



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DYOVANA PEREIRA LÔBO
THAISE RIBEIRO DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELA CINZA DO
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

PUBLICAÇÃO Nº: 08

**GOIANÉSIA / GO
2021**



**DYOVANA PEREIRA LÔBO
THAISE RIBEIRO DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELA CINZA DO
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

PUBLICAÇÃO Nº: 08

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: Me. VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

GOIANÉSIA / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

LÔBO, DYOVANA PEREIRA. SILVA, THAISE RIBEIRO DA.

Análise do Concreto com Substituição Parcial do Agregado Miúdo Natural pela Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar [Goiás] 2021 xi, 48P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Areia

2. CBC

3. Propriedades mecânicas

4. Reaproveitamento

I. ENC/FACEG

II. Análise do Concreto com Substituição Parcial

do Agregado Miúdo Natural pela Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LÔBO, D. P.; SILVA, T. R. Análise do Concreto com Substituição Parcial do Agregado Miúdo Natural pela Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar. TCC, Publicação 08 2021/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 48p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS


NOME DOS AUTORES: Dyovana Pereira Lôbo, Thaise Ribeiro da Silva

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise do Concreto com Substituição Parcial do Agregado Miúdo Natural pela Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

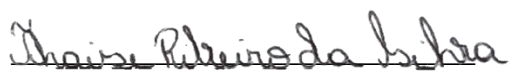
É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Dyovana Pereira Lôbo

Rua Machadinho, Qd. 1, Lt. 7, Evereste

CEP 76420-000 – Niquelândia/GO – Brasil



Thaise Ribeiro da Silva

Rua do Ipê, Qd. 3, Lt. 8, Pq. das Palmeiras

CEP 76386-155 – Goianésia/GO – Brasil

**DYOVANA PEREIRA LÔBO
THAISE RIBEIRO DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO NATURAL PELA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**


APROVADO POR:



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia -
FACEG)
(ORIENTADOR)**



**ROBSON DE OLIVEIRA FELIX, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LUANA DE LIMA LOPES, Mestre (Universidade Federal de Uberlândia - UFU)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 24 de NOVEMBRO de 2021.

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, Candido e Ivonete;
ao meu irmão, Carlos Henrique e
à minha avó Carmélia (in memoriam).*

Dyovana Pereira Lôbo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me permitido chegar até aqui, me guiando para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso, pois sem Ele eu não conseguiria. Aos meus pais Candido e Ivonete por terem apostado em mim e por sempre me apoiarem e incentivarem a cada momento. Ao meu irmão Carlos Henrique, por sempre acreditar no meu potencial. Ao meu namorado Emanuel, pelo companheirismo e compreensão nos momentos de ausência dedicados aos estudos.

Agradeço também à Thaise minha amiga e companheira de TCC, pelo empenho e disposição que teve em nosso projeto. Ao nosso orientador Me. Vilson Dalla por todo auxílio necessário para elaboração deste trabalho. Aos professores do curso de Engenharia Civil pelo aprendizado nos dado no decorrer do curso, em especial à professora Ma. Luana pela orientação mesmo que por pouco tempo, mas nos deu muito incentivo. E aos colegas de sala, meu muito obrigado pela ajuda nos momentos de dificuldade.

Dyovana Pereira Lôbo

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, Felícia e Janildo;
às minhas irmãs, Emily e Lenise e
aos meus avós João e Luzia,
Eurípedes e Hilda (in memoriam).*

Thaise Ribeiro da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para concluir este curso, por ser meu guia nos momentos mais difíceis e nas várias noites de estudos pelas madrugadas, por sempre ter me dado graça para enfrentar todos os obstáculos que apareceram durante esta caminhada. Agradeço também aos meus queridos e amados pais Felícia e Janildo por todo amor, carinho, dedicação, compreensão nos momentos aos quais tive que me ausentar devido a dedicação ao curso, por não medirem esforços para que eu pudesse realizar meu sonho e que sempre foram pra mim, minha base, meus exemplos de fé, amor e honestidade. As minhas irmãs Emily e Lenise, obrigada por cada palavra de incentivo e orações. Ao meu namorado Matheus, por me apoiar e incentivar nos momentos em que pensei em desistir.

A minha amiga e parceira de TCC Dyovana pelo empenho e dedicação com o nosso trabalho, a minha amiga Raissa por sempre me ajudar e apoiar nas horas difíceis, agradeço a Deus pela amizade de vocês. Agradeço ao nosso orientador Me. Vilson Dalla por todo empenho, paciência e dedicação. Aos demais professores, foram de grande importância em minha formação, meu agradecimento em especial à professora Ma. Luana que nos orientou no início. Aos colegas que fiz durante o curso de Engenharia Civil, levarei para o resto de minha vida grandes amigos, muito obrigada.

Thaise Ribeiro da Silva

“Deus transforma choro em sorriso, dor em força, fraqueza em fé e sonhos em realidade.”
Is. 61, 3

RESUMO

Com a tentativa de diminuição do impacto ambiental e melhor reaproveitamento de resíduos sólidos, as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, que é conhecida como CBC, têm sido utilizadas como substituto do agregado miúdo natural (areia) na produção do concreto e têm apresentado resultados satisfatórios em relação à resistência mecânica final do mesmo. Considerando este cenário, o objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural do concreto pela CBC, avaliando sua trabalhabilidade e as propriedades mecânicas. Inicialmente, foi determinado as propriedades físicas da CBC por meio de análise granulométrica. Posteriormente foram fabricados 5 traços com substituição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% da areia pelas cinzas, sendo as substituições em relação ao volume do agregado miúdo natural. Foram avaliadas inicialmente as propriedades de trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Em seguida avaliou-se as propriedades mecânicas dos traços por meio do ensaio de resistência à compressão axial, onde os corpos de provas foram rompidos em 7 e 28 dias de idade. Também foi realizado o ensaio da absorção total de água visando analisar a quantidade de água que o concreto absorveu. A partir da realização do estudo observou-se que tanto a trabalhabilidade quanto a resistência à compressão do concreto foi diminuindo conforme ocorreu as substituições da areia pela CBC. Apesar disso, a análise pelo teste de Dunnett indicou que apenas o traço C5 na idade de 7 dias foi estatisticamente semelhante com o traço de referência. Na idade de 28 dias, todos os traços com CBC obtiveram resistências inferiores ao traço que continha apenas areia, porém as substituições de 5 % e 10% foram próximos ao traço referência. Em relação ao ensaio de absorção de água, os corpos de prova com maiores teores de CBC absorveram mais água, principalmente devido às fibras do bagaço não queimado serem um material hidrofílico. De modo geral, a CBC pode ser usada como agregado miúdo, porém em pequenas quantidades, uma vez que ela pode trazer uma redução de custos e impactos ambientais.

Palavras-chave: Areia; CBC; Propriedades mecânicas; Reaproveitamento.

ABSTRACT

The need to reduce the environmental impact and better reuse solid waste, sugarcane bagasse ash, which is known as CBC, has been used as a substitute for fine natural aggregate (sand) in the production of concrete and has presented satisfactory results in relation to its final mechanical strength. Considering this scenario, the objective of this work was to analyze the effect of partial replacement of concrete fine natural aggregate by CBC, evaluating its workability and mechanical properties. Initially, the physical properties of CBC were determined by the particle size analysis. Subsequently, 5 traces were manufactured with replacement of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the sand by ash, the replacements occurs in relation to the volume of fine natural aggregate. Initially, the workability properties of the concrete in the fresh state were evaluated. Then, the mechanical properties of the mixes were evaluated through the axial compressive strength test, where the specimens were broken at 7 and 28 days of age. The total water absorption test was also carried out in order to analyze the amount of water that the concrete absorbed. After the tests, it was observed that both the workability and the compressive strength of the concrete decreased as the sand was replaced by CBC. Despite this, the analysis using the Dunnett test indicated that only the C5 trace at the age of 7 days was statistically similar with the reference trace. At the age of 28 days, all the mixes with CBC had lower strength than the mix that contained only sand, but the substitutions of 5% and 10% were close to the reference mix. Regarding the water absorption test, the specimens with higher CBC contents absorbed more water, mainly due to the unburnt bagasse fibers being a hydrophilic material. In general, CBC can be used as a fine aggregate, but in small quantities, as it can reduce costs and environmental impacts.

