

# AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS SUSTENTÁVEIS EM CONCRETOS, PAVERS E ARGAMASSA CONFECCIONADOS COM CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Silvia Paula Sossai Altoé<sup>1</sup>, Sarah Honorato Lopes da Silva<sup>2</sup>, José Venâncio Pinheiro Rotta<sup>3</sup>, Isadora Bedusqui de Goes Radke<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Docente, Doutora, Departamento de Engenharia Civil, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá - UEM.  
spsaltoe@uem.br

<sup>2</sup>Docente, Mestre, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – AP, COECL. sarahh@utfpr.edu.br

<sup>3</sup>Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. josevprotta@hotmail.com

<sup>4</sup>Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. isadora\_goes@hotmail.com

## RESUMO

Com o aumento do consumo de recursos naturais e as preocupações em relação à sua finitude, a utilização de resíduos como substituição parcial ou total dos materiais utilizados na construção civil é uma das alternativas que possibilita a redução da utilização destes recursos, além de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. O objetivo deste trabalho é avaliar qual o impacto na sustentabilidade ao se substituir 20% da areia por cinza do bagaço de cana-de-açúcar em concretos, pavers e argamassa. Analisaram-se parâmetros entre as aplicações com e sem resíduos como a redução do consumo de recursos, as emissões de CO<sub>2</sub> e o comparativo de custos. Os resultados demonstram que a utilização do resíduo em cada aplicação atende de forma positiva os parâmetros sustentáveis e nos impactos ambientais, reduzindo as emissões de gases estufa, utilização de recursos e custo para fabricação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem; Sustentabilidade; Cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto, sendo um dos materiais de construção mais utilizado no mercado mundial, é constituído basicamente por água, agregados e aglomerante. Com o aumento populacional e a urbanização, espera-se que a produção de cimento e o consumo de areia e brita se eleve de forma proporcional. Nesse cenário, em 2020, o Brasil produziu cerca de 56,2 milhões de toneladas de cimento, redução de apenas 1%, quando comparado com o resultado de 2019, sendo que entre as regiões do país, a região sudeste é destaque por produzir 26,3 milhões de toneladas, 46,8% da produção nacional (SNIC, 2020). De acordo com o exposto por Bendixen, *et al* (2019), a utilização dos agregados está em situação crítica. A cada ano são extraídos no mundo 32 a 50 bilhões de toneladas de areia e brita para a produção de concreto, vidro e eletrônicos, principalmente. Este montante excede a capacidade natural de renovação dos recursos, de modo em que, próximo ao meio deste século, estima-se que demanda possa superar a oferta.

Dessa forma, o consumo indiscriminado dos recursos naturais vem despertando a importância e urgência de alternativas que minimizem os danos causados ao meio ambiente e que equilibre sua produção e consumo. Altoé (2017b) ressalta que a utilização de materiais alternativos que substituam, de forma total ou parcial, os recursos naturais, resulta em um prolongamento da vida útil das reservas naturais e uma redução da destruição da paisagem, fauna e flora.

As adições, ou seja, substitutos aos componentes do concreto, trazem diversos benefícios tanto econômicos quanto ambientais. Os resíduos gerados pelas indústrias, por exemplo, são, muitas vezes, descartados de forma imprópria, podendo resultar em contaminação e riscos ao solo e fontes naturais de água. Assim, as adições minerais consistem no reaproveitamento desse subproduto, reduzindo o impacto ambiental que ocorreria caso a destinação ocorresse de forma inadequada, e diminuindo as emissões geradas na confecção do concreto. Algumas das adições são as cinzas volantes, escória

de alto-forno, cinzas de casca de arroz, cinzas de óleo de palma, entre outros (DIETRICH, 2015).

Atualmente, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais produzidas em todo o mundo, chegando a um total anual de aproximadamente 1500 milhões de toneladas, dos quais grande parte é cultivada por dois países principais, Brasil e Índia, entre os 110 que são produtores (QUEDOU, WIRQUIN, BOKHOREE, 2021). Como destacado no primeiro levantamento do ano realizado pelo CONAB (2021), apesar da temporada estar em fase inicial, a previsão para a safra brasileira de 2021/22 é de 628,1 milhões de toneladas, representando uma redução de aproximadamente 4% em comparação com o resultado de 2020/21. A área colhida deverá atingir 8.422,77 mil hectares, o que representa uma produtividade de 74.576 kg/ha.

