

# ANÁLISE DO POTENCIAL DA CINZA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS

*Denis Yudi Ueno<sup>1</sup>; Arnaldo Alberto de Moraes Filho<sup>2</sup>; Judson Ricardo Ribeiro da Silva<sup>3</sup>  
Jose Eduardo Goncalves<sup>4</sup>, \**

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia Química, UNICESUMAR, Maringá-PR. Bolsista do PIBIC/UniCesumar

<sup>2</sup>Acadêmico do Mestrado em Tecnologias Limpas, UNICESUMAR, Maringá-PR.

<sup>3</sup>Curso de Engenharia Química, UNICESUMAR, Maringá-PR

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, UNICESUMAR, Maringá-PR

\*Orientador, Doutor

## RESUMO

As cinzas oriundas da queima do bagaço da cana de açúcar são resíduos sólidos com propriedades físicas e químicas similares ao do cimento Portland. Estes que outrora poderiam ser destinadas ou descartados na natureza podem ser utilizados como compósitos na fabricação de um novo produto. O aproveitamento de resíduo da indústria sucroalcooleira na fabricação de placas cimentícias pode ser uma alternativa ambientalmente sustentável e que possibilita a valorização destes resíduos, e de mesma forma é uma alternativa para minimizar os impactos ambientais diminuindo a extração de matéria prima, e alterar de uma fonte não-renovável (calcário) por uma renovável. Neste trabalho, será analisado a influência da incorporação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) para a produção de placas cimentícias. A CBC produzida pela indústria sucroalcooleira é um resíduo com propriedades pozolânicas e características similares ao cimento Portland, logo, acredita-se que a inserção deste resíduo substituindo o cimento, pode ser uma alternativa viável. Para tanto será feito a caracterização da composição química da CBC por meio de análises laboratoriais, estudos de granulometria, e a produção de placas cimentícias com diversas concentrações de CBC diferentes. Assim, busca-se que as placas produzidas com este resíduo industrial mantenham as propriedades mecânicas, possibilitando a produção de um material mais eficiente na relação custo-benefício para ser utilizado na construção civil e que, possa constituir-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento destes materiais como um insumo com a finalidade de reduzir a exploração de matérias primas não renováveis, e aumentar utilização de tecnologias limpas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desenvolvimento sustentável; Resíduos da indústria sucroalcooleira; Tecnologia limpa.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil (ICC) é uma das maiores geradoras de resíduos, seja durante suas atividades construtivas urbanas, como na obtenção de sua matéria-prima. O cimento que é a base deste setor, provém do calcário, um mineral não-renovável que pode ser encontrado em jazidas naturais, cuja exploração causa enorme impacto ambiental (MECHI; SANCHES, 2010).

O atual cenário ambiental tem grandes preocupações com as volumosas quantidades de resíduos gerados, sejam industriais ou urbanos, onde estes podem ocasionar em complicações ambientais se não forem destinados corretamente. Diante deste caso, as tecnologias limpas entram com grande força para criar uma destinação adequada para esses resíduos. Uma das melhores maneiras de solucionar este problema é utilizar formas alternativas, como um modelo construtivo mais eficiente, e a utilização de resíduos como matéria-prima (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012; ALWAEI, 2013).

Sarhan e Fox (2013), destacam que o foco da inovação na construção civil deve ser em minimizar desperdícios, utilizando métodos mais eficientes e limpos, assim como diminuir custos e maximizar lucros. Os modelos construtivos a seco, como o Light Steel Frame (LSF) e o Wood Frame (WF), são tecnologias que vêm tomando popularidade devido a sua eficácia e rapidez na construção, e menor geração de resíduos (MOLIN, 2017).

A utilização de placas cimentícias, as quais são a base do LSF, na construção civil tornou-se viável pela redução de resíduos e a velocidade de finalização da obra ao adotar o modelo industrializado (CAMPOS et al., 2014). A utilização de resíduos como matéria prima de argamassas também vem sendo um dos focos da construção civil no quesito ambiental e econômico, com fim de reduzir os despejos indevidos de resíduos e minimizar o custo final da argamassa. A preocupação se dá com as características da argamassa final, onde segundo Santana et al, (2001) argamassas produzidas por compósitos em alguns casos podem ser até mesmo superiores à sua matriz original.