Keywords: Sand; CBC; Mechanical properties; Reuse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bagaço da cana-de-açúcar.....	6
Figura 2 – Aspecto da CBC não moída (a) e após a moagem (b).	7
Figura 3 – Areia média e brita 0.....	12
Figura 4 – Aspecto da CBC não peneirada (a) e após peneirada (b).....	13
Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco cone.	15
Figura 6 – Corpos de prova moldados.....	16
Figura 7 – Corpos de prova submersos.	16
Figura 8 – Curva granulométrica da CBC <i>in natura</i> , CBC peneirada e areia média.	19
Figura 9 – Gráfico de ensaio de abatimento do tronco cone.	21
Figura 10 – Resistência a compressão simples dos traços estudados nas idades de 7 dias (a) e 28 dias (b).	23
Figura 11 – Absorção de água em 7 dias (a) e 28 dias (b)	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de material utilizado no traço	14
Tabela 2 – Quantidade de agregado miúdo por metro cúbico (m ³) de concreto.	15
Tabela 3 – Resultado do ensaio de abatimento do tronco cone	20
Tabela 4 – Resultado do teste de Dunnett para a idade de 7 dias	22
Tabela 5 – Resultado do teste de Dunnett para a idade de 28 dias	22
Tabela 6 – Resultado das resistências à compressão axial aos 7 e 28 dias.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBC – Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

NBR – Norma Brasileira

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

SANEAGO – Saneamento de Goiás

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Absorção da água (%);

m_{sat} – Massa da amostra saturada (g);

m_s – Massa da amostra seca (g);

f_c – Resistência à compressão (MPa);

F – Força máxima (N);

D – Diâmetro do corpo de prova (mm).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	4
2.2 CANA-DE-AÇÚCAR	5
2.2.1 Bagaço de Cana-de-açúcar	6
2.2.2 Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC)	6
2.3 CONCRETO	8
2.3.1 Cimento Portland	8
2.3.2 Agregado	8
2.3.2.1 Agregado Miúdo	9
2.3.2.2 Agregado Graúdo	9
2.3.3 Adições	9
2.3.4 Aditivos	10
2.3.5 Água	10
2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 MATERIAL	12
3.1.1 Agregados	12
3.1.2 Água	12
3.1.3 Cimento Portland	13
3.1.4 Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar	13
3.2 DOSAGEM DO CONCRETO	14
3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	17
3.4 AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO TOTAL DE ÁGUA	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CBC E DA AREIA	19
4.2 AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE	20

4.3 RESISTÊNCIA DO CONCRETO	21
4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO	24
5 CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem um papel importante no desenvolvimento da economia do país. Neste setor, o concreto é o composto mais utilizado, sendo constituído por materiais que são provenientes de fonte esgotável, gerando assim impacto ambiental. Portanto, para minimizar esses impactos faz-se necessário a utilização de matérias-primas sustentáveis nas quais possuam a mesma eficiência ou propriedades semelhantes (MACIEL *et al.*, 2020).

O concreto é um material compósito, constituído por cimento (que é um aglomerante), água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), no entanto, também pode conter adições (sílica ativa) e aditivos (AMARAL; LAGES, 2019). Esses aditivos servem para alterar as propriedades do concreto, intensificando sua eficiência, tendo como objetivos principais aumentar a resistência aos esforços mecânicos, a durabilidade, tem função impermeabilizante e pode retardar ou acelerar a pega (BARBOSA, 2018).

É notório que atualmente temas relacionados à sustentabilidade na construção civil vem recebendo bastante atenção com o intuito principal de diminuir o impacto ambiental e ao mesmo tempo a tentativa de reduzir custos (AMARAL; LAGES, 2019). Um dos meios adotados é o melhor reaproveitamento de materiais, o qual pode ser feito através da utilização de novas tecnologias para a reutilização e reciclagem de materiais e resíduos, neste contexto um material que têm ganhado destaque é a cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar foi introduzida na cultura brasileira desde o início do século XVI, foi trazida para o Brasil pelos portugueses, desde então esta cultura vem crescendo cada dia mais. Hoje o Brasil é o maior produtor do mundo, está em primeiro lugar na produção de álcool e açúcar, e a cada dia conquista mais o mercado internacional, no que se refere a utilização do biocombustível como possibilidade energética (MOURA; LANDAU, 2020).

O bagaço da cana-de-açúcar, que anteriormente já foi algo descartável, hoje tem inúmeras finalidades. As cinzas são derivadas da queima do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia em usinas de açúcar e álcool. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) são materiais com grande capacidade de utilização no concreto. Estudos mostram que ao serem aplicadas na mistura do concreto, apresentam resultados satisfatórios no acréscimo da resistência mecânica final do material (MACIEL *et al.*, 2020).

Além disso, a CBC tem em sua composição química a sílica, na qual dependendo das suas características, pode proporcionar atividade pozolânica, e conseqüentemente melhorar as

propriedades do cimento, diminuindo a permeabilidade e aumentando a durabilidade do concreto (GAMA *et al.*, 2018).

É evidente que a CBC possui suas potencialidades quando diz respeito a sua adição na produção do concreto, podendo substituir parte do cimento Portland ou até mesmo parte dos agregados (SAMPAIO *et al.*, 2014). A análise de viabilidade da utilização deste material pode ser realizada por meio de estudos aprofundados acerca da resistência do concreto com a adição da CBC como agregado miúdo. Vale lembrar que a substituição desses materiais, pode trazer também benefícios sociais em relação ao descarte de resíduos no meio ambiente, podendo assim alavancar em demais pesquisas relacionadas às suas potencialidades.

Mediante aos fatos mencionados, o estudo de viabilidade da adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, na composição do concreto, pode auxiliar no ganho de resistência à compressão e diminuição do consumo de alguns materiais naturais tais como a areia no decorrer de seu preparo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil é um dos setores que mais faz o uso de matérias-primas não renováveis, e ao mesmo tempo um dos que mais produzem resíduos sólidos, logo, tem uma grande contribuição para o agravamento do impacto ambiental. Em virtude disso, medidas sustentáveis são necessárias, para que demais resíduos também não contribuam com esse impacto, medidas nas quais atuarão como preservação ambiental (BARBOSA, 2018).

O bagaço de cana-de-açúcar vem sendo analisado há alguns anos como um resíduo de grande relevância para o meio ambiente e para construção civil. Isso porque além de ser utilizado na indústria sucroalcooleira, para geração de sua energia, os resíduos que sobram da queima, suas cinzas, que seriam descartados como adubo das próprias plantações de cana-de-açúcar – pobre de nutrientes para o solo – tem um grande potencial para ser utilizada na produção do concreto (GUIRALDELI, 2017).

Desse modo, pensando na redução de custos na construção civil e principalmente na preservação do meio ambiente, é fundamental conhecer as propriedades da CBC, pois devido a sua granulometria, ela pode ser utilizada como agregado miúdo na produção do concreto, logo, foi proposto um estudo para análise da resistência à compressão do mesmo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo analisar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural do concreto pelas cinzas do bagaço da cana-de açúcar, avaliando sua trabalhabilidade e propriedades mecânicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades físicas da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC);
- Fabricar traços de concreto utilizando diferentes proporções de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do agregado miúdo;
- Estudar a resistência à compressão do concreto com adição da CBC em diferentes proporções, em relação ao concreto convencional.
- Verificar a viabilidade de utilização da CBC como substituto parcial do agregado miúdo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos da seguinte forma: No capítulo 1 é apresentado a introdução sobre o tema, justificativa para elaboração do trabalho assim como seu objetivo geral e objetivos específicos. O capítulo 2 aborda a revisão bibliográfica, com assuntos relacionados a sustentabilidade na construção civil, concreto de cimento Portland e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. No capítulo 3 encontra-se a metodologia do trabalho, onde mostra os materiais, as etapas e os métodos experimentais que foram utilizados para a obtenção dos resultados. O capítulo 4 apresenta e discute sobre os resultados obtidos ao longo da fabricação e análise de propriedades dos traços estudados. E por fim, no capítulo 5 apresenta a conclusão sobre o presente trabalho colocando em evidência os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o passar dos anos, o meio ambiente vem sofrendo cada vez mais agressões por parte do ser humano por causa do processo de desenvolvimento pelo qual a sociedade vem passando, ficando evidenciado o descaso da sociedade pelo ambiente no qual vivemos. O uso em excesso dos recursos naturais e a poluição, é uma das maneiras mais comuns de agressão ao meio ambiente que a sociedade tende a praticar (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Nos dias atuais, o assunto sustentabilidade vem sendo discutido cada vez mais. É discutido de forma vasta, e vem abrangendo as estratégias e ações desenvolvidas no nível das nações, até mesmo ações especificamente relacionadas à responsabilidade social e ambiental no contexto empresarial. Gradativamente as empresas estão pensando sobre as possibilidades de implementação de estratégias que visam a sustentabilidade, porém, neste processo é possível perceber diferentes opiniões e perspectivas sobre as maneiras de agir com as questões relacionadas a esse tema (FROEHLICH, 2014).