Destaca-se que a cana-de-açúcar é uma das grandes alternativas para o setor de biocombustível devido a produção de etanol e seus subprodutos, entre eles, o bagaço. Deste, dois tipos de resíduos são gerados quando há a queima para geração de energia elétrica. O primeiro é a cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), de granulometria semelhante ao cimento, e o outro é a cinza pesada. Aproximadamente 30% de toda a cana-de-açúcar resulta em bagaço, sendo relevante o fato de as indústrias estarem localizadas próximas as cargas, reduzindo o custo no transporte do resíduo (RUDNICK, LOPES, MARTINS, 2019).

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar parâmetros de sustentabilidade de concretos, pavers e argamassa fabricados com 20% de substituição da areia por CBC pesquisados por quatro autores. A partir de um levantamento analisando o comportamento do material pelos parâmetros de absorção de água e resistência à compressão, verificou-se a sustentabilidade através da redução do emissões de CO<sub>2</sub> e o comparativo de custos entre as aplicações com e sem resíduos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A utilização de adições minerais na construção civil é diversa. A Tabela 1 contempla as características dos traços referência em massa e suas aplicações em cinco estudos que serão analisados nesta pesquisa.

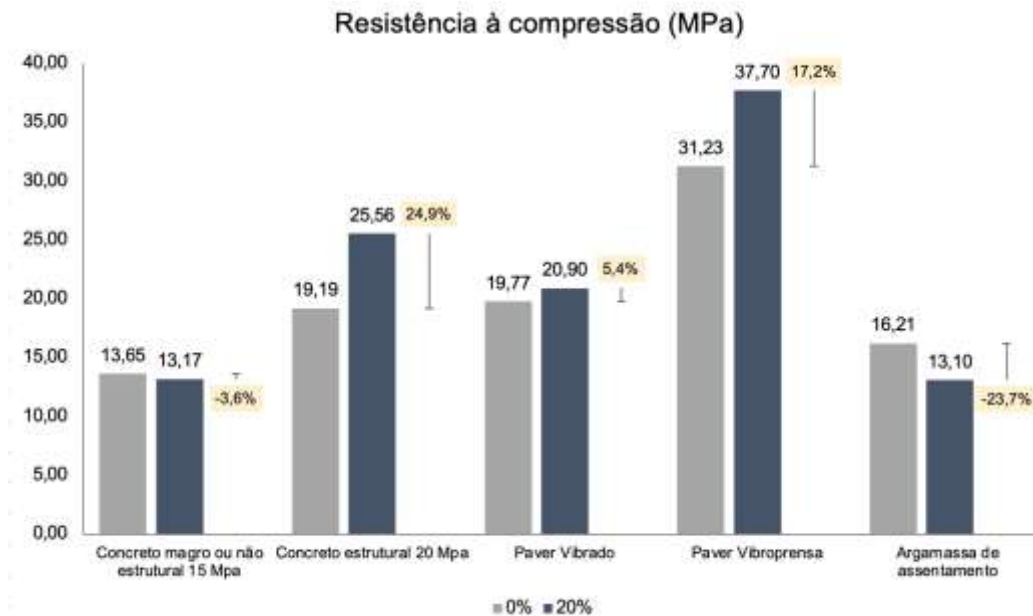
**Tabela 1:** Características das aplicações de CBC nas pesquisas

Aplicação	Autor(es)	Traço referência (TR) em massa
Concreto magro ou não estrutural 15 Mpa	Franco (2019)	1:2,06:2,94:0,55
Concreto estrutural 20 Mpa		1:2:3:0,55
Paver Vibrado	Oliveira (2019)	1:2:2:0,45
Paver Vibroprensa	Altoé (2013a)	1:2,65:1,35:0,42
Argamassa de assentamento	Lombardi (2019)	1:3