Castellani (2016), demonstra em seu trabalho que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um resíduo extremamente viável para a produção de placas cimentícias, e que em substituições parciais pelo cimento Portland atendem as normas exigidas. A CBC é um material extremamente valioso para a área de construção civil, devido a grande concentração de Sílica encontrada em sua composição, além de suas propriedades pozolânicas.

Segundo dados da CONAB (2018), a safra de cana 2018/2019 no Brasil está prevista para aproximadamente 626 milhões de toneladas. Os resíduos da indústria sucroalcooleira, principalmente o bagaço, cujo é o resíduo de maior quantidade gerada, é encaminhado para a incineração para aquecimento de caldeiras. As cinzas geradas pela queima geram uma proporção média de aproximadamente 2,4% em massa por quilograma de bagaço (CACURO, 2015). Comparando a quantidade de cana produzida no Brasil com a proporção média de cinza gerada por quilograma de bagaço, é possível observar o imenso volume de resíduo gerado.

As cinzas de cana de açúcar são matérias orgânicas, e apesar de conterem poucos nutrientes, a maioria das usinas as descartam no solo. Devido à grande quantidade de cinzas despejadas nas lavouras, estão causando alterações nas propriedades do solo, como o pH, cujo posteriormente deve ser corrigido antes do novo plantio. A utilização da CBC na construção civil é de grande vantagem para ambos os setores e para o meio ambiente, reduzindo custos da indústria sucroalcooleira com a correção do solo ou gastos com descarte apropriado, e reduzindo o custo de matéria prima da ICC.

Visando a quantidade deste resíduo disponível para utilização, sendo esta uma fonte renovável de recurso, e considerando suas propriedades, o objetivo deste estudo é a produção de placas cimentícias para serem utilizadas em métodos construtivos a seco, como o LSF, com diferentes concentrações de CBC em substituição ao cimento Portland.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A produção das placas cimentícias foram feitas a partir das cinzas de cana-de-açúcar coletadas em uma Usina da região Noroeste do Paraná. Foram também utilizados para confecção das placas o cimento Portland CPV-ARI, malha de fibra de vidro 4x4 mm ADFOR Vertex, Poliestireno expandido (EPS), areia fina natural lavada, e vermiculita expandida, onde estas foram adquiridas no comércio local.

As matérias-primas utilizadas neste trabalho tiveram seu perfil granulométrico caracterizado pelas normas NBR 7181, NBR 7211, NBR 9230 para se obter um maior controle de produção da placa cimentícia. A CBC foi peneirada e utilizada com granulometria de 0,044 mm na mistura da argamassa.

Foi aplicado também uma malha de fibra de vidro em duas etapas, uma na base da placa, e outra acima da argamassa, com fins de aumentar a resistência superficial da placa cimentícia.

## 2.1 Caracterização da CBC

A composição química das CBC foi determinada por Fluorescência de Raios-X modelo S8 TIGER — Bruker (Tokyo, Japan). A amostra foi analisada em He com uma fonte de raios X de Rh operando na faixa de voltagem de 30 - 60 kV. Já seu estado morfológico (cristalinidade) foi determinado por Difração de Raios-X, modelo AXS D8 Advance - Bruker, sendo analisada com radiação de Cu K $\alpha$ 1,  $\alpha$ 2, operando em 40 kV e 40 mA).

## 2.2 Caracterização da placa cimentícia

Na produção da placa cimentícia, as quantidades de insumos utilizados para cada corpo, foram descritos na Tabela 1. As placas foram produzidas nas dimensões de 600 mm X 1200 mm X 6 mm, atendendo todos os requisitos conforme determinação da norma NBR 15.498 do ano de 2016.