A sustentabilidade é baseada na ideia de utilizar os recursos ambientais e socioeconômicos de uma forma mais adequada, assim, permitindo que as próximas gerações possam desfrutar destes recursos, antes que eles se esgotem, em um curto prazo pela geração atual. O conceito foi eternizado pela Comissão Brundtland, no ano de 1987, desde então tem sido a definição usualmente aceita de desenvolvimento sustentável (MARCHAND; LETOURNEAU, 2014).

Esse assunto é crucial na sociedade a qual vivemos, porém tem sido uma preocupação da humanidade há algum tempo. Desde os anos 70, quando aconteceu a crise do petróleo, muitos países começaram a buscar novas formas para a produção da energia, fazendo assim convenções internacionais, estas convenções vêm sendo realizadas até os dias atuais. Nos encontros são fixados objetivos, ações e programações a serem cumpridas, favorecendo a recuperação e a proteção dos recursos ambientais (TEODORO, 2011).

Dada a importância em adotar práticas sustentáveis, seja pela sociedade ou pela indústria, faz-se necessário identificar os responsáveis pela intensificação dos impactos ambientais para que sejam tomadas as devidas providências. Com isso, um setor que requer um olhar mais cauteloso é o da construção civil, que com o passar dos dias, vem contribuindo cada

vez mais com os problemas ambientais, gerando um grande volume de resíduos e os descartando de forma indevida (RIBEIRO *et al.*, 2016).

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais. Com o passar dos anos foi constatado o risco do esgotamento destes recursos, com isso surgiu a necessidade de encontrar novos materiais e novas técnicas que pudessem ser utilizados na construção civil. O setor, apesar de sua imensa contribuição para o bem-estar da sociedade, é responsável por uma grande quota da poluição do planeta, devido o descarte em lugares inapropriados. Dessa maneira, procura-se desenvolver construções com responsabilidade, com uma visão de futuro e não só de presente (TEODORO, 2011).

Fica evidente a necessidade de buscar formas de reaproveitar os resíduos que são gerados pelo setor da construção civil, com o propósito de diminuir a retirada em excesso dos recursos naturais e também de evitar o descarte sem necessidade dos materiais. Estes rejeitos que são descartados de forma incorreta dificultam o seu reaproveitamento, o que pode acarretar riscos à saúde do ser humano e ao meio ambiente (RIBEIRO *et al.*, 2016). Por meio de um cenário sustentável, o setor da construção civil tem buscado investir cada dia mais na reutilização de materiais que seriam desprezados (BARBOSA *et al.*, 2018).

2.2 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar vem sendo cultivada no Brasil há quase cinco séculos, desde então, começou um dos mais bem sucedidos negócios da agricultura brasileira, desde que foi introduzida em nosso país, seu cultivo aumentou consideravelmente, e hoje o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. Um dos fatores que mais impulsionou o crescimento da plantação foi a crise do petróleo em 1970, onde o governo começou a investir no álcool como combustível, um dos produtos gerados a partir dessa matéria-prima (CARVALHO *et al.*, 2013).

A cana é uma das grandes possibilidades para o setor de biocombustíveis por causa do seu grande potencial na produção de etanol e seus subprodutos. A agroindústria sucroalcooleira brasileira, diferente do que ocorre nos outros países, opera um cenário positivo e sustentável. O setor industrial brasileiro produz o etanol ecologicamente correto, ou seja, sua produção não afeta a camada de ozônio e é obtido por meio de fonte renovável (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar tem sua maior produção nas regiões Sul, Sudeste, Centro Oeste e Nordeste. Seus derivados fazem parte da história e desenvolvimento do Brasil, é de suma

importância para o desenvolvimento da economia, com destaque na produção de açúcar e álcool (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

2.2.1 Bagaço de Cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar vem sendo gerado cada dia mais em maiores escalas devido ao grande aumento da plantação e industrialização, decorrentes principalmente de investimentos na produção alcooleira. O bagaço é um subproduto que pode ser reaproveitado, enriquecendo ainda mais a economia brasileira, em distintas áreas, desde a produção de biocombustíveis até o setor da construção civil (VENCESLAU, 2018).

O bagaço é considerado o maior resíduo da agricultura brasileira. Ele é gerado durante o processamento da cana-de-açúcar para extrair o caldo, representa 26 a 33% da massa da cana que foi processada. Estima-se que no país, aproximadamente 12 milhões de toneladas de bagaço são gerados por ano, que representa 280 kg por cada tonelada de cana moída (CONAB, 2017). Na Figura 1 é possível ver o bagaço da cana-de-açúcar.

Figura 1 – Bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: Canaonline, 2017.

2.2.2 Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC)

Na indústria sucroalcooleira, durante muito tempo, tinha-se o desafio quando se referia ao descarte do bagaço que era gerado no processo de industrialização da cana-de-açúcar. Este processo gerava grandes problemas quando eram descartados no meio ambiente em lugares inapropriados. No entanto, tornou-se uma vantagem econômica utilizar este resíduo, pois é um subproduto reaproveitável (FERNANDES, 2014).

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é formada predominantemente por dióxido de silício, dependendo da forma que foi realizada a queima e de sua granulometria, apresenta características químicas e físicas que podem oferecer ao material atividade pozolânica e efeito fíler. A reatividade entre a sílica e os produtos de hidratação pode ocasionar melhorias no que diz respeito às propriedades físicas e mecânicas dos materiais à base de cimento com incorporação desse resíduo. Devido a essas características, a CBC pode ser usada como matéria-prima na substituição parcial do cimento Portland para produção de misturas compostas com cimento (GAMA *et al.*, 2018).

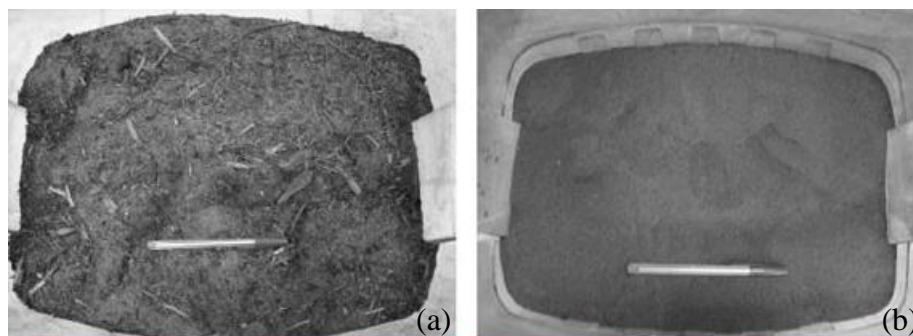
A queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras gera em média 23,8 kg de cinza para cada tonelada de bagaço. Por suas características, a CBC apresenta possibilidade real de ser utilizada como substituto da areia em produtos de natureza cimentícia, com fins de produzir materiais de construção (LIMA *et al.*, 2011).

O cimento e a areia que são alguns dos materiais mais utilizados no setor da construção civil, são retirados do solo pelo processo de mineração, o que acarreta impactos ambientais. A melhor alternativa para a diminuição da utilização destes recursos naturais é empregar novas formas alternativas, por exemplo, o uso da CBC como matéria prima (ALWAEELI, 2013).