**Fonte:** Dados da pesquisa

Para avaliar o potencial da utilização de CBC, analisou-se os materiais a partir de dois parâmetros: resistência à compressão e absorção de água, ambos com substituição de 20% da areia. Na Figura 1, observa-se a influência do resíduo na resistência à compressão. Quando comparado com as misturas referência (0%), os estudos com concreto estrutural 20MPa, paver vibrado e paver vibroprensa resultaram em aumento da resistência em 28 dias, chegando a um incremento de 24,9%, 5,4% e 17,2%, respectivamente. Para o concreto magro 15 Mpa, os resultados entre as amostras foram

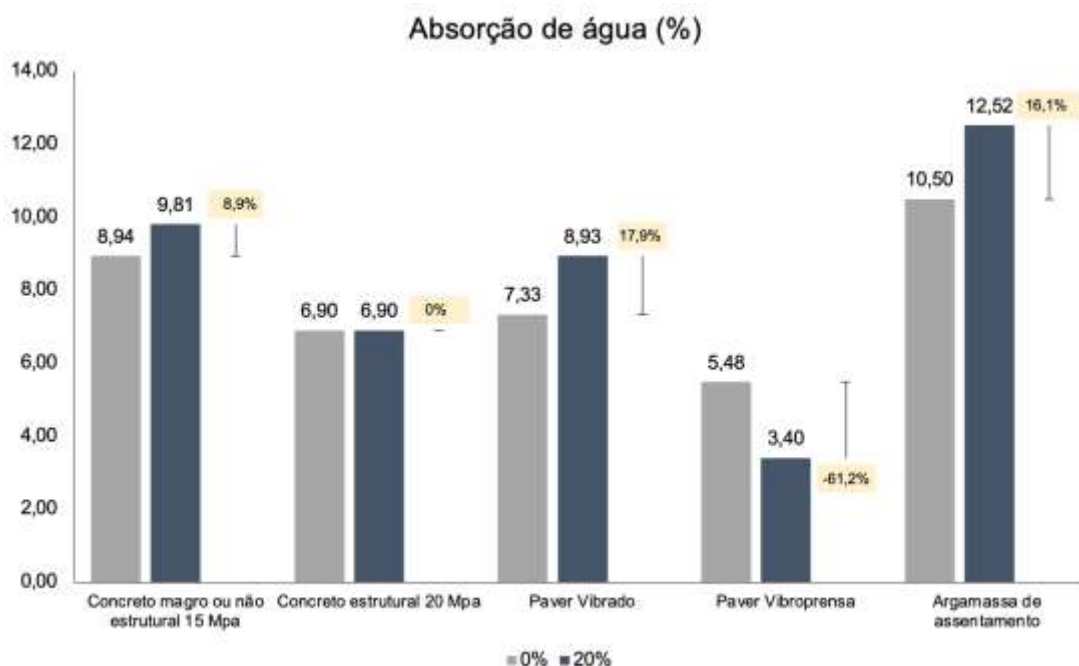
próximos, com uma variação negativa de 3,6%. Já para a argamassa, a redução na resistência à compressão foi de 23,7%.



**Figura 1:** Comparativo da resistência à compressão (MPa) entre a amostra controle (0%) e com substituição por CBC (20%)

**Fonte:** Dados da pesquisa

Na absorção de água (Figura 2), as pesquisas que resultaram em valores maiores do que a amostra controle foram as com concreto não estrutural 15Mpa (8,9%), paver vibrado (17,9%) e argamassa (16,1%). A utilização de CBC no concreto estrutural 20 MPa não surtiu diferenças, ao passo que no paver vibroprensa, a absorção de água reduziu 61,2%.



**Figura 2:** Comparativo da absorção de água (%) entre a amostra controle (0%) e com substituição por CBC (20%)

**Fonte:** Dados da pesquisa

## 2.2 MÉTODOS: PARÂMETROS DE SUSTENTABILIDADE

### 2.2.1 Redução no consumo de recursos naturais

A redução do consumo dos recursos naturais foi analisada comparando a quantidade de material em massa para a fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto/argamassa em cada aplicação, nos traços com e sem resíduos.

