2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DE ÍNDICES AMBIENTAIS E ASPECTOS ECONÔMICOS DE BLOCOS DE CONCRETO FABRICADOS COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO E CINZAS DE CASCA DE ARROZ

CAVALLI, Juliana Giazzon (1); VOGT, Maira Machado (2); CHIELE, Gabriel Schaan (3); BIGOLIN, Morgane (4); SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto (5);

(1) UFRGS, julianagiazzon@gmail.com
(2) UFRGS, mairavogt@gmail.com
(3) UFRGS, gabrielchiele@gmail.com
(4) UFRGS, morgane.b@gmail.com
(5) UFRGS – lcarlos66@gmail.com

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por grande volume de geração de resíduos sólidos, emissão de poluentes e uso de energia na produção de componentes construtivos. Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerados são frequentemente descartados de forma irregular, configurando-se em um problema para as cidades. A Cooperativa de Trabalho SocioAmbiental (CTSA) produz e comercializa blocos de concreto fabricados com agregado beneficiado a partir do RCD. Através de parceria com a UFRGS, desenvolvem-se melhorias do produto para adequação à NBR 6136 (ABNT, 2016) e promoção de maior sustentabilidade. O presente estudo quantifica e discute a emissão de CO_2, o índice energético e o custo de produção de três propostas de blocos de concreto. Através da análise dos dados apresentados, constatou-se que o bloco que se apresenta como mais sustentável e de menor custo é o que inclui a substituição de 65% do agregado natural por agregado RCD e a substituição parcial do cimento por cinzas resultantes da queima de casca de arroz.

Palavras-chave: *sustentabilidade, resíduos de construção e demolição, RCD, concreto reciclado, cinzas de casca de arroz, pegada ecológica.*

ABSTRACT

The civil construction sector is responsible for a large volume of solid waste generation, emission of pollutants and energy use in the production of construction components. The Construction and Demolition Waste (CDW) generated is often discarded irregularly, becoming a problem for cities. Cooperativa de Trabalho SocioAmbiental (CTSA) produces and sells concrete blocks manufactured with processed aggregate from the CDW. Through a partnership with UFRGS, product improvements are being developed to adapt to NBR 6136 (ABNT, 2016) and promote greater sustainability. The present study quantifies and discusses the CO_2 emission, the energy index and the production cost of three concrete block proposals. Through the analysis of the data presented, it was found that the block that presents itself as more sustainable and of less cost is the one that includes the replacement of 65% of the natural aggregate by CDW aggregate and the partial replacement of cement by ashes resulting from the burning of rice husk.

Keywords*: sustainability, construction and demolition waste, CDW, recycled concrete, rice husk ash, ecological footprint.*

[1] CAVALLI, Juliana Giazzon; [2] VOGT, Maira Machado; [3] CHIELE, Gabriel Schaan; [4] BIGOLIN, Morgane; [5] SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto. Análise de índices ambientais e aspectos econômicos de blocos de concreto fabricados com resíduos de construção e demolição e cinzas de casca de arroz. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da década de 1970, extrai-se mais recursos naturais do que o planeta Terra é capaz de repor (WWF, 2016). A Organização das Nações Unidas (ONU) Meio Ambiente estima que o só o setor da construção civil seja responsável por 40% das emissões globais de CO_2 (UN ENVIRONMENT, 2018). Diante da complexidade do contexto atual e de uma cultura de consumo que tende à escassez, pensa-se em novas alternativas de desenvolvimento que abranjam os três aspectos da sustentabilidade: ambientais, econômicos e sociais. Nessa linha, a agenda 2030 da ONU (ONU, 2015) apresenta os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para nortear ações globais deste possível novo modelo de desenvolvimento. No Brasil, 62,85% da totalidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos provém da construção civil (ABRELPE, 2018). O ODS nº 12 representa o incentivo a uma cultura de consumo e produção responsáveis, destacando-se a reciclagem de resíduos como fator importante no fomento de economias circulares. Dessa forma, a reutilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no próprio setor traz benefícios ambientais, como a redução da extração de recursos naturais, de emissões de CO_2, disposições inadequadas dos resíduos e custos municipais de tratamento (ALBERTE, 2012).