De acordo com SOUTO (2011), a CBC é uma matéria prima com grande potencial na fabricação de cimentos compostos e aditivos para pastas, argamassas e para concretos. A adição da CBC pode proporcionar a produção de concretos com uma maior resistência, durabilidade, redução de gastos e de impactos ambientais causados pela disposição dos resíduos.

Estas informações mostram a finalidade no setor da construção civil, onde é proposta a reutilização na fabricação da argamassa e do concreto, fazendo a inclusão da CBC ao cimento Portland, servindo como adição pozolânica e como agregado miúdo, sendo usada como substituição parcial da areia na fabricação de pastas de cimento nas construções (VASCONCELOS, 2013). A Figura 2 mostra o aspecto da CBC antes e após a moagem.

Figura 2 – Aspecto da CBC não moída (a) e após a moagem (b).



Fonte: LIMA *et al.*, 2011.

2.3 CONCRETO

O concreto foi descoberto no fim do século XIX, e teve seu uso intenso no século XX, tornando-o o material mais utilizado pelo homem depois da água, sendo considerado uma das descobertas mais interessantes quando diz respeito a história do desenvolvimento da humanidade, mesmo sendo o mais recente dos materiais da construção civil (HELENE; ANDRADE, 2010).

No Brasil e em outros países do mundo, o concreto é o material mais consumido na construção civil. Ele contém em seu preparo cimento, água e agregados, podendo conter também adições e aditivos que se tornaram cada vez mais utilizados. As proporções desses materiais empregados na composição do concreto devem ser suficientes para atender as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade nas quais são requeridas pelo concreto (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.3.1 Cimento Portland

O cimento Portland é considerado um dos, se não o mais importante material utilizado na construção civil em todo o mundo. De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento Portland é um ligante hidráulico, no qual é resultado da moagem de clínquer, em que durante sua fabricação é adicionado uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos por norma.

Ele é constituído de material calcário, de alumina e sílica, também podendo ser utilizada a margá, que é uma mistura de materiais argilosos e calcários. No processo de fabricação do cimento, há a moagem da matéria-prima e sua queima a elevadas temperaturas, em seguida é sinterizado e parcialmente fundido, formando assim os clínqueres. Estes são resfriados e recebem teor de sulfato de cálcio onde são moídos até resultar no cimento Portland (NEVILLE, 2016).

2.3.2 Agregado

O agregado é um material granuloso em que constitui de 70 a 80% da composição do concreto, influenciando várias de suas propriedades (BASTOS, 2019). Cada vez mais, as empresas vêm buscando a substituição dos agregados naturais utilizados na construção civil,

por resíduos, visando a preservação do meio ambiente, tendo em vista que a construção civil tem uma alta demanda por recursos naturais (AMARAL; LAGES, 2019).

2.3.2.1 Agregado Miúdo

De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam na peneira com malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com malha de 150 μ m. As areias são agregados miúdos oriundos de processos naturais ou até mesmo artificiais de desintegração de rochas, a areia natural é proveniente da natureza, e a areia artificial de processos industriais. A areia mais comum utilizada na preparação do concreto é a areia natural, ou seja, de fonte esgotável.

O agregado pode ser substituído por resíduos como a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, desde que seja feita a definição do traço dos demais materiais utilizados para o preparo do concreto, para que o resíduo tenha a mesma eficiência do agregado (FERNANDES *et al.*, 2015).

2.3.2.2 Agregado Graúdo

Segundo a NBR 9935 (ABNT, 2011), os agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam na peneira com malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com malha de 4,75 mm. As britas são consideradas um tipo de agregado graúdo, em que são originadas da fragmentação mecânica de rocha, elas são bastante utilizadas na preparação do concreto.

De acordo com Bastos (2019), é comum encontrar no comércio as seguintes britas com suas numerações e dimensões:

- Brita 0 – 4,8 a 9,5 mm (pedrisco);
- Brita 1 – 9,5 a 19 mm;
- Brita 2 – 19 a 38 mm.

2.3.3 Adições

De acordo com a NBR 11172 (ABNT, 1990), adições são produtos de origem mineral, nos quais são adicionados no cimento, argamassa e concreto alterando suas características. As adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, onde são utilizados na produção de

concreto proporcionando-o maior resistência mecânica e maior durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.3.4 Aditivos

São produtos químicos que podem ser adicionados nas caldas, argamassas e concreto fresco e/ou no endurecido, onde altera as características dos mesmos, de acordo com a NBR 11172 (ABNT, 1990). Eles são utilizados comumente no estado líquido por ser mais rápida a sua dispersão na mistura do concreto, porém podem ser utilizados também no estado sólido (NEVILLE, 2016).

Apesar de não ser um componente essencial para o concreto, os aditivos são importantes e vem cada vez mais sendo utilizados para a preparação do mesmo. Os aditivos quando utilizados adequadamente, são benéficos ao concreto, porém, não se torna uma solução tanto em casos de má qualidade dos componentes do concreto quanto em proporções incorretas na mistura (NEVILLE, 2016).

2.3.5 Água

O uso da água na produção do concreto tem como uma de suas finalidades permitir com que ocorram as reações da mistura. Mesmo que a água utilizada para realizar a mistura tenha que ser adicionada até obter a trabalhabilidade desejada, é necessário que seu teor seja pré-estabelecido no cálculo do traço (VETTORELLO, 2019).

Segundo a NBR 15900-1 (ABNT, 2009), para a preparação do concreto é necessário que a água seja adequada, isso é possível se verificar através da sua origem, ou mediante ensaios que permitem resultados que identificam a possibilidade de uso. A água de abastecimento público é adequada e não há a necessidade de ser ensaiada. Já as águas de fontes subterrâneas, natural de superfície, de captação pluvial e residual industrial, são necessárias realizar ensaios.

2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

O engenheiro estrutural estipula uma resistência característica à compressão para se projetar estruturas de concreto armado, esta resistência é definida como valor de referência e

adotada como base de cálculo, devendo ser atingida pelo concreto da estrutura, para atender aos requisitos de segurança (HELENE; ANDRADE, 2010).

A resistência à compressão dos concretos é avaliada por meio de corpos de provas cilíndricos com altura igual ao dobro do diâmetro, moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016). De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), os corpos de prova devem ser rompidos em uma prensa hidráulica, em diferentes idades. A idade deve ser contada a partir do momento da moldagem.

O ensaio deve ser feito com a prensa hidráulica calibrada, o carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e com velocidade constante, e só deve cessar quando houver uma queda de força, na qual está indicando a ruptura do corpo de prova conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). Ao romper o corpo de prova, tem-se a força máxima alcançada, expressa em newtons (N), e mediante as dimensões do corpo de prova, é possível identificar a resistência à compressão em MPa .

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos necessários para caracterização dos materiais assim como a produção do concreto, confecção dos corpos de prova e ensaios de resistência à compressão do concreto, foram realizados no Laboratório da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), por meio de ensaios normatizados pela ABNT.

3.1 MATERIAL

3.1.1 Agregados

Os agregados naturais, tanto miúdos como graúdos foram fornecidos pela FACEG, e atenderam aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2019). O agregado miúdo utilizado foi areia média e o graúdo foi brita 0, conforme Figura 3.

Figura 3 – Areia média e brita 0.



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.1.2 Água

No preparo do concreto, foi utilizada água potável derivada da rede pública de distribuição, fornecida pela empresa Saneamento de Goiás (SANEAGO), como recomenda a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

3.1.3 Cimento Portland

Para a confecção dos traços de concreto, foi utilizado Cimento Portland CP II F-32 conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018).

3.1.4 Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

Antes da execução dos ensaios e início dos procedimentos, as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) foram adquiridas na empresa Jalles Machado S.A, que se localiza na Fazenda São Pedro, Rodovia GO 080, km 185, S/N, em Goianésia-GO. As cinzas foram fornecidas pela empresa com presença de umidade, pois após a queima elas foram molhadas para diminuir sua temperatura. Inicialmente as cinzas foram secas em estufa, em uma temperatura de 110 °C durante 24 horas para remoção da umidade presente.

Após este processo, a CBC foi peneirada na peneira de malha 2,36 mm para classificação da sua granulometria de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), tal processo foi adotado para otimizar a granulometria ao apresentado pelo agregado miúdo natural (areia média), pois as cinzas foram comparadas com o mesmo. A Figura 4 ilustra o resultado do peneiramento da CBC.