### 2.2.2 Emissão de CO<sub>2</sub>

A quantidade de CO<sub>2</sub> que cada traço emite foi calculada a partir do Método para a Quantificação das Emissões de CO<sub>2</sub> (Método QE- CO<sub>2</sub>), desenvolvido por Costa (2012). O equacionamento geral consiste na multiplicação da quantidade de produto utilizado na obra pelo fator de perda e pelo somatório das emissões geradas pelo consumo de energia e pelo transporte (Equação 1).

$$Emissões_{MT1,j} = QT_j \times FP_j \times (Emissões_{TR1,i} + Emissões_{EN1,i}) \quad (1)$$

Em que,

$Emissões_{MT1,j}$  são as emissões devido à utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO<sub>2</sub>;

$QT_j$  é a quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

$FP_j$  é o fator de perda do produto j, adimensional, para concreto 6%;

$Emissões_{TR1,i}$  são as emissões de devido ao consumo de energia i para o transporte de matérias primas e do produto j para a edificação, em toneladas/tonelada de produto j;

$Emissões_{EN1,i}$  são as emissões devido ao consumo de energia i para extração e processamento do produto j necessário na edificação, em toneladas/tonelada de produto j.

A fórmula é adaptada para cada material de construção e suas particularidades. O método possui três subdivisões de acordo com o nível de precisão de estimativas para cada material: básico, intermediário e avançado. Devido aos dados adquiridos, optou-se para esta pesquisa o Método Básico, que utiliza dados médios a nível nacional.

### 2.2.3 Comparação de Custos

A avaliação deste parâmetro foi realizada comparando o custo dos materiais para a confecção de 1m<sup>3</sup> de concreto/argamassa nos traços com e sem resíduos, em cada aplicação.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 REDUÇÃO DO CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS

Para se avaliar a redução de consumo de recursos naturais, levantou-se, primeiramente, a quantidade de material em massa para a fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto e argamassa em cada uma das aplicações tanto no traço referência (TR) quanto no traço com substituição em 20% (T20%). A partir disso, pode-se calcular a quantidade de areia que se deixa de utilizar quando se aplica o CBC, em kg. Tal parâmetro chega a uma redução de 291kg na argamassa. Em termos totais, ao analisar a quantidade em massa para fabricar 1m<sup>3</sup> de cada traço referência e a redução de 20% do agregado miúdo, tem-se uma redução

da quantidade total de materiais do TR de 6,87% no concreto magro 15 MPa a 15% na argamassa, por exemplo. Essas reduções no traço referência são posteriormente substituídas pelo resíduo e resultam no T20%.

**Tabela 2:** Consumo de materiais em massa para fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto/argamassa

Aplicação	Cimento (Kg)	Agregado Graúdo (Kg)	CBC (Kg)		Agregado Miúdo (Kg)		Redução do agregado miúdo (Kg)	Redução dos materiais do TR (%)
	TR/T20%	TR/T20%	TR	T20%	TR	T20%		
Concreto magro 15 MPa	376,0	1105,4	0,0	154,9	774,6	619,6	154,9	6,87
Concreto estrutural 20 MPa	375,0	1125,0	0,0	150,0	750,0	600,0	150,0	6,67
Paver vibrado	555,0	1110,0	0,0	222,0	1110,0	888,0	222,0	8,00
Paver Vibroprensa	437,0	655,5	0,0	218,5	1092,5	874,0	218,5	10,00
Argamassa	485,0	0,0	0,0	291,0	1455,0	1164,0	291,0	15,00

Fonte: Dados da pesquisa

### 3.2 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Um dos principais objetivos deste estudo é verificar o impacto da substituição de 20% da areia pelo resíduo CBC na emissão de CO<sub>2</sub>, ou seja, verificar se a proposta contribui de forma positiva, reduzindo, portando, as emissões na atmosfera. Pelo método utilizado, calcula-se a emissão no transporte, que varia com a distância e fatores tabelados, e soma-se com a emissão na produção, que leva em consideração o consumo de energia para extração e processamento do material, para se obter, ao final, o valor total de emissão em t/kg. Para fins de cálculo, os valores assinalados foram estabelecidos por Costa (2012) e a distância considerada no equacionamento inicia-se no ponto de extração dos materiais até a cidade de Maringá, no Paraná.