**Tabela 1:** Composição das placas cimentícias produzidas

Amostras	Cimento (kg)	CBC (kg)	Vermiculita (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	EPS (Litros)	Água (Litros)	Adesivo (kg)
A	6,42	-	0,48	-	4,74	-	3	-
B	3,21	2,55	0,48	-	4,74	-	3	-
C	1,07	2,55	0,48	-	1,58	-	3	-
D	7,267	4,845	0,48	4	4,74	-	3	-
E	3,21	2,55	0,48	-	1,58	2	3	0,03
F	3,21	3,825	0,48	0,5	1,58	3	6	0,03
G	3,745	1,275	0,48	-	-	1	4	0,03
H	9,095	1,275	0,48	-	-	1	3	0,03

**Fonte:** O autor, 2019.

Com os insumos preparados para utilização, foi realizado as misturas sob agitação constante de água, areia, cal e cimento referente a cada amostra, durante 3 minutos. Após os 3 minutos a CBC, o EPS, e o adesivo diluído em água, foram incorporados sendo mantidos em agitação por mais 2 minutos. Por ultimo adicionou-se a Vermiculita, e continuou a agitação por mais 3 minutos.

Seguinte a produção da placa, os corpos de prova foram extraídos da placa conforme a recomendação da NBR 15.498/2016 e divididos em formato retangular para realização do teste de resistência à tração na flexão simples. O ensaio foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no Campus de Apucarana. Para o ensaio foi utilizado a máquina universal de testes modelo TIME WDW-300E, da marca TIME-SHIJIM com taxa de carregamento entre 20 e 50 mm/min. Para realização do teste os apoios foram colocados sobre um suporte, com a face exposta na instalação voltada para cima, e a carga aplicada foi ao longo da linha mediana por meio da barra de carregamento nos intervalos de 10s a 30s.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Resultado da caracterização da CBC

A Tabela 2 apresenta a composição química da CBC, realizado por fluorescência de raios-X. Através dos resultados, é possível observar a presença predominante de dióxido de silício, a sílica, na composição química da CBC. Esses resultados podem ser comparados com os descritos na literatura (Nunes, 2010; Paula, 2006).

**Tabela 2:** Composição química da CBC por fluorescência de raios-X

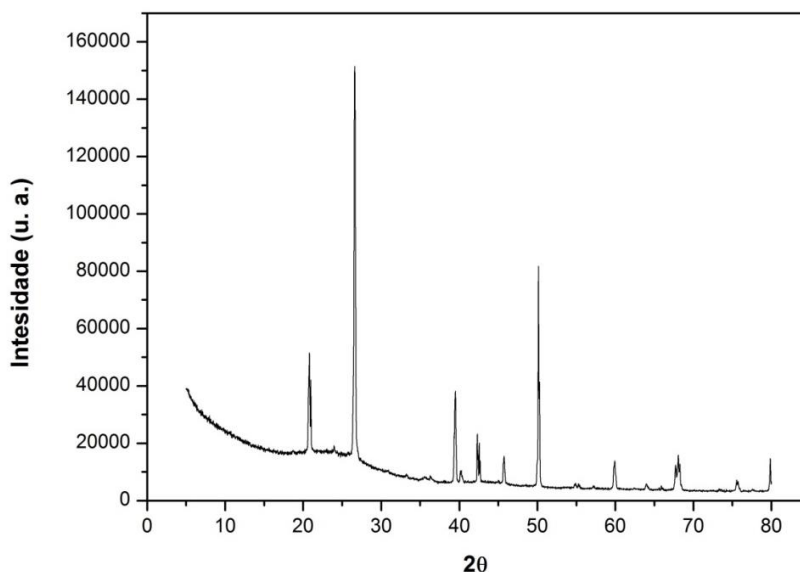
Compostos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Outros
Massa (%)	80,2	4,83	5,32	1,26	5,04	2,66	0,69

Fonte: O autor 2019.