Em Porto Alegre, a implementação da Lei Municipal nº 10.531 de 2008 que proíbe a circulação de catadores de materiais recicláveis deixou diversas famílias do bairro Cristal sem trabalho e renda. Nesse contexto, surge a Cooperativa de Transformação Sócio Ambiental (CTSA), projeto desenvolvido em parceria com a UFRGS para a fabricação de blocos de concreto com reutilização de RCD que gera trabalho e renda através de modelo de negócio pioneiro na região. Desde 2009, realizaram-se cursos desenvolvidos por acadêmicos da UFRGS para a capacitação dos cooperados e assessoria científica e tecnológica com o intuito de adequar o bloco de concreto para alvenaria de vedação às exigências da NBR 6136 (ABNT, 2016) e torná-lo o mais sustentável possível. Em 2019, os pesquisadores constataram que blocos fabricados apenas com agregado RCD não atendem às normas de desempenho (CHIELE et al., 2019). Porém, estudos a serem publicados em 2020 apresentam resultado satisfatório referente a resistência à compressão axial dos blocos com substituição parcial de agregado reciclado pelo natural. Agora, para que se reduza ainda mais a pegada ecológica dos blocos de concreto reciclado, estuda-se substituir também parte do cimento por cinzas de casca de arroz, material com potencial pozolânico e disponível na região.

Esse trabalho trata-se de um estudo preliminar que dá base para o desenvolvimento técnico de blocos RCD com cinzas de casca de arroz. Tendo em vista que o objetivo principal da equipe é tornar esse produto comercializável pela cooperativa parceira, pretende-se verificar os impactos ambientais e econômicos reais desta alteração na mistura e se tal adição mostra-se vantajosa ou não no contexto em questão. Serão necessários ainda posteriores ensaios qualitativos referentes à resistência à compressão axial e absorção de água para caracterização físico-mecânica dos blocos com cinzas de casca de arroz. O artigo analisa os três diferentes blocos de concreto fabricados com RCD citados através da quantificação e comparação da emissão de CO_2, do índice energético e custo de produção. Atualmente somente o bloco A, cujo agregado é composto em parte por RCD e em parte por areia, é comercializado pela CTSA. O bloco B, produzido até 2018 pela CTSA e reprovado em relação ao desempenho (CHIELE et al., 2019), é composto por agregado 100% RCD. Com o intuito de incorporar cinzas de casca de arroz (CCA) na mistura em substituição parcial do cimento, apresenta-se o bloco C.

2 METODOLOGIA

A análise da emissão de CO_2 e do índice energético dos blocos RCD produzidos pela CTSA foi realizada para possibilitar a compreensão de seu impacto ambiental bem como verificar a viabilidade e sustentabilidade de novas práticas de produção e utilização de insumos. Através da caracterização da produção e do transporte dos insumos bem como da produção dos blocos na CTSA, foi possível a quantificação dos custos ambientais e financeiros de cada uma das propostas de bloco apresentadas. Ao se explorar a literatura acadêmica atual com relação ao tema proposto neste trabalho, constata-se não haver metodologia formal para o cálculo de consumo de água. Dentre as possibilidades encontradas, todas concedem aos pesquisadores a escolha dos critérios a serem utilizados, tornando este tópico bastante heterogêneo. Com perspectivas de discutir melhor e verificar prioritariamente os efeitos da emissão de CO_2 e o índice energético dos blocos assim como os custos das diferentes propostas de bloco, optou-se, por não incluir os resultados referentes ao consumo de água da produção dos blocos. Resultados mais completos de análise do produto que incluem a verificação do consumo de água serão apresentados futuramente pela equipe de pesquisadores através da Avaliação de Ciclo de Vida dos blocos. Apesar da análise de custos não estar inclusa na metodologia de cálculo de propostas que verificam impacto ambiental, como cálculo de pegada ecológica, os aspectos econômicos da fabricação dos blocos são fatores de decisão pois impactam na geração de lucro para a cooperativa e no preço final do produto. Dessa forma, realizou-se levantamento de custos que contribui para gestão da cooperativa.