Figura 4 – Aspecto da CBC não peneirada (a) e após peneirada (b).



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

O traço produzido é um traço referência utilizado por uma concreteira da região, com resistência de 25 MPa aos 28 dias. No estudo foram produzidos 5 traços com diferentes proporções de CBC como substituição do agregado miúdo natural, as porcentagens de substituição foram 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao volume do agregado miúdo natural utilizado no traço, as nomenclaturas dadas foram respectivamente C0, C5, C10, C15 e C20. Foram produzidas 8 amostras para cada traço estudado, em que foi realizado o ensaio mecânico de compressão axial, sendo 4 amostras para cada dia de rompimento, feitos em 7 e 28 dias, totalizando 40 corpos de prova.

A quantidade em massa de cada material utilizado na fabricação do traço referência – com 0% de substituição – foi definida conforme mostra a Tabela 1. Primeiro foi calculado o volume total dos 8 corpos de prova utilizados, que equivale a 0,013 m³, tendo em vista que os mesmos tiveram formato cilíndrico, com 0,2 m de altura e 0,1 m de diâmetro. Em seguida foi multiplicado esse volume pela quantidade de massa por metro cúbico.

Tabela 1 – Quantidade de material utilizado no traço

Material	Cimento	Brita 0	Areia média	Água
Qtd. em kg/m³	380	830	952	190
Qtd. em kg	4,94	10,79	12,38	2,47

Fonte: Próprio autor, 2021.

De acordo com os valores encontrados na Tabela 1, foi possível obter o traço unitário do concreto por meio da Equação 1:

$$\frac{CC}{CC} : \frac{CB}{CC} : \frac{CA}{CC} : \frac{Ca}{CC} \quad (1)$$

Onde *CC* é o consumo de cimento, *CB* é o consumo de brita 0, *CA* é o consumo de areia média e *Ca* é o consumo de água, portanto o traço referência do concreto utilizado em massa é 1 : 2,18 : 2,51 ; 0,5.

As quantidades em massa dos agregados miúdos, que foram feitas as substituições, foram determinadas utilizando as densidades dos mesmos, sendo: 2630 kg/m³ para a areia

média, conforme ensaio de massa específica realizado no laboratório da FACEG; e 1950 kg/m^3 para a CBC (MANGI *et al.*, 2017). A partir das densidades e das porcentagens em volume, foi possível calcular a massa total de agregado miúdo para cada metro cúbico (m^3) de concreto.

Inicialmente foi realizado o cálculo de volume da areia média do traço referência, dividindo a massa da areia pela sua densidade, resultando em $0,00471 \text{ m}^3$. Através deste, foi possível fazer o cálculo de volume das substituições desejadas. Posteriormente foi calculada a massa da areia média e da CBC, multiplicando o volume de substituição pela densidade do agregado. Em seguida, dividiu-se essa massa pelo volume de concreto de 8 amostras que equivale a $0,013 \text{ m}^3$, encontrando os valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de agregado miúdo por metro cúbico (m^3) de concreto.

Traço	Areia		CBC	
	Kg	Kg/ m^3	Kg	Kg/ m^3
C0	12,38	952,00	-	-
C5	11,76	904,40	0,46	35,29
C10	11,14	856,80	0,92	70,59
C15	10,52	809,20	1,38	105,88
C20	9,90	761,60	1,84	141,17

Fonte: Próprio autor, 2021.

A dosagem dos traços foi executada na FACEG, em uma betoneira com capacidade de 150 litros. Ainda com o concreto fresco, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) segundo a NBR 16889 (ABNT, 2020), este ensaio foi utilizado para medir a trabalhabilidade do concreto, visando verificar se a CBC poderia afetar a mesma. A Figura 5 apresenta a realização do ensaio de abatimento do concreto.

Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco cone.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Posteriormente foram confeccionados os corpos de prova, conforme a Figura 6, seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2016), para o ensaio de compressão axial e de absorção total de água.

Figura 6 – Corpos de prova moldados



Fonte: Próprio autor, 2021.

Os corpos de prova que foram utilizados no ensaio de compressão axial foram os mesmos utilizados para realizar o ensaio de absorção total de água, uma vez que a avaliação da absorção da água foi realizada durante a cura dos corpos de prova. Após 48 horas, os corpos de prova foram desmoldados e ficaram submersos em um tambor com água, conforme a Figura 7, para iniciar o processo de cura, e permaneceram até as datas dos rompimentos.

Figura 7 – Corpos de prova submersos.



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Após o período de cura os corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias foram submetidos ao ensaio de compressão axial segundo a prescrição da NBR 5739 (ABNT, 2018). Os rompimentos dos corpos de prova foram feitos em uma prensa Pavitest, modelo I-30001- C, calibrada conforme prescrito na NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2016), em intervalo não maior que 12 meses.

Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016) os corpos de prova ficaram mantidos em cura submersa em água até o momento dos ensaios. Seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018), no ensaio de compressão axial os corpos de prova ficaram na posição vertical, e não foi necessário realizar a preparação das bases por retificação, pois os corpos de provas apresentavam superfícies lisas, em seguida foram submetidos ao carregamento, aplicado continuamente e sem choques até a ruptura dos mesmos. Ao realizar o rompimento, obteve-se a força máxima alcançada, expressa em newtons (N), para obter o valor da resistência à compressão em MPa foi necessário fazer o cálculo através da Equação 2.

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad (2)$$

Onde f_c é a resistência à compressão em megapascals (MPa), F é a força máxima em newtons (N) e D é o diâmetro do corpo de prova em milímetros (mm).

3.4 AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO TOTAL DE ÁGUA

O ensaio da absorção total de água foi realizado com base em algumas recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2009), a qual avalia a absorção de água pelo concreto. Em relação ao procedimento do ensaio, foram utilizados os mesmos corpos de provas do ensaio de compressão, onde foram registrados a massa da amostra seca (m_s) antes do período de cura úmida e posteriormente foram retirados os corpos de prova da água em 7 e 28 dias de idade, enxugados com pano úmido e registrado a massa saturada (m_{sat}).

Para a pesagem dos corpos de prova, foi utilizada uma balança com 0,1 g de precisão. Após a realização do ensaio, foi avaliada a quantidade de água que o concreto absorveu,

verificando assim se os traços tiveram variação de absorção de água. Para essa verificação foi necessário calcular a quantidade de água em porcentagem por meio da Equação 3:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3)$$

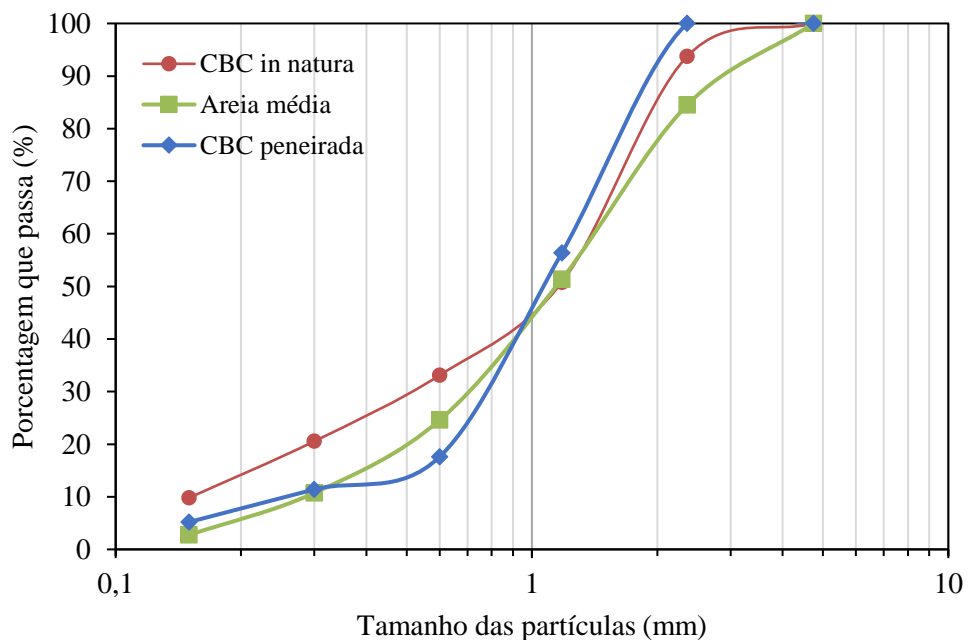
onde A é a absorção da água em porcentagem, m_{sat} é a massa da amostra saturada em água e m_s é a massa da amostra seca.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CBC E DA AREIA

A determinação granulométrica dos agregados miúdos (areia e CBC) foi feita por meio da NBR NM 248 (ABNT, 2003) através de peneiramento manual e uso de balança para pesagem dos materiais. A caracterização dos mesmos foi realizada por meio de curvas granulométricas como apresenta na Figura 8, a qual mostra a comparação das curvas granulométricas da CBC *in natura*, CBC peneirada e areia média.