Analisando a Figura 1, é possível perceber que no difratograma de raios-X obtido para a CBC, existem picos que caracterizam o material como de estrutura cristalina. Através do comparativo com as fichas cristalográficas de referência de materiais puro do JCPDS-ICCD (International Centre for Diffraction Data, 1996 apud Freitas, 2005), é possível afirmar que há presença predominante, sendo esta maior que 98%, da estrutura cristalina de  $\alpha$ -quartzo e uma pequena proporção, onde esta é menor que 2%, da mistura de trimidita e cristobalita.

Muitos autores na literatura como Molin Filho et al. (2018), Nunes (2010) e Paula (2006), realizaram estudos sobre a incorporação de cinza de bagaço de cana em materiais aplicados a construção civil, onde esses obtiveram resultados positivos em relação a resistência à compressão, tração por compressão diametral, tração por flexão e absorção de água. Assim, a Cinza do bagaço da cana de açúcar podendo agir como um novo substituto parcial do cimento, mostra-se uma boa alternativa às necessidades de desenvolvimento de tecnologias limpas capazes de contribuir para a sustentabilidade do planeta, reduzindo o impacto causado pela exploração da matéria prima do cimento, o calcário, e pela sua fabricação, onde é um dos maiores geradores de dióxido e monóxido de carbono.

**Figura 1:** Difratoograma de raios-X da CBC



**Fonte:** O autor, 2019.

As diferentes composições foram preparadas para análise do efeito causado pelo aumento da porcentagem de CBC, e proporcionalmente na redução da porcentagem de cimento, sob a resistência da placa cimentícia, tanto como avaliar suas características físicas e mecânicas.

Para a produção das placas cimentícias foram utilizados CBC com granulometria de 0,044 mm. De acordo com a NBR 5752, para a avaliação de um material pozolânico como possível substituto ao cimento Portland, este deve estar com pelo menos 80% de suas partículas menores que 0,045 mm. Desta forma, o controle granulométrico deve ser realizado com grande importância para a reprodução das características físicas e mecânicas da placa cimentícia.

### 3.2 Resultado dos ensaios mecânicos da placa cimentícia.

A NBR 15.498 é a norma que classifica as placas cimentícias de fibrocimento de acordo com a sua aplicação. Para a determinação dos parâmetros da placa, seja está para ambientes externos ou internos, a placa cimentícia tem que apresentar as propriedades físicas mínimas requeridas por essa.

Com a realização dos testes mecânicos nos corpos de provas obtiveram-se os resultados em relação a resistência à tração na flexão simples, deformidade, densidade e índice de absorção de água, onde estes são apresentados na Tabela 3.

Ao analisar os dados da Tabela 3, é possível observar que todas as amostras apresentaram propriedades plásticas quando submetidas à força de tração, elevando assim seu desempenho. Uma vez que essas não apresentaram rupturas repentinas quando submetidas a essa força, permitem um deslocamento de deformidade e evitando, assim o cisalhamento imediato. O trabalho de Martins et al. (2007) também obteve êxito em seu experimento ao substituir 100% da CBC por agregados miúdos elevando o desempenho mecânico do material produzido.

**Tabela 3:** Resultados dos ensaios mecânicos nas placas cimentícias.

Amostras	Resistencia a tração (Mpa)	Deformidade (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de água (%)	CBC utilizado nas argamassas (%)
A	1,9342	0,8413	1,13	28,42	0
B	13,5758	3,3568	1,2	25	44,27
C	1,8478	10,0726	1,14	28,26	70,44
D	1,7977	6,7114	1,16	37,25	40
E	1,7466	15,1209	0,7	51,61	44,27
F	1,3041	10,0821	0,71	53,12	54,37
G	4,1976	10,0844	0,71	39,39	25,4
H	5,2863	10,0832	1,12	22,73	12,3

**Fonte:** O autor, 2019.

O melhor desempenho de resistência mecânica foi obtido pela amostra B, enquanto que G e H ficaram acima do mínimo exigido pela NBR 15.498 além de atingirem variáveis pertinentes a materiais com matriz cimentícia, tal como adesão inicial, plasticidade, consistência, retenção de água, início e final de pega. O corpo de prova F foi o que apresentou menor resistência à flexão simples, e esse resultado deve-se ao excesso de hidratação da argamassa, somado ao alto volume de EPS e ao baixo índice de areia fina na composição da argamassa.

