

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO BLOCO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS PELO MÉTODO DA ACV-M

Camilla Farell (cfarell@gmail.com); Isabela Lunes (isabelamariaiunes@gmail.com); Ana Paula Milani (ana.milani@ufms.br)

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (UFMS-FAENG) - Brazil

Palavras chave: fabricação, uso, alvenaria, avaliação do ciclo de vida modular.

A destinação incorreta dos pneus inservíveis gera grandes impactos à saúde do ser humano e ao meio ambiente. Em Campo Grande, Brasil, a prefeitura municipal aprovou a Lei Nº 4818/2010 no intuito de incentivar a incorporação de borracha de pneus inservíveis em obras públicas. Diante desse cenário, vê-se a necessidade de estudos sobre a sustentabilidade das novas tecnologias construtivas implantadas na construção civil e para tal análise, a avaliação do ciclo de vida modular (ACV-m) é uma ferramenta em destaque para avaliar os impactos ambientais causados ao longo do ciclo de vida de um produto. Neste estudo, foi feita a análise ambiental do bloco de concreto com adição de partículas de borracha de pneus inservíveis em comparação com o bloco de concreto convencional por meio da aplicação da ferramenta ACV-m nas fases de extração de matéria-prima, de produção de materiais básicos de construção, de fabricação e transporte do produto bloco, e de uso na parede de alvenaria de bloco. Os resultados apontam que o desempenho ambiental dos sistemas construtivos é similar, ou seja, a ACV-m para o bloco de concreto com adição de borracha e para o bloco de concreto convencional se encontram com valores equivalentes quando considerado o limite de avaliação da sustentabilidade o uso da edificação construída com parede de bloco de concreto.

1. INTRODUÇÃO

Por utilizar significativos volumes de recursos naturais, a indústria da construção civil resulta em grande dano ao meio ambiente, e a quantificação de seus impactos é fundamental para que ações de melhorias sejam possíveis. Esse levantamento permitirá analisar como os materiais poderão apresentar maior aproveitamento, de modo a causar menos prejuízos ambientais (OLIVEIRA, 2015).

Segundo a norma NBR ISO 14040 a avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método de gestão ambiental que possibilita uma visão sistêmica do ciclo de vida de um sistema ou produto, de forma a rastrear e quantificar os fluxos de entrada e saída desse sistema e compreender os impactos gerados por ele. A metodologia ACV pode ser uma importante ferramenta na tomada de decisões das indústrias, governos e consumidores em relação às suas atividades impactantes ao ambiente (CAMPOS, 2012). Porém, segundo Bribian, Usón e Scarpellini (2009, apud MIRANDA, 2017), apesar de internacionalmente reconhecida, o método ainda apresenta diversas limitações, entre elas a sua própria complexidade. Por exigir a medição de um grande número de variáveis e de dados, muitas vezes inexistentes ou de difícil acesso, o método ainda é pouco praticado e estimulado; e, além disso, ele influencia muito pouco nas pontuações de certificações ambientais, o que acaba intensificando a falta de interesse pela utilização do método por parte de construtores.

Um estudo de ACV completo é muito trabalhoso e demanda tempo. Dessa forma foi criada uma variação da ACV detalhada. A ACV simplificada pode apresentar escopo e limites reduzidos, e considerar apenas os fluxos de energia e emissões mais relevantes dentro da análise. Segundo o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável), a ACV modular (ACV-m) é uma evolução da ACV, o escopo é reduzido, mas continua sincronizado com o método de ACV tradicional. O escopo mínimo da ACV-m são o consumo de água, energia e matérias-primas; emissão de CO₂; e geração e destinação de resíduos sólidos.

Dentro do cenário da sustentabilidade, a preocupação com a saúde ambiental e pública tem ênfase em torno do problema da destinação incorreta de pneus inservíveis. Os pneus são constituídos por estruturas difíceis de serem eliminadas naturalmente. Na grande maioria das vezes este material é abandonado em locais impróprios, causando conseqüentemente danos à saúde do ser humano e principalmente ao meio ambiente. Este material tem um longo período de degradação, aproximadamente de 400 a 800 anos, tornando-se assim um grande problema para o meio ambiente (GRANZOTTO, 2010).