2.1 Caracterização dos materiais

No presente estudo, serão analisadas três diferentes misturas de concreto, objetivando-se a comparação de seus efeitos ambientais: o Bloco A possui acréscimo de areia natural na mistura; o bloco B é constituído totalmente de agregado RCD e maior quantidade de agregado graúdo em relação aos outros dois blocos; no bloco C utilizou-se uma parte de areia natural e adição de cinzas de casca de arroz em substituição parcial do cimento. Essas variantes estão apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 – Misturas de concreto dos blocos A, B e C

Bloco	Traço	Cimento		CCA		Agregado miúdo natural		Agregado miúdo RCD		Agregado graúdo RCD	
		(%)	(m³)	(%)	(m³)	(%)	(m³)	(%)	(m³)	(%)	(m³)
A	1 : 3,5 : 1,5	16,67	0,0013	-	-	29,165	0,0023	29,165	0,0023	25	0,002
B	1 : 3 : 2	16,67	0,0013	-	-	-	-	50	0,004	33,33	0,0027
C	1 : 3,5 : 1,5	13,336	0,001	3,334	0,0003	29,165	0,0023	29,165	0,0023	25	0,002

Fonte: Os autores

O cimento utilizado nos blocos é do tipo CP IV-32 RS, cuja massa específica é de 2,83 g/cm³ (Itambé, 2015) ao custo de 1.132,00 R$/m³. O agregado miúdo natural é a areia média, com massa específica de 2,63 g/cm³ (PAULLETI, 2004) ao custo de 460,25 R$/m³. Estes dois insumos são obtidos em loja de materiais de construção da cidade. O RCD Classe A é proveniente da Unidade de Destino Certo Diário de Notícias, sem custo adicional. A massa específica deste resíduo bruto é de 1,69 g/cm³ (ARAÚJO E CARNAÚBA, 2010). Após o seu beneficiamento na CTSA, os agregados reciclados graúdo, material passante na peneira 9,5mm e retido na

peneira de 4,75mm, e miúdo, material passante na peneira 4,75mm e retido na peneira de 1,18mm, possuem massas específicas de 2,61 g/cm³ e 2,04 g/cm³, respectivamente, conforme mostram estudos da equipe (CHIELE et al.,2019). As cinzas de cascas de arroz são resíduo do processo de queima de cascas de arroz realizada para a obtenção de energia elétrica pela Creral, termoelétrica da cidade de São Sepé, no interior do estado. A incorporação desse resíduo nos blocos reciclados reforça o conceito de economia circular visto que as cinzas resultam de processo de reaproveitamento dos resíduos provindos do cultivo de arroz. Essa abordagem se torna ainda mais pertinente pelo fato do Rio Grande do Sul ser o maior produtor do grão no Brasil, participando com cerca de 70% de toda a produção nacional em 2020 (IBGE, 2020). A massa específica de cinzas de casca de arroz é de 2,06 g/cm³ (WEBER, 2001) e o material é fornecido gratuitamente pela termelétrica Creral.

2.1 Fabricação dos blocos

Os blocos de concreto estudados nesta pesquisa são produzidos na CTSA pelos próprios cooperativados e são definidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016) como blocos vazados de concreto simples, apresentando três furos e dimensões nominais de 14×19×39 cm. Destinam-se à execução de alvenaria com ou sem função estrutural.

O processo se inicia com a chegada do RCD Classe A na Cooperativa. O material é encaminhado para o britador, modelo TM 3CV, onde um funcionário controla o volume de material que será britado. Após a britagem, o resíduo beneficiado segue através de esteira para as peneiras, onde é segmentado em 4 subprodutos: areia artificial (1,18 mm<x< 4,75 mm), pedrisco (4,75<x<12,5mm), finos (agregado passante na peneira de malha de 150 µm) e agregado com granulometria acima de 12,5 mm, que retorna ao britador. Para o concreto produzido na Cooperativa, são utilizados a areia artificial e o pedrisco, sendo esses denominados os agregados RCD miúdo e RCD graúdo da mistura, respectivamente. Os blocos são fabricados no mesmo galpão onde o RCD é beneficiado e armazenado, dispensando transporte entre uma etapa e outra. Os insumos são mensurados por volume e misturados em betoneira modelo CSM - CS 400 litros. A consistência da massa é testada manualmente pelo operador e dá-se por adequada quando atinge consistência seca, de "farofa". A massa é então lançada à vibro prensa pneumática MFW, modelo VPO1100 que dá início a fabricação com processos de deposição da massa na forma, vibração, prensa e desenforme. Cada ciclo da prensa leva 30 segundos e produz 3 blocos. Após, é feita a cura durante 7 dias no galpão da CTSA, onde permanecem armazenados até a comercialização.

2.3 Transporte

O transporte de insumos até a cooperativa influencia diretamente no impacto ambiental dos blocos pois o consumo de diesel no transporte é responsável por grande parte das emissões de CO_2 totais do produto Para que este seja o menor possível, a proximidade entre a cooperativa e os fornecedores é aspecto decisivo.