Na Tabela 3 observou-se que a amostra que apresentou maior deformidade foi a E, já as amostras C, F, G e H obtiveram resultados próximos de deformidade. A amostra A foi o corpo cujo obteve menor resultado de deformidade, e este resultado pode ser tachado devido a ausência de CBC e EPS em sua composição. Após a incorporação de CBC na composição da argamassa juntamente com a adição de EPS é possível observar o aumento da plasticidade, onde este resultado é corroborado pelo trabalho de Catoia (2012) que analisou o desempenho de lajes leves de concreto utilizando o EPS incorporado à argamassa e pelo trabalho de Straker; Silva; Panzera (2014) que relacionou a inclusão de EPS para a produção de placas cimentícias.

Após realização do ensaio de densidade, exposto na Tabela 3, pôde ser relacionado a densidade com a proporção de areia fina utilizada na composição da placa, sendo esta diretamente proporcional. A amostra E foi a que obteve a menor densidade, esse desempenho se deve pela incorporação do EPS e ausência de areia fina na argamassa. A que obteve resultado de maior densidade foi à amostra B atingindo 1,20g/cm<sup>3</sup>, atribui-se a esse desempenho a maior proporção de areia fina em sua composição, sendo este também, o material de maior desempenho no teste de resistência a tração na flexão simples devido à perfeita distribuição entre os insumos. Já as amostras E, F e G mostraram a menor densidade, uma vez que sua composição apresentam as menores proporções de areia fina.

A absorção de água é caracterizada como um processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros, portanto, quanto maior a quantidade de água, menor a impermeabilidade (SOARES, 2014). Analisando os resultados da Tabela 3, observou-se que os corpos de prova E e F atingiram os maiores índices de absorção de água, esse resultado foi em decorrência da quantidade de EPS na composição da argamassa, que desta forma aumentou seu índice de vazios. Apesar do volume de EPS entre as amostras

G e H descritos na Tabela 1 ser iguais, a amostra H obteve melhor resultado no índice de absorção de água pelo motivo de conter maior volume de cimento Portland e ter sido melhor hidratada, aumentando sua trabalhabilidade, aglutinação dos elementos e o preenchimento dos vazios.

Na composição da argamassa para as amostras G e H manteve-se constante o percentual de vermiculita e diminuiu o volume de EPS e CBC, o que promoveu um aumento da resistência a tração na flexão simples dos materiais e uma diminuição de seus índices de absorção de água. A hidratação do cimento interfere tanto no comportamento da argamassa no estado fresco, quanto afeta as propriedades no estado endurecido. A argamassa precisa que grande parte do percentual da água fique retida para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de uma maneira adequada, de modo que as propriedades no estado endurecido sejam satisfatórias (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

Como sugere Ugarte, Sampaio, Franca (2008), a vermiculita pode ser utilizada na construção civil como agregado miúdo na formulação de argamassa para função de isolante térmico e acústico ou para a impermeabilização de lajes de cobertura. Após análise nas amostras verificou-se que quanto maior for a concentração de EPS maior a absorção de água, o que faz sentido, pois com o acréscimo de EPS, proporcionalmente se aumenta a porosidade do material. Tanto o EPS como a Vermiculita tem função isolante, térmico e acústico, e redução de peso final da placa, mas a vermiculita por ser um mineral formado por silicatos hidratados tem função impermeabilizante destes materiais, auxiliando assim na formulação de argamassas que buscam menores resultados de permeabilidade.

O ensaio de permeabilidade foi aplicado apenas nas amostras B, G e H, pois essas foram as únicas que apresentaram desempenho mínimo exigido pela NBR 15.498 no teste de resistência à tração na flexão simples. Neste ensaio, os resultados foram concisos e não apresentaram sinais de gotejamento, sendo que apenas a amostra G apresentou umidade na face inferior da placa no período de 24 horas.