Seguindo a mesma linha de preocupação com os problemas causados por pneus inservíveis, a prefeitura municipal de Campo Grande/MS/Brasil buscou como alternativa de incentivo a criação e aprovação da LEI Nº 4818 no ano de 2010, que dispõem sobre a incorporação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos e concretos não estruturais rodoviários e urbanos construídos com recursos municipais no âmbito da cidade. Com a problemática criada pelos pneus inservíveis e o incentivo dessa lei, vários estudos se iniciaram buscando formas de reciclagem e reaproveitamento da borracha de pneu no setor da construção civil (ALCAZAS et al., 2014).

No entanto, deseja-se saber se a incorporação de resíduos de borracha de pneu na matriz de compósitos cimentícios realmente melhora o seu desempenho ambiental. Zulcão et al. (2017) avaliaram o concreto com incorporação de brita de resíduo de borracha em substituição ao volume parcial da areia considerando as fases de extração de matéria-prima, produção de materiais, transporte e mistura na central de concreto; e concluíram que a influência da incorporação de brita de resíduo de borracha no concreto não é positiva dentro do cenário analisado devido ao alto consumo energético no processamento do pneu.

Porém, o impacto deste alto consumo energético no processamento do pneu na ACV pode ser alterado conforme as variáveis de sustentabilidade analisadas, em vista que o presente estudo de caso se propõe a análise de uma indústria recicladora de pneus inservíveis da região, cujo o foco de produção é material combustível para alimentação da indústria cimenteira e os rejeitos provenientes da trituração da borracha desta recicladora serão utilizados para fabricação de compósitos cimentícios com borracha. Assim, os subprodutos desta indústria de reciclagem apresentam um potencial de uso como matéria-prima no concreto, abrindo possibilidades de melhora ambiental dentro do cenário regional analisado. Ainda seguindo essa linha de raciocínio, optou-se no presente trabalho estudar o compósito concreto com borracha de pneu inservível na forma de bloco de alvenaria e prolongar os limites de análise de sustentabilidade do sistema, realizando uma ACV-m a partir da extração de matéria-prima até a aplicação do bloco como sistema construtivo, o que não foi abordado em estudos e pesquisas anteriores.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o ciclo de vida do concreto adicionado de resíduos de borracha de pneu inservível dentro do sistema construtivo alvenaria de blocos de concreto empregados em vedação de paredes de edificações.

Como objetivos específicos foram: avaliar as emissões e consumo energético durante a produção do bloco de concreto com e sem borracha; e avaliar a energia embutida na alvenaria de bloco de concreto com pneus inservíveis durante o uso desse componente na edificação.

2. METODOLOGIA

2.1. Definição do objeto e escopo

Para a análise dos impactos ambientais foi feita a ACV-m, cujo objetivo foi comparar o desempenho ambiental das paredes de blocos de concreto convencionais (BCC) e de blocos de concreto com borracha reciclada de pneus inservíveis (BCB). Esta ferramenta consistiu em quantificar os insumos consumidos referente à unidade funcional escolhida – 10 m² de parede de alvenaria - e relacioná-los com seus correspondentes fatores de consumo de energia e emissão de gases incorporados nas fases do processo que fazem parte da ACV para criar o Inventário do Ciclo de Vida (ICV).

Por fim, foi realizada a avaliação do impacto desses sistemas construtivos por meio de apresentação dos dados do inventário na forma de indicadores da ACV. A avaliação dos impactos da ACV-m considerou os seguintes indicadores: emissão de CO₂ incorporada, energia incorporada, consumo de água, consumo de matérias-primas e carga térmica durante o uso do sistema construtivo. Segundo Miranda (2017), o método da ACV-m não possui nenhuma consideração quanto à normalização e ponderação dos indicadores e, portanto, para a classificação dos dois sistemas construtivos considerou-se a análise ambiental baseada na ACV e no desempenho térmico, com indicadores possuindo o mesmo peso para o ranqueamento dos sistemas como o mais impactante.

A análise foi delimitada entre a extração de matérias-primas, transporte, produção de materiais, fabricação do bloco e uso da parede de alvenaria numa edificação. A Figura 1 mostra os limites do sistema de bloco de concreto sem e com adição de borracha reciclada de pneu inservível. Os elementos na cor branca não fizeram parte do escopo desta análise.