**Tabela 3:** Emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais

MATERIAL	Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte				Emissão de CO <sub>2</sub> na produção*	Emissão total (produção+emissão) de CO <sub>2</sub> (t/kg)
	Distância (Km)	Cot.*	Feche*	Total		
Cimento	1120	0,0196	0,0032	0,0702	0,6281	0,6983
Agregado Miúdo	370	0,0196	0,0032	0,0232	0,0722	0,0954
Agregado Graúdo	25	0,0196	0,0032	0,0016	0,0719	0,0735
Cinza	20	0,0196	0,0032	0,0013	-	0,0013

\*valores tabelados por Costa (2012)

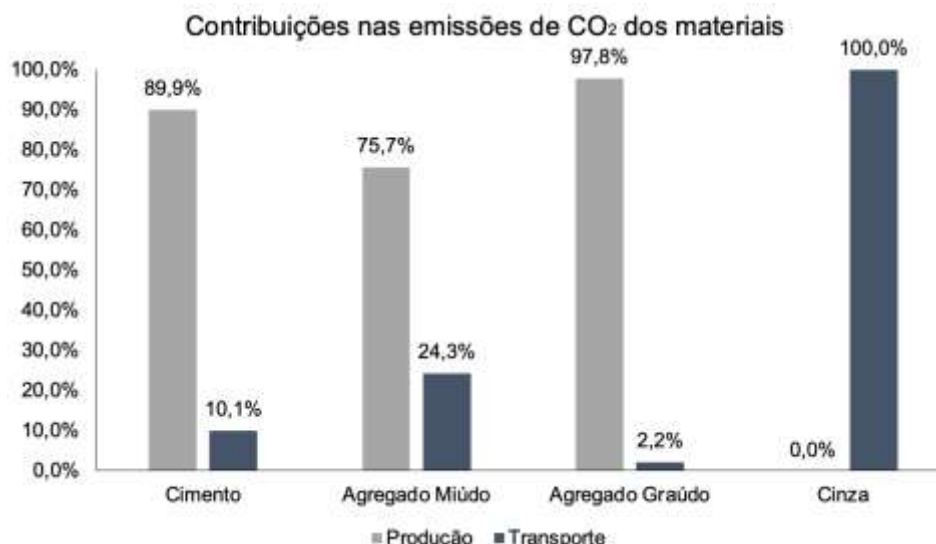
Cot.= fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo, em L/t/km. Adotou-se um caminhão de 12 a 26 t

Feche = fator de emissão corrigido da energia CO<sub>2</sub>, em t/L

Fonte: Dados da pesquisa

Assim, é possível verificar a contribuição tanto do transporte quanto da produção na emissão de cada componente utilizado. Pela Figura 3, observa-se que a maior parte do gás carbônico dos materiais provém do seu processo de produção. O resíduo se destaca por emitir CO<sub>2</sub> apenas no processo de transporte, uma vez que, ao invés de ser transportado para seu descarte em aterros sanitários, por exemplo, pode-se ser levado diretamente à canteiros de obra e/ou indústrias para sua utilização.





**Figura 3:** Contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> devido a produção e do transporte de cada material em porcentagem

**Fonte:** Dados da pesquisa

A partir das quantidades de material apresentadas na Tabela 2 e da emissão total em t/kg exposta na Tabela 3, obtêm-se a quantidade de emissão total para a fabricação de 1m<sup>3</sup> em cada aplicação, utilizando um traço com e outro sem o resíduo. Tais resultados estão dispostos na Tabela 4. Assim, verifica-se que com a substituição de 20% do agregado miúdo por resíduo CBC, houve uma redução média da emissão total de CO<sub>2</sub> de 4,15% nas aplicações, variando de 3,49% no concreto não estrutural 15MPa até 5,73% para a fabricação da argamassa.