Figura 8 – Curva granulométrica da CBC *in natura*, CBC peneirada e areia média.



Fonte: Próprio autor, 2021.

De acordo com a curva granulométrica da CBC *in natura*, é possível observar que ela possui partículas muito grandes, principalmente devido aos restos do bagaço de cana-de-açúcar que não foram queimados, por este motivo foi necessário realizar o peneiramento das cinzas uma vez que suas propriedades não estavam muito bem definidas. Tendo em vista que a CBC iria ser comparada com a areia média, a mesma foi peneirada utilizando a peneira de malha 2,36 mm. Conforme é possível observar na Figura 8, a CBC peneirada e a areia média apresentaram uma curva granulométrica próximas.

Segundo Jordan *et al.* (2019), após a secagem da CBC é necessário fazer o peneiramento para remoção de partículas e resíduos desnecessários, pois no processo de queima nem todo o material é queimado. Por esse motivo o peneiramento das cinzas é fundamental para fazer com que elas fiquem com características próximas às do agregado miúdo utilizado.

Conforme a análise granulométrica realizada, a CBC *in natura*, CBC peneirada e areia média apresentaram respectivamente módulo de finura de 2,93, 3,09 e 3,29 e diâmetro máximo característico de 4,75 mm, 2,36 mm e 4,75 mm. De acordo com os módulos de finura encontrados, foi possível observar uma compatibilidade entre os agregados, o que à critérios de substituição parcial é fundamental para uma boa dosagem do concreto. No estudo de Lopes *et al.* (2014), a CBC foi obtida após a passagem pela peneira de malha de 2 mm para a retirada de material grosseiro, ou seja, uma dimensão bem próxima deste estudo.

4.2 AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE

Conforme mostra a Tabela 3, é possível ver os dados obtidos a partir do abatimento do concreto, o qual é a medida vertical em centímetros do deslocamento do concreto após o *Slump Test*.

Tabela 3 – Resultado do ensaio de abatimento do tronco cone

Traço	C0	C5	C10	C15	C20
Abatimento (cm)	7,0	6,6	6,4	6,2	6,1

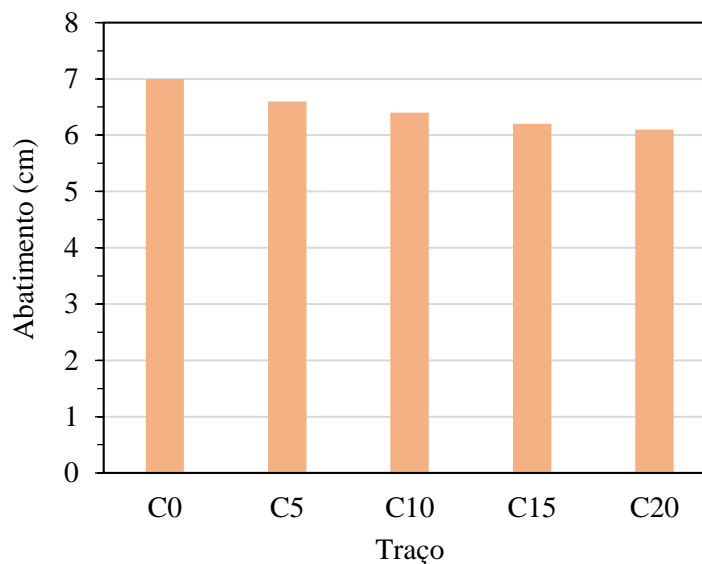
Fonte: Próprio autor, 2021.

De acordo com o resultado do *Slump Test*, é possível notar que conforme foi adicionando cinzas ao concreto, sua consistência foi aumentando e conseqüentemente diminuindo a sua trabalhabilidade. Isso porque segundo Sampaio *et al.* (2014), a CBC possui uma granulometria muito fina a qual absorve bastante água necessária para a preservação da consistência do concreto, deixando-o mais seco e dessa forma menos trabalhável, em seu estudo também houve uma queda na trabalhabilidade dos concretos com o aumento dos teores de CBC.

De acordo com Sales *et al.* (2010) a trabalhabilidade pode ser afetada devido a CBC possuir uma menor massa específica que a areia, o que requer mais água de amassamento do concreto para que possa ser mantida a mesma. Tal fenômeno também foi observado nos traços

estudados, visto que o abatimento do concreto diminuiu conforme ocorreu o aumento da substituição dos agregados miúdos pela CBC peneirada como mostra o gráfico da Figura 9.

Figura 9 – Gráfico de ensaio de abatimento do tronco cone.



Fonte: Próprio autor, 2021.

4.3 RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Por meio do ensaio de rompimento dos corpos de provas dos traços estudados, foi possível obter os resultados das resistências à compressão axial dos mesmos. Para melhor interpretar os resultados e avaliar a eficiência das substituições, uma avaliação estatística foi feita por meio do teste de Dunnett com nível de significância de 5%. Este teste é feito através da comparação entre as médias do grupo referência (traço sem adição de CBC), sendo o grupo de controle e as amostras de concreto que foram feitas as substituições do agregado miúdo natural (areia) pela CBC como grupos de comparação.

As Tabelas 4 e 5 apresenta a análise de variância após a aplicação do teste de Dunnett nos resultados do teste de compressão axial para as idades de 7 e 28 dias respectivamente, para as diferentes substituições da areia pela CBC.

Tabela 4 – Resultado do teste de Dunnett para a idade de 7 dias

FV	GL	SQ	QM	F cal	F tab
Variedades	4	280,38	70,095	37,78027	3,06
Resíduo	15	27,83	1,86		
Total	19	308,21			

FV = Fontes de Variação, GL = Grau de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, Fcal= F Calculado, Ftab = F Tabelado.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Tabela 5 – Resultado do teste de Dunnett para a idade de 28 dias

FV	GL	SQ	QM	F cal	F tab
Variedades	4	338,06	84,515	34,41164	3,06
Resíduo	15	36,84	2,46		
Total	19	374,9			

FV = Fontes de Variação, GL = Grau de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, Fcal= F Calculado, Ftab = F Tabelado.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Na Tabela 5 mostra os resultados adquiridos para o ensaio de compressão com desvio padrão e análise pelo teste de Dunnett, para as diferentes substituições da areia pela CBC.

Tabela 6 – Resultado das resistências à compressão axial aos 7 e 28 dias.

Traço	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
C0	20,35 ± 1,08	27,39 ± 1,51
C5	19,04 ± 1,81 *	24,37 ± 1,93
C10	14,89 ± 1,86	24,19 ± 1,4
C15	12,85 ± 1,09	22,95 ± 1,79
C20	10,1 ± 0,46	15,48 ± 1,05

* Indica semelhança significativa entre o concreto sem substituição e o concreto com substituição do agregado miúdo natural (areia) pela CBC.

Fonte: Próprio autor, 2021.