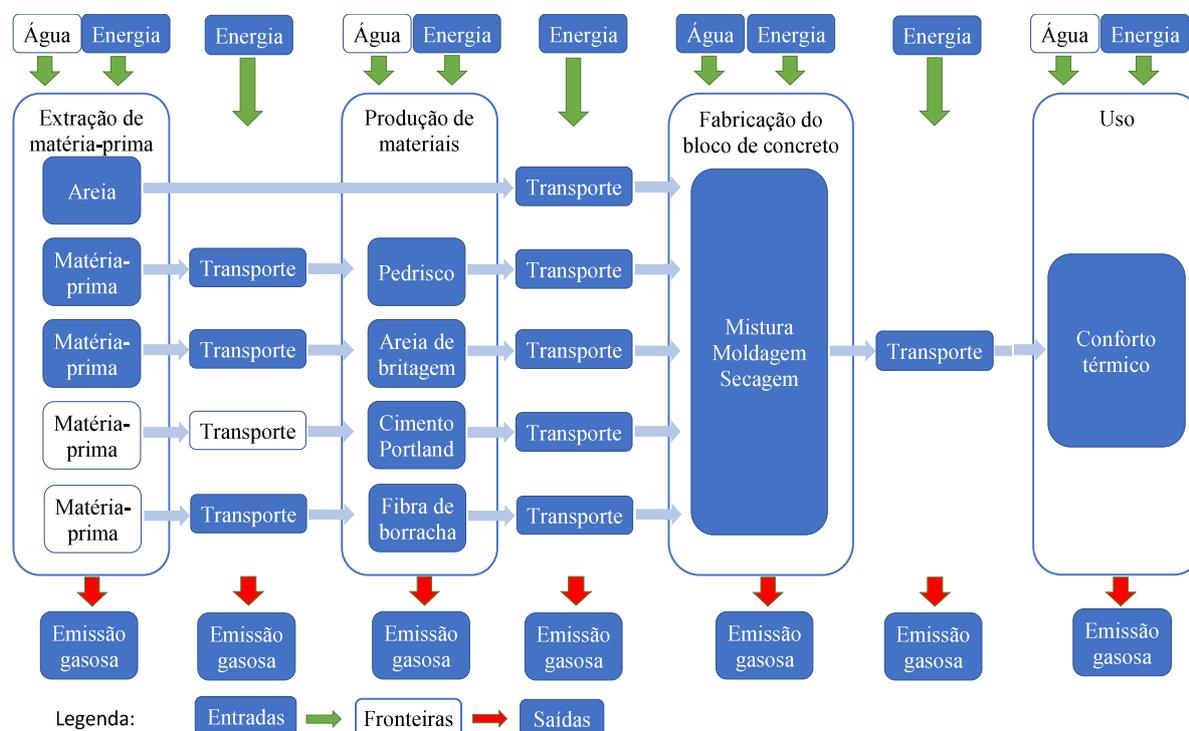


Figura 1. Limites do sistema de paredes de blocos de concreto

De acordo com Carneiro, Bertocini e Abrão (2012) e Alcazas et al. (2014) concluiu-se que os blocos de concreto com 15% de adição de fibra de borracha de pneus trituradas apresentaram os melhores resultados de resistência mecânica quando comparados a dosagem de referência sem adição de borracha. Portanto, para o presente estudo foi considerado 15% de adição de borracha em relação ao volume do pedrisco, dimensões dos blocos de concreto de 14 x 19 x 39 cm³, e enquadramento na classe B de acordo com a norma NBR 6136 (2014), ou seja, resistência à compressão simples mínima de 4 MPa com função estrutural para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

A quantificação do consumo de matérias-primas foi baseada em dados de literatura sobre compósitos cimentícios com borracha e a dosagem (Tabela 1) para fabricação dos blocos de concreto foi composta de cimento CP II-E, areia natural, areia de britagem, pedrisco e, para o concreto com adição, a partícula de borracha reciclada de pneus inservíveis com distribuição granulométrica entre 0,3 e 9,5 mm. Para o consumo de água, por falta de dados em outras fases, foi considerada apenas a água incorporada no produto final, ou seja, foi contabilizada apenas a água na fase de fabricação dos blocos, considerando o fator água/cimento de 0,65.