Um comparativo entre as amostras B, G e H com quatro marcas conhecidas do mercado de produção de placa cimentícia foi realizado para mensurar o desempenho de densidade e desempenho mecânico, expostos na Tabela 4.

**Tabela 4:** Comparativo em massa entre as amostras B, G e H com as placas comerciais.

Modelo / Marca	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Massa (Kg)	Massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
BrasiPlac / Brasilit <sup>1</sup>	12	240	120	58,8	20,4	2,88
Super Board/ Gypsum <sup>2</sup>	12	240	120	44,38	15,41	2,88
Eterplac / Eternit <sup>3</sup>	12	240	120	58,75	20,4	2,88
Eco Plac / Decorlit <sup>4</sup>	12	240	120	44,38	15,41	2,88
Amostra B	6	120	60	22,05	15,3	1,44
Amostra G	6	120	60	18	12,51	1,44
Amostra H	6	120	60	25,91	18	1,44

Fonte: Autor, 2019 ; <sup>1</sup> <https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimenticia> ; <sup>2</sup> <https://www.gypsum.com.br/pt-pt> ; <sup>3</sup> <https://www.eternit.com.br/produtos/solucoes-construtivas/placas-cimenticias> ; <sup>4</sup> <https://www.decorlit.com.br/>.

No comparativo de acordo com os dados da Tabela 4 nota-se que a presença do EPS na amostra G resultou no menor peso por m<sup>2</sup> chegando a ser 39% mais leve que a

placa comercial com maior peso, e 19% mais leve que a placa comercial com menor peso de acordo com as informações do fabricante.

As características mecânicas das amostras quando comparadas com as principais placas comerciais do mercado brasileiro, pode ser observado na Tabela 5 que, a amostra B obteve o melhor desempenho, este resultado pode ter ocorrido pelo empacotamento das partículas que causam esse efeito físico (CORDEIRO et al., 2008).

**Tabela 5:** Comparação de desempenho mecânico em relação a placas comerciais

Modelo / Marca	Resistencia a flexão (MPa)		Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )		Classificação NBR 15.498	Absorção de água (%)
	Equilíbrio	Saturado	Equilíbrio	Seca		
BrasiPlac / Brasilit <sup>1</sup>	17	11	1,7	1,4	A3	30
Super Board/ Gypsum <sup>2</sup>	12	-	-	1,25	B2	30
Eterplac / Eternit <sup>3</sup>	14	11	1,7	1,4	A3	26
Eco Plac / Decorlit <sup>4</sup>	12	8	1,7	1,54	A3	24
<b>Amostra B</b>	13,6	16,7	1,25	1,21	A4	25
<b>Amostra G</b>	4,2	6,71	0,76	0,71	A2	39,3
<b>Amostra H</b>	5	6,71	1,18	1,11	A2	22,7

Fonte: Autor, 2019 ; <sup>1</sup> <https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimenticia> ; <sup>2</sup> <https://www.gypsum.com.br/pt-pt> ; <sup>3</sup> <https://www.eternit.com.br/produtos/solucoes-construtivas/placas-cimenticias> ; <sup>4</sup> <https://www.decorlit.com.br/>.

As placas comerciais se usadas como referência diminuem sua resistência em estado saturado, mas o mesmo não aconteceu com as amostras B, G e H, onde foi observado um aumento em sua resistência em estado saturado, como demonstrado na Tabela 5. Neste comparativo pode-se destacar que a amostra B apresentou o melhor desempenho na densidade aparente em relação às placas comerciais, e a amostra H o menor índice de absorção de água.

Analisando a Tabela 5 podemos observar que as amostras B, G e H apresentaram parâmetros exigidos pela NBR 15.498 para todos os requisitos relacionados a resistência, densidade, absorção de água e permeabilidade, sendo a amostra B que atingiu a melhor classificação de resistência a tração na flexão simples.

#### 4 CONCLUSÃO

Podemos observar que o experimento obteve resultados consideráveis, sendo que as amostras B, G e H, puderam estar classificadas dentro das normas requeridas pela NBR 15.498. Estas amostras continham entre as proporções de 12 e 45% de CBC utilizada na argamassa, sendo assim possíveis concentrações de resíduo incorporado a ser utilizado, levando em considerações os adicionais das argamassas.

