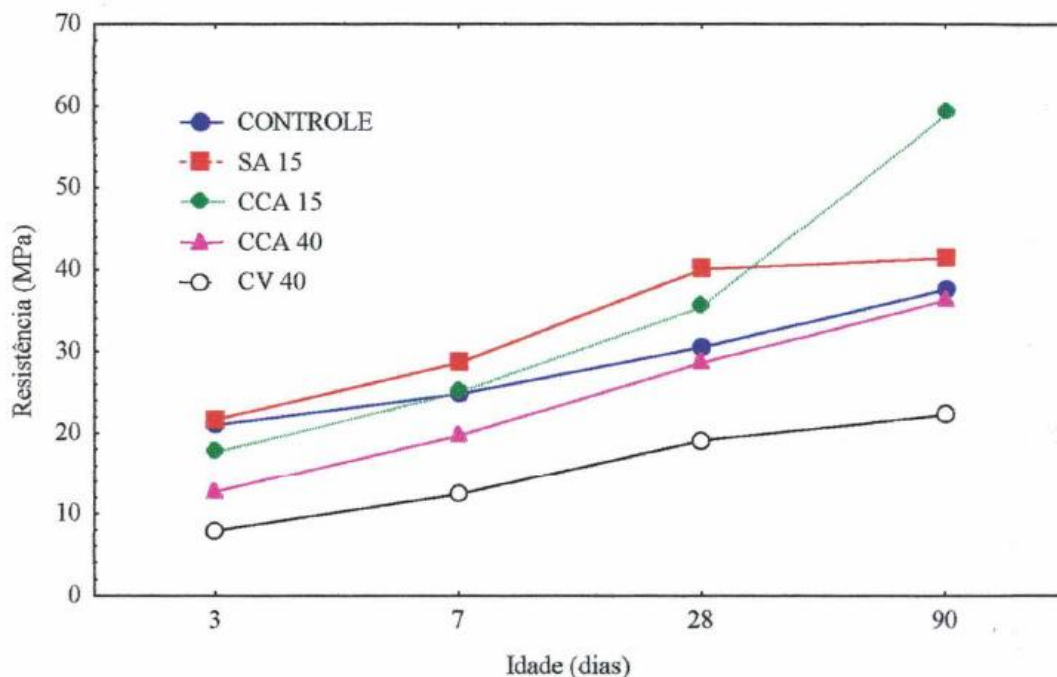
Fonte: Santos (1997)

Figura 26: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,5)



Fonte: Santos (1997)

Figura 27: Evolução de resistência dos concretos (água/cimento Portland de 0,6)



Fonte: Santos (1997)

4.2.4. Considerações sobre a adição da cinza da casca de arroz (CCA)

Nas três pesquisas realizadas com a utilização de cinza de casca de arroz, os resultados obtidos não se apresentaram coerentes entre si. Onde para Ludwing (2014), O concreto com adição de 3% de CCA apresentou maior resistência demonstrando-se superior ao concreto de referência. Já no trabalho realizado por Londero (2017) foi verificado que a substituição do cimento Portland CP V pela CCA não apresentou incrementos relevantes nos valores de resistência à compressão. E, na pesquisa de Santos (1997), a resistência do concreto contendo cinza de casca de arroz na quantidade de 15% foi superior que o controle, demonstrando-se na relação água/cimento Portland 0,6, aos 90 dias, potencialmente mais resistente.

5. CAPÍTULO 5

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento do concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e adição de cinza de casca de arroz (CCA) foi avaliado pelo ensaio de resistência à compressão, pelos autores estudados na pesquisa.

Com relação à adição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), pode-se concluir que os três trabalhos avaliados apresentaram aumento da resistência do concreto com adição nos períodos finais de verificação, principalmente após os 28 dias. E a adição ou substituição em maior percentual também caracterizou um aumento na resistência dos concretos, onde maiores volumes incorporados apresentaram maiores resistências.

As pesquisas referentes à adição da cinza de casca de arroz, também baseada em três estudos distintos apresentaram resultados que não são coerentes entre si. Para Ludwing (2014), a de 3% de CCA apresentou maior resistência demonstrando-se superior ao concreto de referência. Já Londero (2017) verificou que a substituição do cimento Portland CP V pela CCA não apresentou incrementos relevantes nos valores de resistência à compressão. E, Santos (1997), no ensaio de resistência do concreto contendo cinza de casca de arroz na quantidade de 15% foi superior que o controle, demonstrando-se na relação água/cimento Portland 0,6, aos 90 dias, potencialmente mais resistente.

Perante os resultados, pode-se concluir que diferentes considerações acerca da proporção de água e cimento, processo de moagem das cinzas, procedência, dentre outras características influenciaram nos estudos. Outro fator a ser considerado é a região de produção dos resíduos e da cinza, pois conforme a região de produção é alterada as características da matéria prima, no caso cana-de-açúcar e arroz.

Assim, um estudo laboratorial utilizando os dois materiais adicionados ao traço em diferentes proporções possibilita um melhor entendimento do comportamento das cinzas com relação ao comportamento mecânico de resistência do concreto.

6. CAPÍTULO 6

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo como objetivo exaltar a questão da sustentabilidade, as sugestões para trabalhos futuros estão relacionados com a substituição/adição parcial do concreto com fibras ou cinzas naturais, para realização de testes laboratoriais.