Os locais das jazidas e fábricas considerados para o transporte, assim como o local da obra do edifício são hipotéticos, e suas distâncias foram definidas pela ferramenta online Google Maps (Tabela 2). Em específico, o serviço de processamento dos pneus inservíveis foi considerado o realizado na fábrica ECOPNEU/Brasil, pois possui uma grande logística que envolve o recolhimento dos pneus dos postos de coleta de várias cidades brasileiras e o processamento de pneus para diversas finalidades, sendo principalmente usado como combustível alternativo em fornos de indústrias de cimento. Desta forma, para simplificação da presente avaliação, foram considerados para o cálculo das distâncias percorridas somente os pontos de coleta de Campo Grande/MS/Brasil.

Conforme Campos (2012, apud MIRANDA, 2017) para o cálculo do consumo de combustível para transporte por caminhão foi considerada a faixa de 0,006 a 0,022 l/t.km. Segundo Miranda (2017) o consumo horário de combustível da pá-carregadeira é de 17,74 l/h.

Os fatores relativos a energia e emissões incorporadas de CO₂ foram obtidos de Miranda (2017) e se encontram na Tabela 3. Os dados relativos à energia e emissões da areia de britagem foram considerados os mesmos do pedrisco, pois segundo Santoro e Kripka (2016) o processo de produção desses materiais é o mesmo, sendo extração das rochas, britagem em britador automático, passagem por peneiras classificatórias com malhas padronizadas para produção de agregados com granulometrias normatizadas e armazenamento.

Para a avaliação de desempenho térmico de cada sistema construtivo seguiu-se as normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013) e as propriedades termofísicas da Tabela 4. A comparação dos sistemas foi feita com uma simulação termoenergética considerando um quarto de uma habitação de interesse social localizada em Campo Grande/MS/Brasil com temperaturas de um dia típico de verão. O quarto simulado possui as dimensões de 3,30 x 2,40 m² e pé-direito de 2,70 m. A parede exterior está na maior dimensão, é sombreada e não possui janela. O material das paredes é o bloco de concreto com e sem borracha assentados e rebocados com argamassa cimentícia, totalizando 18 cm de espessura e pintado na cor branca.

Adotou-se a ocupação de duas pessoas, o uso de um televisor e duas lâmpadas fluorescentes para a iluminação artificial no interior do ambiente simulado. Pode-se calcular para cada sistema construtivo de parede de alvenaria de bloco de concreto a carga térmica, somatório dos fluxos de calor em um ambiente, que representa a energia térmica em watts que atravessa um fechamento de um ambiente.

Tabela 1. Dosagem dos concretos e propriedades dos materiais

Material	Traço		Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)
	BCC	BCB		
Cimento	1	1	1.400	-
Areia natural	2,5	2,5	2.650	1.510
Areia de britagem	5,9	5,9	2.890	1.620
Pedrisco	2,8	2,8	2.930	1.580
Fibra de borracha	0	0,086	1.057	322

Tabela 2. Distâncias consideradas para transporte

Material	Saída	Destino	Distância (km)
Areia	Jazida	Fábrica de Blocos	40,00
Pedrisco	Jazida	Fábrica de Blocos	20,00
Areia de Britagem	Jazida	Fábrica de Blocos	20,00
Pneu Inservível	Posto de Coleta	Fábrica Ecopneu	68,70
Cimento	Fábrica de Cimento	Fábrica de Blocos	20,00
Fibra de Borracha	Fábrica Ecopneu	Fábrica de Blocos	22,80
Blocos de Concreto	Fábrica de Blocos	Obra	14,80

Tabela 3. Fatores de energia incorporada e emissão de CO₂ dos insumos energéticos

Fonte	Energia incorporada (MJ/t)		Fator de emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t)	
	Mín	Máx	Mín	Máx
Areia de britagem	27,36	-	0,62	-
Areia natural	86,08	-	16,92	-
Cimento CP II-E	1.866,67	3.230,78	316,13	547,14
Pedrisco	27,36	-	0,62	-
Diesel - veículos fora de estrada	37,26		7,33	
Diesel - caminhões de transporte	37,26		2,83	
Eletricidade	3,32		0,07	