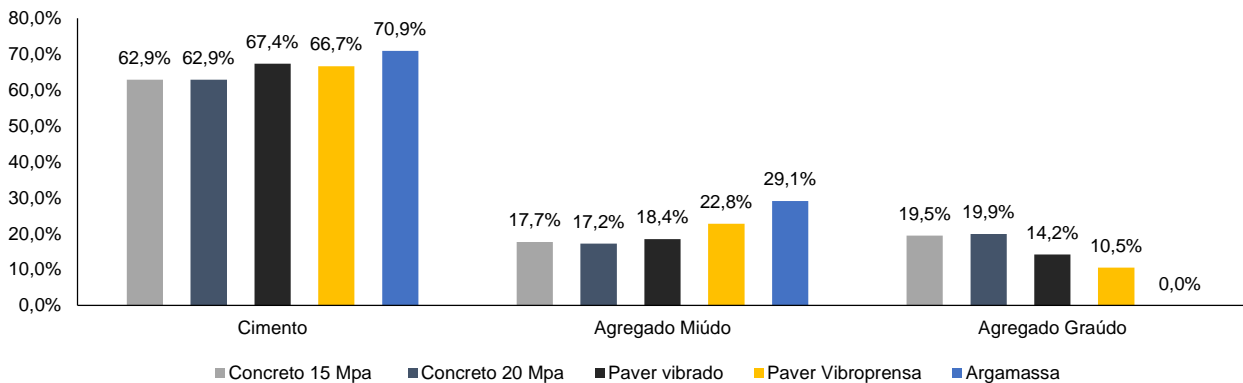
**Tabela 4:** Redução na emissão de CO<sub>2</sub> com a utilização de CBC em 20%

Aplicação	Emissão total (tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )		Redução na emissão de CO <sub>2</sub> (%)
	TR	T20%	
Concreto magro 15 MPa	0,0251	0,0242	3,49
Concreto estrutural 20 MPa	0,0250	0,0241	3,39
Paver vibrado	0,0345	0,0332	3,63
Paver Vibroprensa	0,0275	0,0262	4,49
Argamassa	0,0286	0,0270	5,73

**Fonte:** Dados da pesquisa

É de importância destacar a contribuição individual nas emissões de cada material em sua aplicação. Nos traços sem resíduos, o cimento contribui, em média, pela emissão de 66% dos gases, sendo responsável pela maior parte das emissões na fabricação dos concretos e argamassa. Os agregados miúdo e graúdo possuem papel secundário, contribuindo, em média 21% e 16%, respectivamente (Figura 4). Cabe destacar dois pontos essenciais para análise. O primeiro é que o cimento é, de fato, o menor contribuinte em massa nos traços, como exposto na Tabela 2, e o responsável pela maior quantidade de emissões em todos os traços. Por outro lado, apesar dos agregados contribuírem de forma menor para as emissões de CO<sub>2</sub>, a quantidade de recursos que são extraídos, ou seja, a quantidade em massa necessária para a fabricação dos materiais é muito maior do que a de cimento.

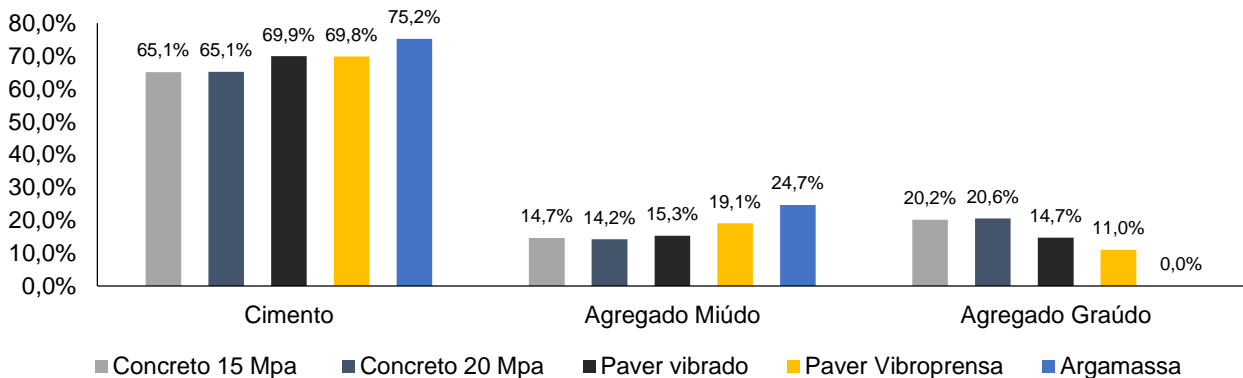
Contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> na fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto/argamassa (TR)



**Figura 4:** Contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> de cada material por aplicação no TR  
**Fonte:** Dados da pesquisa

Pode-se verificar pela Figura 5 que na substituição de 20% do agregado miúdo, este reduz sua contribuição e conseqüentemente, o cimento ganha destaque ainda maior em se tratando das emissões, chegando a ser responsável por 75,2% nas argamassas. A influência da adição no agregado graúdo é pequena, mantendo seus valores semelhantes aos apresentados no TR. Cabe ressaltar que o resíduo CBC não foi descrito por contribuir de forma extremamente reduzida quando comparado aos outros materiais (aproximadamente 0,06%).

Contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> na fabricação de 1m<sup>3</sup> de concreto/argamassa (T20%)



**Figura 5:** Contribuição nas emissões de CO<sub>2</sub> de cada material por aplicação no T20%  
**Fonte:** Dados da pesquisa

### 3.3 ANÁLISE DE CUSTOS

Os custos foram analisados a partir do levantamento de preços dos itens necessários para a produção dos concretos e da argamassa, bem como a quantidade em massa necessária para a fabricação de 1m<sup>3</sup> em cada traço. Para o custo do CBC, considerou-se apenas o valor do frete, sendo 0,015 R\$/kg, já que não há valor de mercado para o resíduo. Ainda, os valores unitários em R\$/Kg dos outros materiais levantados pela pesquisa foram: cimento (0,8), areia (0,052) e brita (0,046). Os custos totais do traço referência (TR) e do traço com 20% de substituição (T20%) estão descritos na Tabela 5 abaixo.

**Tabela 5:** Redução de custos por m<sup>3</sup> a partir da substituição de 20% CBC

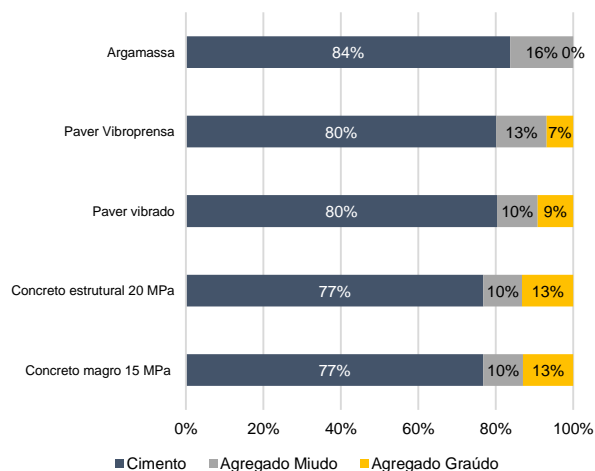
Aplicações	CUSTO TOTAL - TR (R\$/m <sup>3</sup> )	CUSTO TOTAL -T20% (R\$/m <sup>3</sup> )	Redução de custo (R\$/m <sup>3</sup> )	% de redução de custo por m <sup>3</sup>
Concreto magro 15 Mpa	391,93	386,19	5,73	1,5
Concreto estrutural 20 Mpa	390,75	385,20	5,55	1,4
Paver vibrado	552,78	544,57	8,21	1,5
Paver Vibroprensa	436,56	428,48	8,08	1,9
Argamassa	463,66	452,89	10,77	2,3

Fonte: Os autores (2021)

A partir desses resultados, verifica-se que a variação entre os custos totais de produção e transporte com e sem CBC foi de 1,4% para o concreto 20 MPa até 2,3% de economia para a argamassa.

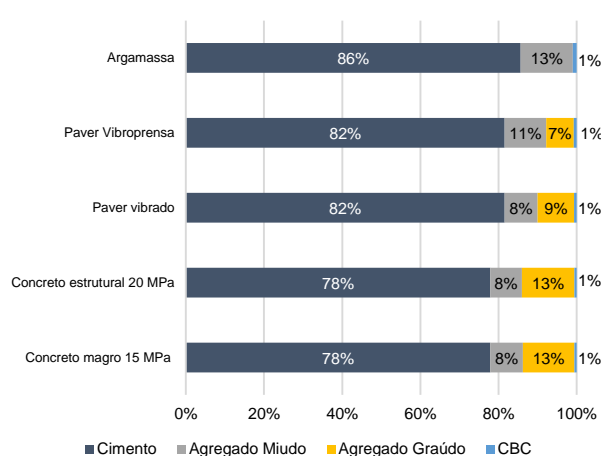
Cabe destacar também a contribuição de cada material para o custo total dos traços com e sem a substituição. Na Figura 6, observa-se que da mesma forma que ocorreu nas emissões de CO<sub>2</sub>, quando a areia foi substituída pelo CBC, o cimento passou a ter uma contribuição ainda maior. O resíduo possui um impacto no valor total muito reduzido, sendo 1% para todas as aplicações.