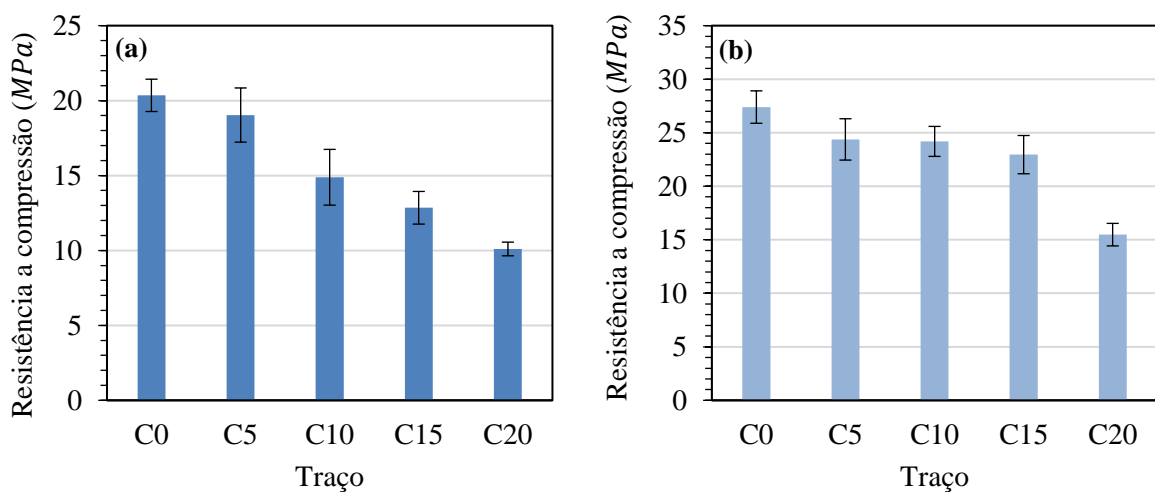
Como foi observado na Tabela 5, o traço C0, composto com 100% de agregado miúdo natural, foi o traço em que obteve a maior resistência à compressão em ambas idades, porém com o valor maior de 27,39 MPa no rompimento aos 28 dias. E ainda, é possível perceber, que na medida em que foi aumentando a porcentagem das substituições da areia pela CBC, a resistência à compressão do concreto diminuiu. No traço C5 e C10, as médias alcançadas foram próximas a resistência de 25 MPa aos 28 dias, no entanto as substituições feitas no traço C15 e C20 não conseguiram se aproximar à resistência de 25 MPa determinada no traço referência.

A análise pelo teste de Dunnett indicou que apenas o traço C5 na idade de 7 dias foi estatisticamente semelhante com o traço de referência, indicando que a substituição de areia pela CBC em até 5 % seria tecnicamente estável. Apesar disso, estudos anteriores indicam que a substituição do agregado pode ocorrer em outros níveis. De acordo com Baptista *et al.*, (2014) por exemplo, a substituição parcial do agregado miúdo natural pela CBC pode ocorrer em uma taxa de até 10% da massa total de areia, sem que haja alterações significativas na resistência à compressão.

A redução na resistência também foi observada por Canova *et al.*, (2015), onde, aos 28 dias o concreto produzido com substituição do agregado miúdo natural pela CBC apresentou um aumento nas resistências com substituição de até 10%, a partir daí percebeu uma queda nas resistências, que pode ter ocorrido pelo material apresentar excesso de finos em função da quantidade de material pulverulento encontrado na CBC.

Conforme observado na Figura 10, percebe-se a variação média da resistência à compressão em relação aos dias de cada rompimento. O valor aumenta ao decorrer do tempo da cura, no entanto à medida que as substituições de agregado miúdo natural pela CBC aumentam, a resistência diminui. Para o concreto que utilizou 20% de substituição, houve as menores resistências para os ensaios de 7 e 28 dias, os valores variaram de 10,1 a 15,48 MPa. Para o traço referência, obteve as maiores resistências para os ensaios de 7 e 28 dias, variando de 20,35 a 27,39 MPa.

Figura 10 – Resistência a compressão simples dos traços estudados nas idades de 7 dias (a) e 28 dias (b).



Fonte: Próprio autor, 2021.

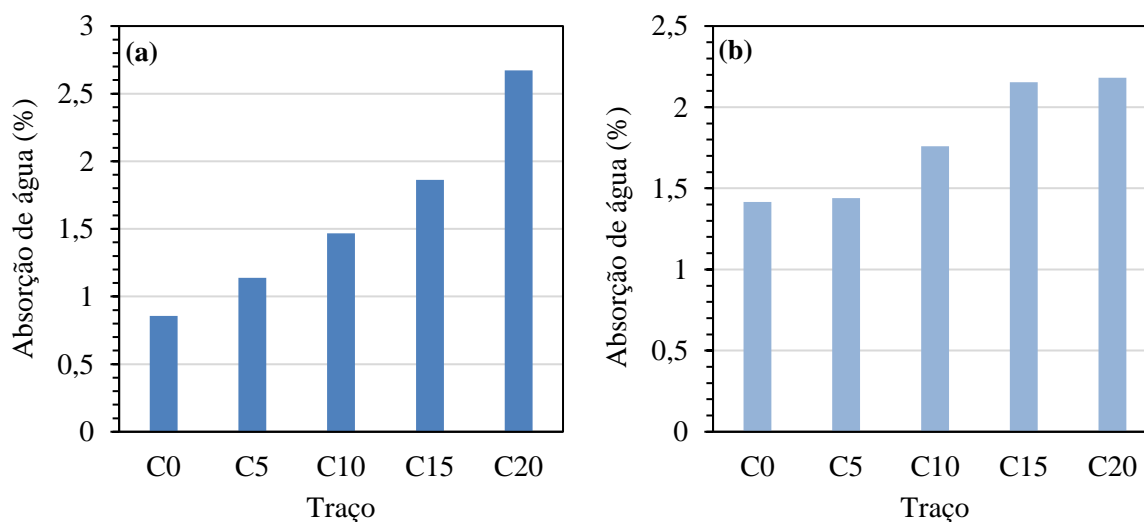
No estudo de Quirino (2017), quando foi realizada a análise dos resultados da resistência à compressão, foi observado que conforme a proporção da substituição do agregado miúdo natural pela CBC aumentava, a resistência apresentava queda. Foi verificado ainda que a resistência à compressão apresentou uma queda maior quando foi feita substituições superiores a 10%. Notou-se que no concreto com substituição de até 10% de CBC, os valores de resistência à compressão aproximaram-se muito do traço referência.

Esta redução da resistência a compressão conforme foi aumentando a substituição do agregado miúdo natural pela CBC também foi percebida por Sampaio *et al.* (2014), pois segundo o autor a reduzida atividade pozolânica das cinzas atribuída à combustão incompleta do bagaço resulta numa grande quantidade de teor de carbono, o que dificulta o ganho de resistência do concreto.

4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO

A análise da absorção de água dos traços foi realizada com o objetivo de se medir a influência da CBC na capacidade de absorção do concreto. Os dados obtidos a partir deste ensaio são mostrados na Figura 11.

Figura 11 – Absorção de água em 7 dias (a) e 28 dias (b)



Fonte: Próprio autor, 2021.

De acordo com a Figura 11, é possível notar que conforme foi sendo adicionado uma porcentagem maior de substituição de CBC, o concreto foi absorvendo mais água. O aumento da absorção pode ocorrer por motivos distintos, porém concomitantes. Segundo estudos realizados por Sampaio *et al.* (2014), este aumento ocorre devido a CBC possuir uma granulometria fina, o que interfere na quantidade de espaços vazios.

Esse aumento segundo Ali *et al.* (2009), também está relacionado às fibras do bagaço não queimadas presentes na cinza, pois as mesmas possuem uma facilidade de absorver a água por ser um material hidrofílico, as fibras se encontram nessas condições devido ao processo de queima ineficiente que dificultam a queima completa do bagaço.

5 CONCLUSÕES

Conforme a análise granulométrica da CBC, é possível concluir que suas propriedades físicas apresentaram partículas semelhantes às da areia natural, porém mais finas, onde seus módulos de finura obtiveram valores bem próximos. Esta característica teve influência significativa durante o preparo do concreto, visto que ocorreu uma redução em sua trabalhabilidade ao adicionar teores de CBC, o que foi comprovado no ensaio de abatimento do concreto por meio da sua diminuição no *Slump Test*.

Em contrapartida, todos os corpos de prova de concreto com CBC absorveram mais água do que o concreto convencional. Este aumento pode estar relacionado às fibras do bagaço não queimadas presentes na cinza, pois as mesmas possuem uma facilidade de absorver a água por ser um material hidrofílico.