Tabela 4. Propriedades termofísicas dos materiais

Material	Massa específica ρ kg/m ³	Condutividade térmica λ W/(m.K)	Calor específico c kJ/(kg.K)	Fonte
Argamassa/ Reboco	2000,00	1,15	1,00	NBR 15220/2003 Giacobbe (2008); Pessette e Pelisser (2012)
BCC	2400,00	1,75	1,00	
BCB	2210,00	1,12	0,93	

2.2. Cálculos para a elaboração do ICV

2.2.1. Fase de extração de matéria-prima

Foram consideradas a energia e emissões incorporadas na extração e beneficiamento da areia, do pedrisco e da areia de britagem. Não foi considerada a extração das matérias-primas para a produção do cimento e do pneu, pois o impacto referente a esta fase já está incorporado no ciclo de vida desses produtos finais.

2.2.2. Fase de produção dos materiais e fabricação do bloco

Foram consideradas a produção dos materiais cimento e partículas de borracha de pneus inservíveis e a fabricação dos blocos de concreto com e sem adição de borracha.

O gasto energético para a produção de ambos os blocos foi considerado o mesmo. Segundo ANICER (2012), para a fabricação dos blocos de concreto, a mistura é mecanizada, e são consumidos cerca de 0,0064 litros de diesel/bloco. Os equipamentos alimentados por energia elétrica consomem cerca de 0,10 kWh/bloco (MIRANDA, 2017). Portanto, foram consumidos 0,86 litros de diesel e 13,4 kWh de energia elétrica. Por fim, os blocos de concreto são curados em câmara seca ou ao ar livre.

No caso do bloco de concreto com borracha foi considerado a etapa de processamento dos pneus inservíveis. A trituração dos pneus é mecanizada e consome energia elétrica, os pneus são lançados de forma manual à esteira que alimenta o triturador, passando depois por peneiras classificatórias. Por meio de medições in loco na fábrica ECOPNEU/Brasil, calculou-se que são consumidos 0,012 kWh/bloco. E para a estocagem das partículas de borracha de pneu inservível e o carregamento das mesmas nos caminhões é necessário o uso de pá-carregadeira, sendo consumidos cerca de $3E-05$ litros de diesel/bloco.

2.2.3. Fase de transporte

Considerou-se todo o combustível consumido pelo transporte dos produtos em todas as fases adotadas. O consumo de combustível foi calculado como o produto entre a faixa de consumo, a distância percorrida, o peso do caminhão e o peso transportado (MIRANDA, 2017). Considerou-se o transporte do caminhão completamente carregado até a fábrica, e o retorno do caminhão vazio até a sua origem para depois calcular o consumo de diesel por tonelada de material.

2.2.4. Fase da construção

Devido ambas as paredes de alvenaria de bloco de concreto sem e com borracha apresentarem o mesmo processo construtivo, não foi considerada a energia embutida nesta fase.

2.2.5. Fase de uso

Para a avaliação de desempenho térmico e cálculo da carga térmica durante o uso do sistema construtivo de paredes de alvenaria de bloco de concreto sem e com borracha foram consideradas as propriedades termofísicas dos materiais de construção conforme Tabela 4 e as exigências mínimas da norma de desempenho NBR 15575 (2013), a qual prescreve que as características de transmitância térmica e de capacidade térmica devem apresentar, respectivamente, os valores $\leq 3,7$ W/(m..K) e ≥ 130 kJ/(m..K).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase	Insumo	Entrada/Saída	Unidade	Fatores - BCC		Fatores - BCB		
				Mín	Máx	Mín	Máx	
Extração	Areia	Quantidade Consumida	t	0,343	-	0,335	-	
		Energia	MJ	29,546	-	28,871	-	
		CO ₂	kg	5,809	-	5,676	-	
	Areia de Britagem	Quantidade Consumida	t	0,810	-	0,792	-	
		Energia	MJ	22,163	-	21,656	-	
		CO ₂	kg	0,499	-	0,488	-	
	Pedrisco	Quantidade Consumida	t	0,384	-	0,376	-	
		Energia	MJ	10,518	-	10,278	-	
		CO ₂	kg	0,237	-	0,231	-	
Produção	Cimento CP II-E	Quantidade Consumida	t	0,137	0,137	0,134	0,134	
		Energia	MJ	256,285	443,570	250,427	433,432	
		CO ₂	kg	43,403	75,120	42,411	73,403	
	Água	Quantidade Consumida	litros	89,242	-	87,202	-	
		Quantidade Consumida	litros	0,858	-	0,858	-	
	Diesel (Bloco)	Energia	MJ	31,954	-	31,954	-	
		CO ₂	kg	6,283	-	6,283	-	
	Energia Elétrica (Bloco)	Quantidade Consumida	MJ	48,240	-	48,240	-	
		Energia	MJ	160,302	-	160,302	-	
		CO ₂	kg	3,393	-	3,393	-	
	Diesel (Borracha)	Quantidade Consumida	litros	-	-	0,0042	-	
		Energia	MJ	-	-	0,157	-	
		CO ₂	kg	-	-	0,031	-	
	Energia Elétrica (Borracha)	Quantidade Consumida	MJ	-	-	6,078	-	
		Energia	MJ	-	-	20,198	-	
		CO ₂	kg	-	-	0,428	-	
	Transporte	Diesel	Quantidade Consumida	litros	3,727	13,665	3,711	13,609
			Energia	MJ	138,863	509,163	138,290	507,064
CO ₂			kg	10,543	38,658	10,500	38,499	