- Concreto com substituição parcial do cimento Portland por cinza da folha de bananeira;
- Concreto com adição parcial de fibras de Sisal;
- Concreto com adição parcial de fibra de Bambu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

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

_____. **NBR NBR 7211. Agregados para concreto: Especificação**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

_____. **NBR NBR 12653. Materiais pozolânicos — Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1992.

_____. **NBR NBR 12653. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão — Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1996.

_____. **NBR NN 33. Concreto – Amostragem de concreto fresco — Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 36. Concreto fresco – Separação de agregados grandes por peneiramento — Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 67. Ensaio de abatimento do concreto (Slump Test)**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1998.

BESSA, SOFIA ARAÚJO LIMA. **Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. 2011. Tese de doutorado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

CESNIK, R., MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. 1 ed. Brasília, 2004. Disponível em <<https://www.embrapa.br/>> acesso em: 13 abr. 2018.

CINCOTTO, M A.; KAUPATEZ R. M. **Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica**. São Paulo: PINI/IPT, 1988.

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

CORDEIRO, G. C. *et al.* **Ultrafine Grinding of Sugar Cane Bagasse Ash for Application as Pozzolanic Admixture in Concrete**. *Cement and Concrete Research*. Vol. 39, 2009.

CPT. **Construção civil, areia e casca de arroz no concreto**. Disponível em <<https://www.cpt.com.br/noticias/construcao-civil-areia-casca-de-arroz-concreto>> acesso em 13 abr. 2018.

DE LARRARD, F. (1999). **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach**. London. Disponível em <<http://www.sci epub.com/reference/12752>> acesso em 13 abr. 2018.

FERNANDES, SÉRGIO EDUARDO. **Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. 2014. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Londrina, apresentado na cidade de Ilha Solteira – SP.

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

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. **Evaluation of Bagasse Ash as a Supplementary Cementitious Material**. *Cement and Concrete Composites*, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3º ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GROENWOLD, J. A. **Investigação da atividade pozolânica do bagaço de cana-de-açúcar**. 2010. Relatório de pesquisa de iniciação científica – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

HELENE, P.R.L. e TERZIAN, P. 1992. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo – SP. Ed. Pini.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/>> acesso em 13 abr. 2018.

ISAIA, G. C. *et al.* **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. Capítulo 12 – Microestrutura dos polímeros. Vol 1. 2º Edição atualizada e ampliada. IBRACON. São Paulo – SP, 2010.

LIMA, S. A. **Análise da viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias**: Estudo de caso da cinza da casca da castanha de caju. 2008. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

LONDERO, CHARLES. **Trabalho de conclusão de curso de graduação em engenharia de energia**. 2017. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá – SC.

LUDWIG, DOUGLAS GIONGO. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. 2014. Trabalho de conclusão de curso - Centro Universitário Univantes, Lajeado – RS.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP.

MACHADO, F. B. P. (2003). **Brasil, a doce terra - História do Setor**. Disponível em <<http://www.procana.com.br>> acesso em 13 abr. 2018.

MEDEIROS, M. H. F. **Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como adição para concreto: efeito pozolânico ou efeito filer?** 2008. Projeto de pesquisa – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. **Concreto**: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Pini, 2008.

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

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do Concreto**. 2º ed. Porto Alegre - RS, 2013.

PAULA, O. M. **Potencial da cinza do bagaço da cana de açúcar como material de substituição parcial ao cimento Portland**. 2009. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

PETRUCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13º ed. São Paulo, 1998.

PINI. **Tecnologia dos Materiais**. Disponível em <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais>> acesso em 13 abr. 2018.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas á produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

REVISTA NOVA FAMÍLIA. **Brasil será primeiro país do mundo a produzir de cana-de-açúcar transgênica**. Disponível em <<http://revistanovafamilia.com.br/meio-ambiente/cana-de-acucar-modificada>> acesso em 13 abr. 2018.

SALES, A. *et al.* **Argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland: influência do tipo de queima do bagaço**. Trabalho CB0145. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 2010.

SANTOS, SÍLVIA. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz resíduas em argamassas e concretos**. 1997. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

SESSA, THIAGO DA C. **Avaliação da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em concreto usando construções residenciais de menor impacto**. 2013. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2013.

SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended portland cement. *Cement and Concrete Research*. Vol. 30, 2000.

SNELLINGS R; MERTENS,G; ELSEEN, J. **Calorimetric Evolution of the Early Pozzolanic Reaction of Natural Zeolites**. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetric*. Vol. 101, 2010.

SNIC. **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**. Disponível em <<http://snic.org.br/>> acesso em 13 abr. 2018.

TAPAJÓS, L. S. *et al.* **A influência da cinza do caroço de açaí em propriedades mecânicas e absorção de água de concretos**. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. Belém – Pará, 2014.

U AGRO. **Pesquisa e tecnologia**. Disponível em <<http://www.uagro.com.br/editorias/pesquisa-e-tecnologia/divulgacao-cientifica>> acesso em 13 abr. 2018.

VASKE, N. R. **Estudo Preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira Fumotubular como adição ao concreto**. 2012. Tese de Doutorado - UFRGS, Porto Alegre - RS.