Para a substituição direta da CBC, podemos concluir que para a substituição parcial do cimento Portland, nas proporções de 13% até 25%, podem ser feitas na ausência de areia fina e alcançar resultados consistentes, e se necessário é possível aumentar a concentração de CBC até 45%, se utilizados na argamassa até 1/3 do volume



de areia fina, utilizando em conjunto uma malha de fibra de vidro para manter a resistência superficial da placa.

É possível observar também que o EPS, cuja função é redução de peso, e isolamento da estrutura, tem como problema o aumento dos índices de vazios, ocasionando na maior absorção de água, e a vermiculita expandida, entra para solucionar este índice, onde essa é um mineral de silicatos hidratados, sendo assim um impermeabilizante.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Análise granulométrica do solo**. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9230: **Especificação da Vermiculita expandida**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: **Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15498: **Placa de fibrocimento sem amianto: requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

CACURO, Thiago A.; WALDMAN, Walter R. **Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades**. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 6, p. 2154-2165, 2015.

CAMPOS, P. F. Light Steel Framing: **Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CASTELLANI, Gabriel Antonio; GUIMARÃES, Paulo Victor Campos; FAZZAN, João Victor. **Valorização da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar para a produção de misturas cimentícias**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 12, n. 5, 2016.

CATOIA, Thiago. **Concreto Ultraleve Estrutural com Perlas de EPS: Caracterização do Material e Aplicação em Lajes**. 2012. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B.. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes**. Cerâmica, São Paulo, v. 60, n. 353, p. 69-76, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana de açúcar**. v.5 – Safra 2018/19 N.4. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>

CORDEIRO, G. C. et al. **Pozzolanic activity and filler effect of sugarcane bagasse ash in Portland cement and lime mortars**. Cement and Concrete Composites, [s.l.], v. 30, n. 5, p. 410-418, maio 2008. Elsevier BV <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001>.

DAL MOLIN FILHO, Rafael Germano et al. **Self-compacting mortar with sugarcane bagasse ash: development of a sustainable alternative for Brazilian civil construction**. Environment, Development and Sustainability, p. 1-19, 2018.

- MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. **Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia**. Procedia - Social And Behavioral Sciences, v. 68, n.1, p.87-98, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209>
- MARTINS, C. H.; ZANELLA, R. M.; PAULINO Jr, R. **Potencial do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo**. In: I SEMINÁRIO DE ENGENHARIA URBANA. Anais..., Maringá, Brasil, 2007.
- MECHI, Andréa; SANCHES, Djalma Luiz. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. Estudos avançados, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.
- MOLIN, Dall; DE CASTRO, Brayan Heron; MALANDRIN, Lucas Lima. **Comparativo de custo entre os sistemas construtivos alvenaria convencional, light steel frame e wood frame para habitação popular**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- NUNES, Igo Henrique Silva et al. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. Revista Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 39-48, 2010.
- PAULA, MO de. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 13, n. 3, 2006.
- SANTANA, M. J. A.; CARNEIRO, A. P.; SAMPAIO, T. S. Argamassas de revestimento. In: CASSA, J. C. S.; CAR (org.). **Reciclagem de entulho para a produção de materiais** - EDUFBA; Caixa Econômica Federal, p. 262 - 269, 2001.
- SARHAN, S.; FOX, A. **Barriers to Implementing Lean Construction in the UK Construction Industry**. The Built & Human Environment Review, Cidade, v. 6, p. 1-17, 2013.
- SOARES, F. A. M. **Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi, em compósito cimentício**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei. Departamento de Engenharia Mecânica – 65f, 2014.
- STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H.. **Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor)**. Cerâmica, São Paulo, v. 60, n. 354, p. 310-315, June 2014.
- UGARTE, J. F. de O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.. Vermiculita. **Rochas e Minerais Industriais - Cetem**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 8, p.865-887, jan. 2008.