Figura 2. ICV da parede de alvenaria de bloco de concreto sem e com borracha

3.1. Avaliação de impactos do inventário do ciclo de vida (AICV)

Os impactos foram calculados de acordo com os resultados dos inventários do ciclo de vida do BCC e BCB (Figura 2). São apresentados os resultados de cada sistema de parede e seu desempenho comparado em cada indicador de impacto afim de definir qual é a alvenaria mais sustentável no âmbito ambiental.

3.2. Emissão de CO₂ incorporado e energia incorporada

A Figura 3 mostrou que a parede de bloco de concreto com borracha tem a menor emissão de CO₂, apesar da diferença entre os sistemas construtivos ser pequena. As maiores emissões ocorrem nas fases de produção e transporte, sendo que tanto para valores mínimos quanto máximos, a emissão relativa à produção é superior para ambos os blocos de concreto.

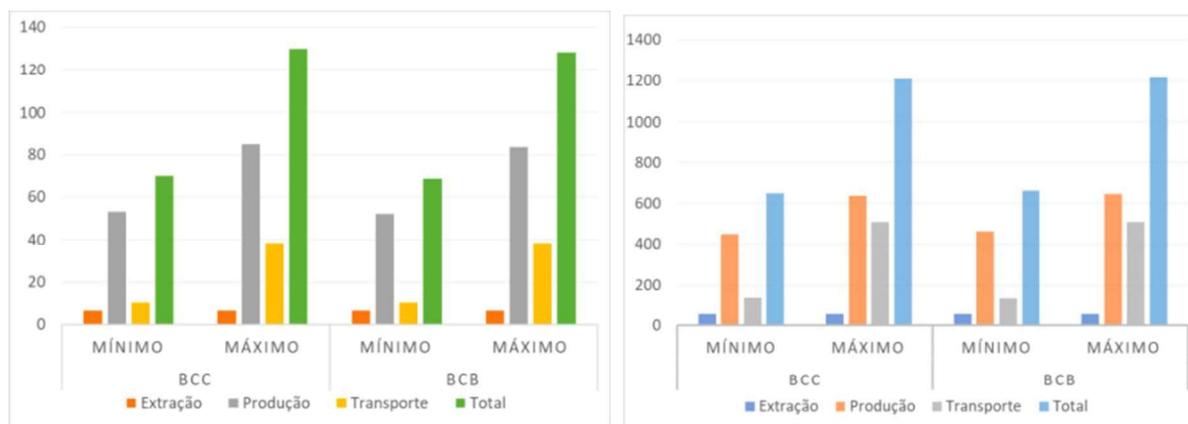


Figura 3. (a) Emissões de CO₂ incorporada (kg/CO₂) e (b) Energia incorporada (MJ)

Desta vez, ainda que não seja significativo, a parede de bloco de concreto convencional é o menos impactante no indicador energia incorporada (Figura 3). As fases de produção e transporte ainda possuem a maior contribuição. Para valores mínimos a fase de produção corresponde a mais da metade dos valores totais de energia e para valores máximos a energia relativa ao transporte e à produção são mais relevantes.