Contribuição em % de cada material no custo para fabricação de 1m<sup>3</sup> (TR)



(a)

Contribuição em % de cada material no custo para fabricação de 1m<sup>3</sup> (T20%)



(b)

**Figura 6:** (a) Contribuição em % de cada material no custo para fabricação de 1m<sup>3</sup> (TR); (b) Contribuição em % de cada material no custo para fabricação de 1m<sup>3</sup> (T20%)

Fonte: Dados da pesquisa

## 4 CONCLUSÃO

De acordo com dados levantados no estudo, verificou-se que a substituição do agregado miúdo por 20% de CBC resultou em valores de resistência próximos ou maiores do que as amostras referência, com comprometimento apenas na resistência da argamassa, em que a redução foi de 23,7%. De forma semelhante, na absorção de água, as amostras com resíduo tiveram valores maiores ou iguais, com exceção ao paver vibroprensa, em que houve uma redução de 61,2%. Tais resultados confirmam que a aplicação de CBC pode ser viável em diversas aplicações, tanto estruturais como não-estruturais.



Em se tratando de sustentabilidade, a utilização do resíduo gerou significativa redução da utilização dos recursos naturais. Verificou-se, de forma mais expressiva, a diminuição em quantidade na confecção de argamassa e de paver vibrado, sendo 291kg e 222kg respectivamente. Apesar do cimento ser o principal contribuinte das emissões de CO<sub>2</sub>, a utilização de CBC gerou uma redução média de 4,15% nas aplicações. Ainda, ao se analisar a redução de custos, já que o resíduo não possui valor comercial e, considerando que o cimento representa aproximadamente 80% do preço dos traços, houve uma redução de custos em todos os traços, chegando a 2,3% na fabricação da argamassa.

Assim, a análise comparativa em diversas aplicações de CBC na substituição de areia dos traços propostos gera uma magnitude dos impactos que podem ser reduzidos com a inserção de materiais substitutivos, como os resíduos, aos materiais comumente utilizados no setor da construção civil. Posto isso, visando os objetivos dessa pesquisa, devido aos benefícios sustentáveis, ambientais e econômicos verificados, conclui-se a potencialidade da cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar em substituir a areia em diversas aplicações.

## REFERÊNCIAS

ALTOÉ, S. P. S. **Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2013. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013a.

ALTOÉ, S. P. S. **Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (pavers)**. 2017. 174f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017b.

BENDIXEN, M., BEST, J., HACKNEY, C., IVERSEN, L.L. Time Is Running Out for Sand. **Nature**, v. 571, n. 1, p. 21–31, Jul, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02042-4>. Acesso em: 02 jul. 2021.

COSTA, B, L, C. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

**CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 8, n. 1, maio 2021.

DIETRICH, Y. P. **Durabilidade de concretos produzidos com adição de resíduos provenientes de rochas ornamentais frente à ação de íons cloreto**. 2015. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

FRANCO, B. Y. K. **Caracterização de concreto com substituição parcial de agregado miúdo por cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2020. 57 f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2020.

LOMBARDI, J. H. C. **Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. 2019. 181 f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2019.

OLIVEIRA, B. M. **Aproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na confecção de pavers**. 2019. 89 f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2019.

QUEDOU, P. G.; WIRQUIN, E.; BOKHOREE, C. Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry. **Case Studies in Construction Materials**, v. 14, n. 1, Jun, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00545>. Acesso em: 02 jul. 2021.

RUDNICK, T.; LOPES, J. P.; MARTINS, C. H. Utilização da cinza leve de bagaço de cana-de-açúcar como material pozolânico. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 216-228, Abr, 2019.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Números da Indústria – Produção regional 2020**. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1624016982.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.