Para garantir a correta destinação dos resíduos provenientes da construção civil, a Lei Municipal nº 10.847 que institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (RCCs) estabelece que o RCD deve ser enviados até um dos 8 pontos de coleta do DMLU de Porto Alegre. Para a produção dos blocos, o RCD é fornecido sem custo pela UDC mais próxima, a Diário de Notícias, distanciada apenas 1,2 km da CTSA. O agregado natural e o cimento CP IV são comprados em

loja localizada a 22 km da CTSA. As cinzas de casca de arroz serão fornecidas pela Creral, termelétrica localizada em São Sepé, a 274 km da CTSA.

Para o transporte de insumos, considerou-se a utilização de um caminhão semipesado de 3 eixos de capacidade máxima de 14 toneladas. A capacidade volumétrica depende da densidade de cada material. O rendimento do diesel é de 0,22 litros/tonelada*km, a emissão de carbono é de 2,671 kg CO_2/L (BRASIL, 2011) e o custo do litro do diesel é de 3,60 R$ (preço de 01/01/2020 em Porto Alegre). Portanto, em função da distância percorrida, o consumo energético de transporte é de 0,00078 MJ/km e o custo é de 0,792 R$ a cada 1 km.

2.4 Índice energético

O uso de energia elétrica para a produção dos blocos considera a energia necessária para a produção de cada insumo e o tempo de utilização do maquinário referente à produção dos blocos cujo custo é de R$ 0,12/MJ, preço da energia em Porto Alegre em 01/01/2020.

Por se tratar de resíduos, considera-se o índice energético do agregado RCD somente o utilizado para seu beneficiamento, realizado em britador modelo TM 3CV que, segundo fabricante, beneficia 1m³ de agregado RCD por hora, tem potência 2,23 kW e consumo energético de 8,03 MJ/m³ , gerando custo de R$ 0,96 por m³. O índice energético das cinzas de casca de arroz, resíduo que não exigem processo de transformação, é considerado zero. A produção do cimento CP IV-32 RS tem índice energético 1,88 MJ/kg (CARVALHO, 2002) e a produção de areia média tem índice energético 0,07 MJ/kg (SPERB, 2000).

O maquinário e o processo de fabricação dos blocos permanecem os mesmos e, portanto, os blocos A, B e C apresentam mesmo índice energético em seu processo de fabricação cujo cálculo se dá em função do volume total da massa dos blocos de 0,0795 m³. A betoneira CSM utilizada para a mistura da massa dos blocos produz 4,1 m³/h, é modelo CS 400 litros de potência 1,471 kW, consumo energético de 1,29 MJ/m³ e gera custo de R$ 0,15 por m³. Para o prensagem dos blocos, utiliza-se vibroprensa MFW modelo VPO1100 de potência 1,471 kW, produção de 3 m^3/h, consumo energético de 1,77 MJ/m³ e custo de R$ 0,21 por m^3. Sendo assim, o IE de cada bloco referente ao processo de produção é de 0,02433 MJ.

2.5 Pegada de carbono

A análise da pegada de carbono dos blocos inclui a emissão de carbono referente à fabricação e transporte de cada insumo até a CTSA.

Por tratarem-se de resíduos, considera-se zero a emissão de carbono referente à produção das cinzas de casca de arroz e do agregado RCD. A emissão de carbono da areia é de 0,0722 kg CO_2/kg de areia (COSTA, 2012). A emissão de carbono do cimento CP IV-32 RS é de 1 kg CO_2/kg de cimento (HOOTON;BICKEY, 2014)(MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Em relação ao transporte dos insumos até a CTSA, considera-se 14 toneladas em cada carga do caminhão e trajeto já referidos anteriormente. A emissão de carbono foi calculada em função do volume de cada insumo transportado e, portanto, depende da massa específica de cada insumo. Ressalta-se que o agregado RCD é beneficiado na CTSA e dessa forma seu transporte até a

cooperativa acontece ainda em forma de Resíduo de Construção e Demolição cuja massa específica utilizada no cálculo é de 1,69 g/cm³ (Araújo e Carnaúba, 2010). Sendo assim, a emissão de carbono o transporte da areia média é de 34,03 kg CO_2/m³; do cimento CP IV-32 RS é de 36,56 kg CO_2/m³; das cinzas de casca de arroz é de 331,5 kg CO_2/m³; e do RCD é de 1,58 kg CO_2/m³.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O quadro 2 apresenta os resultados obtidos no cálculo da emissão de carbono, do índice energético e do custo dos insumos utilizados nos blocos.