As fases de produção dos materiais, da fabricação do bloco de concreto e transporte são as que consomem mais energia e conseqüentemente emitem mais CO₂. As primeiras porque requerem maior uso de maquinário que consome grande quantidade de combustível e/ou energia elétrica para os processos de refinamento das matérias-primas e fabricação do produto, e a última porque os veículos de carga usados no transporte consomem óleo diesel que é o combustível mais poluente e grande responsável pelas emissões gasosas. Já a fase de extração de matéria-prima representa uma parcela menor do ciclo de vida dos produtos analisados, portanto, ainda que consuma combustível e energia elétrica, é menos relevante quando comparada às outras fases.

Segundo Zulcão et al. (2017) a incorporação de borracha no concreto não era viável devido à grande quantidade de energia consumida durante o processamento do pneu, porém o uso de uma escala produtiva maior e mais eficiente energeticamente poderia favorecer o uso do agregado de borracha em compósitos cimentícios. A escala de produção da fábrica considerada no estudo do referido autor é menor que a da fábrica ECOPNEU/Brasil, sendo a emissão de CO₂ para a produção de 1kg de agregado de borracha igual a 0,0413 kgCO₂ e a energia consumida igual a 0,584 MJ, ambas aproximadamente 10% maiores que os resultados encontrados no presente estudo.

3.1.1. Consumo de água e de matéria-prima

A adição das partículas de borracha no bloco de concreto acarreta na diminuição de consumo dos demais materiais, que são consumidos em menor quantidade para se obter o mesmo volume de concreto que preenche a forma do bloco. Apesar da adição das partículas de borracha representar apenas uma pequena fração na dosagem do concreto, quando analisada a produção de grandes quantidades de blocos é possível visualizar melhor a economia dos insumos. Sendo assim, o bloco de concreto com borracha apresenta melhores resultados nestes dois indicadores, ainda que esta diferença seja pequena.

Além da economia dos insumos, percebe-se que, quando comparado ao bloco de concreto convencional, o bloco de concreto com borracha apresenta menor densidade. Isso se deve à variação de massa específicas entre os agregados miúdos e graúdos (entre 2,65 e 2,93 kg/m³) e as partículas de borracha (1,06 kg/m³). Isso pode acarretar, ainda que não mensurado neste estudo, menor impacto no gasto de energia no transporte dos blocos, no processo de elevação da alvenaria e na fundação e estrutura da edificação.

3.1.2. Carga térmica durante uso do sistema construtivo

Conforme a norma NBR 15575-1 (2013), a habitação tem os níveis mínimos de desempenho se atender às condições especificadas para cada zona bioclimática. Para a zona bioclimática de Campo Grande/MS/Brasil, os índices transmitância e capacidade térmica alcançados são menores que o limite permitido para ambos os sistemas construtivos, condizendo que a parede de alvenaria de blocos de concreto sem e com borracha atendem aos requisitos mínimos de desempenho térmico para a região analisada, destacando a característica de resistência térmica total da parede de BCB que é 7% maior que a parede de BCC (Tabela 6).

O cálculo de carga térmica dos ambientes com os sistemas construtivos com parede de bloco de concreto sem e com borracha corrobora a avaliação do desempenho térmico por prescrição, visto que a parede de BCC possui maior carga térmica, ou seja, transmite maior quantidade de energia térmica através do seu fechamento vertical. Contudo, a diferença entre cargas térmicas dessas envoltórias é de apenas 1%. Desta forma, concluiu-se que as paredes de BCC (1249,07 W) e de BCB (1233,74 W) apresentam comportamento térmico similares no quesito analisado.