Com base no estudo realizado, nota-se que os resultados de resistência a compressão do concreto apresentaram queda conforme ocorreu o aumento da substituição do agregado miúdo natural (areia) pela CBC. Apesar disso, a análise pelo teste de Dunnett indicou que apenas o traço C5 na idade de 7 dias foi estatisticamente semelhante com o traço de referência. Nas substituições de 5 e 10% para a idade de 28 dias, os valores obtidos de 24,37 e 24,19 *MPa* respectivamente foram próximos ao traço referência de 25 *MPa*, já as substituições de 15 e 20% obtiveram valores abaixo com 22,95 e 15,48 *MPa*. Podendo-se concluir que os mesmos não são viáveis para utilização estrutural.

É importante ressaltar que os dados apresentados neste trabalho se referem apenas às amostras realizadas, contudo, é necessário que sejam feitas pesquisas mais abrangentes sobre outras formas de utilização da CBC. Podem ser executadas outros trabalhos visando outras formas de substituições, bem como métodos de tratamento da CBC para melhor ajustar suas propriedades com os agregados miúdos utilizados no concreto, dado a importância da utilização de materiais que apresentam potencial de reutilização. O reaproveitamento destes materiais é muito importante, logo outros estudos devem ser realizados, pois o seu maior uso pode contribuir para a um desenvolvimento mais sustentável na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, K.; AMIN, N.; SHAH, M. T. Physicochemical study of bagasse and bagasse ash from the sugar industries of NWFP, Pakistan and its recycling in cement manufacturing. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, v. 31, n. 3, p. 375–378, 2009.

ALWAELI, M. Application of granulated lead–zinc slag in concrete as an opportunity to save natural resources. *Radiation Physics and Chemistry*, v.83, p.54-60, 2013.

AMARAL, M. M. S.; LAGES, M. S. Análise da resistência à compressão uniaxial de compósitos cimentícios com bagaço e cinzas da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 22, n. 3, p. 152-160, 2019.

ANGULO, S.C; FIGUEIREDO, A.D. Concreto: Ciência e Tecnologia. In: ANGULO, S.C; FIGUEIREDO, A.D. Concreto com agregados reciclados, 1p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11172/1990. Aglomerantes de origem mineral – Terminologia. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 15900-1/2009. Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 16697/2018. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro. Brasil.

_____.NBR 16889/2020. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 5738/2016. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 5739/2018. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 7211/2019. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 9778/2009. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 9935/2011. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR ISO 7500-1/2016. Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial. Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração e verificação do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR NM 248/2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.

BAPTISTA, T.T.A; YASSINE, A.J.N; VANDERLEI, R.D; NAGANO, M.F; PEINADO, H.S. Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial ao agregado miúdo na dosagem do concreto autoadensável. In: VII SIMPÓSIO MARINGANENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Maringá – PR. p 4

BARBOSA, B. L. A. Características físicas e mecânicas do concreto fabricado com adição de cinzas de bagaço proveniente do processamento de cana-de-açúcar. 2018. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga – UNIFOR, Formiga, 2018.

BARBOSA, U.S; SALOMÃO, P.E.A; LAUAR, G.T; RIBEIRO, P.T. Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, p. 383-397, 2018.

BASTOS, P. S. S. Biblioteca virtual: Fundamentos do Concreto Armado. UNESP. 2019. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

CANAONLINE. Norma de Caracterização Química de Bagaço de Cana-de-açúcar. Disponível em: < <http://www.canaonline.com.br/conteudo/norma-de-caracterizacao-quimica-de-bagaco-de-cana-de-acucar.html> >. Acesso em: 24 abr. 2021.

CANOVA, J.A.; MIOTTO, J. L.; DE MORI, L.M. avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana de açúcar. Ciência E Engenharia, ISSN 1883-4071, 2015.

CARVALHO, L.C; BUENO, R.C.O.F; CARVALHO, M.M; FAVORETO, A.L; GODOY, A.F. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 530-543, 2013.

CONAB. Acompanhamento da safra de cana-de-açúcar, v. 4, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 06 de abril de 2021.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 7, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/cana#:~:text=O%20processo%20de%20acompanhamento%20da,tendo%20em%20vista%20sua%20import%C3%A2ncia>>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

FERNANDES, S.E. Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2014.

FERNANDES, S. E.; TASHIMA, M. M.; MORAES, J. C. B.; ISTUQUE, D. B.; FIORITI, C. F.; MELGES, J. L. P.; AKASAKI, J. L. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. Revista Matéria, v. 20, p. 909-923, 2015.

FROEHLICH, C. Sustentabilidade: dimensões e métodos de mensuração de resultados. Desenvolve: Revista de Gestão do Unilasalle, v. 3, n. 2, p. 151-168, 2014.

GAMA, H. M. A.; ANDRADE, V. S.; ARAGÃO JÚNIOR, W. R. Análise da adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial ao cimento em misturas de solo-cimento. In: XXIV Congresso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica – CAMSIG, Salta, 2018.

GUIRALDELI, J. A. B. Concreto permeável com adição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. 2017. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá, 2017.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. 905p. 2010.

JORDAN, R. A.; COSTA, M. V.; MARTINS, E. A. S.; ROSA, M. A.; PETRAUSKI, A. Manufacture of soil-cement bricks with the addition of sugarcane bagasse ash. Revista Engenharia Agrícola, v. 39, n. 1, p. 26-31, 2019.

LIMA, S. A.; SALES, A; MORETTI, J. P.; SANTOS, T. J.; Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. Revista Tecnológica, Ed. Esp, p. 87-97, 2011.

LIMA, S. A; SALES, A; ALMEIDA, F. C. R; MORETI, J. P; PORTELLA, K. F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

LOPES, B. C. S.; BRITTO, A. F. S.; SARMENTO, A. P.; DELALIBERA, R. G. Análise da viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do Cimento Portland. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 3, p. 32-40, 2014.

MACIEL, D. L. O.; SILVA, J. S.; OMENA, J. C. R.; CAVALCANTE, J. R. D. Reutilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na confecção de concreto: Uma revisão narrativa. Cadernos de Graduação – Ciências exatas e tecnológicas, v. 6, n. 2, p. 113-122, 2020.

MANGI, S. A.; JAMALUDDIN, N.; IBRAHIM, M. H. W.; ABDULLAH, A. H.; AWAL, A. S. M. A.; SOHU, S.; ALI, N. Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 271, 2017.

MARCHAND, G.; LETOURNEAU, F.M. O desafio de medir a sustentabilidade na Amazônia: os principais indicadores e a sua aplicabilidade ao contexto amazônico. Rio de Janeiro: Garamond, p. 155-220. 2014.

MOURA, L; LANDAU, E. C. Evolução da Produção de Cana-de-açúcar. In: MOURA, L; LANDAU, E.C. Dinâmica da Produção Agropecuária e da Paisagem Natural no Brasil nas Últimas Décadas, 625p. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2. ed., 2014, 782p.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Porto Alegre: Editora Bookman, 5. ed., 2016, 2p. e 257p.

OLIVEIRA, S.T.M; FILHO, S.C.S; MIRANDA, A.C; BONETTE, R. Cinza a partir do bagaço da cana-de-açúcar reutilizada como parte integrante em argamassas e concretos na indústria civil. In: XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 2017, Joinville, SC. Anais. Santa Catarina, 2017. p 2- 14.

QUIRINO, B.G. Potencialidade da cinza de cana-de-açúcar em substituição parcial do cimento portland no concreto. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

RIBEIRO, D.; MOURA, L.S; PIROTE, N.S.S. Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil. Revista de Ciências Gerenciais, v. 20, n. 31, p. 41-45, 2016.

SALES, A.; LIMA, S. A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI, J. P. Considerações ambientais e proposta de aproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar para uso na infra-estrutura urbana. In: 4º Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável – PLURIS, 2010. Universidade do Algarve. Faro - Portugal, 2010. v. 1, p. 20-30.

SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 4, p. 637-647, 2014.

SOUTO, J. M. F. Avaliação de desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concreto. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

TEODORO, N.F.G. Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais. Universidade Técnica de Lisboa, 2011

VASCONCELOS, M.C.A. Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizando métodos físicos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

VENCESLAU, H.M.B.B. Diversificação das aplicações do bagaço de cana de açúcar. Trabalho de Conclusão do Curso. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, Paraíba, 2018.

VETTORELLO, D. Análise da atividade pozolânica da cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos compósitos cimentícios em diferentes tempos de moagem. 2019. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, 2019.