Quadro 2 – emissão CO_2, índice energético e custo dos insumos

Insumo	**Distância (Km)**	**Produção**			**Transporte**		
		kg CO_2/m³	**MJ/m³**	**custo (R$)**	**kg CO_2/m³**	**MJ/m³**	**custo (R$)**
Agregado RCD	1,2	-	8,03	0,96	1,26	1,58	1,61
CCA	274	-	-	-	331,5	440	446,78
Areia média	22	189,87	184,1	460,25	34,03	45,16	45,85
Cimento CPIV	22	2.830	5.320,4	1.132,00	36,56	48,53	49,28

Fonte: Os autores

Em relação ao transporte de insumos, verifica-se que as cinzas de casca de arroz (CCA) apresentam emissão de CO_2, índice energético e custo quase dez vezes maiores quando comparados à areia e ao cimento, resultado já esperado tendo em vista a localização de origem do material, a cidade de São Sepé localizada há 274 km da CTSA. Há no estado do Rio Grande do Sul outras indústrias que utilizam a queima de cascas de arroz para a geração de energia e que se localizam mais próximas à Porto Alegre. No entanto, até a realização do presente estudo, a equipe não obteve retorno sobre essas possíveis parcerias. A parceria com a UDC Diário de Notícias mostra-se a melhor alternativa possível pois o fornecimento gratuito e a proximidade dos locais torna mínimos os custos ambientais e financeiros do RCD. Apresenta-se aqui grandes perspectivas para a disseminação de tecnologia de economia circular semelhantes na construção civil integradas aos serviços públicos urbanos de recolhimento e tratamento de resíduos.

Quadro 3 – emissão CO_2, índice energético e custo totais dos blocos

Bloco	**Traço**	**Emissão de CO_2 (kg CO_2)**	**Índice Energético (MJ)**	**Custo (R$)**
A	1 : 3,5 : 1,5	4,2469	7,5763	3,07
B	1 : 3 : 2	3,7349	7,0652	1,90
C	1 : 3,5 : 1,5	3,4865	6,4056	2,85

Fonte: Os autores

Apesar da distância maior implicar maiores custos ambientais e financeiros em relação ao transporte, a substituição parcial do cimento pelas cinzas de cascas de arroz diminui consideravelmente esses custos num panorama geral. Compostos pelo mesmo traço cujo traço 1:3,5:1,5, verifica-se no quadro 3 a redução de 17,9% da emissão de CO_2 e de 15,45% no índice energético quando comparamos o bloco A, cuja parte pozolânica é composta somente por cimento CP IV-32 RS, com o bloco C, que possui as cinzas de casca de arroz substituindo 20% do cimento. Há ainda a redução de custo de R$ 0,22 do bloco C em relação ao bloco A, fator de extrema importância para um de modelo de negócio de proposta socioambiental que envolve o sustento de famílias através do cooperativismo.

O bloco B, cujo agregado é formado por RCD em sua totalidade, apresenta menores custos ambientais e financeiros que o bloco A, com agregado composto

por 65% de RCD e 35% de areia. Esse resultado era esperado devido à pequena distância entre a cooperativa e o recolhimento do material, do fornecimento gratuito, da emissão de carbono ser considerada zero em seu processo de fabricação e do índice energético muito menor em relação ao agregado natural utilizado. Apesar de mais sustentável, a produção do bloco B mostrou-se inviável devido à reprovação do desempenho descrito na NBR 6136 (ABNT, 2016) no tocante à resistência à compressão axial em estudos publicados em 2019 pela equipe (CHIELE, 2019). A inclusão do bloco B no presente estudo se deu a partir da perspectiva de comparar os efeitos de diferentes alternativas de utilização de resíduos no concreto. Nesse sentido, esperava-se que o bloco C apresentasse emissão de CO_2 e índice energético maiores em relação ao bloco B pois, assim como o bloco A, inclui em sua composição agregado natural. Portanto, é satisfatória a conclusão de que a inclusão parcial de CCA compensa o uso de areia natural no bloco e torna a produção do bloco C é menos prejudicial ao meio ambiente que seria a produção do bloco B.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos de estratégias de introdução de resíduos no processo fabril de blocos de concreto comercializados pela Cooperativa de Trabalho SocioAmbiental em parceria com a UFRGS e integrada ao sistema de recolhimento de resíduos do DMLU de Porto Alegre. Através da comparação do bloco A, atual traço usado na CTSA, com o bloco C, proposta que inclui CCA, constata-se que a substituição de 20% do cimento por cinzas de casca de arroz tornaria a produção dos blocos mais barata e menos prejudicial ao meio ambiente em relação à emissão de CO_2 na atmosfera e gasto energético. Portanto, apresentam-se perspectivas de aplicar-se essa substituição à produção dos blocos. Para tal fim, prevê-se a realização de ensaios qualitativos para verificar se o bloco C apresenta os requisitos à análise dimensional, absorção de águas e principalmente à resistência à compressão axial previstos na ABNT NBR 6136.

Estudo mais completos sobre os impactos ambientais dos blocos estão sendo desenvolvidos pela equipe através da Avaliação do Ciclo de Vida. A aplicação do método de ACV se prevê discussão mais aprofundada sobre a sustentabilidade do produto e do processo produtivo. Tem-se a intenção de futuramente desenvolver o modelo de negócio da CTSA para criar outras cooperativas que produzam os blocos reciclados em Porto Alegre ou outras cidades. O presente estudo enfatiza a importância da proximidade entre a origem dos insumos e a fabricação do produto final que pode ser verificada a partir da análise dos efeitos ambientais e financeiros do transporte apresentados no quadro 2. Ainda, a introdução de resíduos como insumo de novos produtos incentiva a implementação de sistemas de economia circular compreendidos a partir das problemáticas ambientais e disponibilidade de recursos locais que, associadas a sistemas produtivos mais horizontais como o cooperativismo, apresentam soluções para uma cultura de consumo e produção responsáveis como prevista no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 12 apresentado pela ONU Meio Ambiente para agenda 2030.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela PRONEX/FAPERGS através do processo 16/2551-0000489-7 e pelo FINEP MORAR TS através do convênio 01.11.0025.00-FINEP HAB. Agradecemos também à Cooperativa de Trabalho SocioAmbiental pela parceria no desenvolvimento dos blocos de concreto reciclado.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: [s.n.], 2017. 74 p. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 24 set. 2018.

ALBERTE, E. **Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental de Hormigones con Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición**. Barcelona, 2012. Tese (Doutorado) - Departament de Projectes d'Enginyeria, Universitat Politècnica de Catalunya.

ARAÚJO, N. M. C.; CARNAÚBA, T. M. G. V. **Composição gravimétrica e massa específica dos RCD oriundos de obras de edificações verticais de Maceió.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., Canela, 2010. Canela: ANTAC, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários.** [recurso eletrônico] Gerência de Qualidade do Ar, Brasília, 2011.

CARVALHO. J. de. **Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada à construção civil: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos.** 2002. 102 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHIELE, G. S.; CAVALLI, J. G.; VOGT, M.; BIGOLIN, M.; GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Análise da viabilidade da produção de blocos de concreto com utilização de agregados reciclados**. Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil. Belém, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2JMrwPc>. Acesso em: 09 abr. 2020.

HOOTON, R.D.; BICKLEY, J.A. **Design for durability: The key to improving concrete sustainability**. 2014. Construction and Building Materials, 67, pp.422-430

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020. **IBGE prevê safra recorde de grãos em 2020.** Agência IBGE Notícias. 08 de jan. de 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/26537-ibge-preve-safra-recorde-de-graos-em-2020>. Acesso em: 08 de maio de 2020.

MEHTA, k.; MONTEIRO, p J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008

Organização das Nações Unidas (ONU). **Transformando nosso mundo**: a agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt- br.pdf>. Acesso em: 29/02/2020

PAULLETI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação.** 2004. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PORTO ALEGRE. **Lei no 10.531, de 10 de setembro de 2008**. Institui, no Município de Porto Alegre, o Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal e de Veículos de Tração Humana e dá outras providências. Disponível em: <https://bit.ly/2MM78Se>. Acesso em: 28 maio 2019

PORTO ALEGRE. **Lei no 10.847, de 9 de março de 2010**. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Porto Alegre. Disponível em: < https://bit.ly/2SyIMJP>. Acesso em: 28 maio 2019.

SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção.** 2000. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UN ENVIRONMENT. **Global status report 2018: towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector**. 2018. Disponível em:< https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2018%20GlobalABC%20Global%20Status%20Report.pdf >. Acessado em: 10 de maio de 2020

WEBER, S.; **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** 2001. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WWF – World wildlife fund. **Planeta Vivo - Relatório 2016: Risco e resiliência em uma nova era.** Suíça, 2016