Tabela 6. Características termofísicas dos sistemas construtivos

Propriedades	BCC	BCB	Diferença
Resistência Térmica Total RT (m ² .K)/W	0,360	0,385	7%
Transmitância Térmica U W/(m ² .K)	2,778	2,596	-7%
Capacidade Térmica da Parede CT kJ/(m ² .K)	199,979	184,064	-8%
Atraso Térmico ϕ (h)	3,625	3,659	1%
Fator Solar FS _o (%)	2,222	2,076	-7%

3.2. Classificação dos sistemas construtivos

Tabela 7. Ranqueamento das paredes

Indicador	Valores mínimos		Valores máximos	
	BCC	BCB	BCC	BCB
Emissão de CO ₂ incorporada	2°	1°	2°	1°
Energia incorporada	1°	2°	1°	2°
Consumo de água	2°	1°	2°	1°
Consumo de matéria-prima	2°	1°	2°	1°
Desempenho térmico	2°	1°	2°	1°

Apesar do ranqueamento mostrar que a parede de alvenaria de BCB é mais sustentável que a parede de alvenaria de BCC (Tabela 7) nos indicadores emissão de CO₂, consumo de água e matéria-prima e desempenho térmico, foram calculadas as diferenças entre os valores mínimos e máximos de cada parede para cada indicador ambiental e a diferença entre os resultados em todos os indicadores é menor que 5%, o que indica que as paredes de BCC e de BCB são similares e a ACV-m para ambos os blocos se encontram com valores equivalentes.

4. CONCLUSÃO

Considerando para a análise da sustentabilidade a ACV-m nas fases de extração de matéria-prima, de produção de materiais de construção, de fabricação e transporte do produto bloco, e do uso do bloco na vedação vertical do edifício, os sistemas construtivos de parede de alvenaria de bloco de concreto convencional e de bloco de concreto com resíduo de borracha de pneu inservível possuem desempenho ambiental semelhante.

Apesar do aumento do consumo de energia no Inventário do Ciclo de Vida para o processamento do pneu inservível, a adição de partículas de borracha no bloco de concreto gerou economia no consumo de água e matérias-primas e conseqüentemente, menor emissão de CO₂ incorporada. Além disso, considerando-se a etapa de uso, as habitações com vedações em blocos de concreto com borracha poderiam demandar menor consumo de energia caso os usuários solicitem equipamentos de refrigeração do ar para obterem maior conforto térmico.

Vale ressaltar que os impactos positivos da reciclagem dos pneus inservíveis para adição em compósitos cimentícios como forma de descarte alternativo não foram considerados neste estudo. Para trabalhos futuros sugere-se a inclusão de análises sócio-econômicas, que podem contribuir na escolha da alternativa quando há situação de empate para o desempenho ambiental, bem como, complementar a avaliação implementando outros indicadores capazes de quantificar a mitigação devido à reciclagem dos pneus em comparação aos impactos causados a um ambiente que é local de descarte de pneus inservíveis.

5. REFERÊNCIAS

- Alcazas, J. C. et al (2014). *Avaliação de resistência à compressão de blocos de concreto com e sem adição de fibras de borracha triturada de pneus inservíveis*. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2014. Anais... Campo Grande: IBRACON, CD-ROM.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040 (2001): *Avaliação de ciclos de vida, princípios e estrutura*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 (2003): *Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1 (2013): *Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136 (2014): *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER (2012). *Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco*. [S.l.]
- Campos, M. G. D. (2012). *Abordagem de ciclo de vida na avaliação de impactos ambientais no processamento primário offshore*. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. p. 127.
- Carneiro, L. S.; Bertocini, S. R.; Abrão, D. M. (2012). *Propriedades de blocos de concreto com adição de borracha de pneu referente à resistência e à durabilidade*. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2012. Anais...Maceió, IBRACON, CD-ROM.
- CBCS; ABCP; BLOCOBRASIL. (2014). *Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto - Avaliação de ciclo de vida modular*. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). São Paulo, p. 90.
- Granzotto, L. (2010). *Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável*. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Brasil. p. 132.

- *Miranda, A. D. S. (2017). Análise comparativa de métodos simplificados de ACV aplicado a paredes de edificações. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Brasil. p. 170.*
- *Oliveira, L. S. (2015). Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, p. 155.*
- *Pessette, J. B.; Pelisser, F. (2012). Efeito da borracha reciclada de pneus na condutividade térmica de paredes de concreto. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, Brasil. p. 15.*
- *Santoro, J. F.; Kripka, M. (2016). Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte de Rio Grande do Sul. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, p. 35-49, abr/jun.*
- *Zulcão, R.; Coelho, F. Z.; Calmon, J. L. (2017). O efeito da incorporação da borracha de resíduo de pneu no impacto ambiental do concreto autoadensável: uma abordagem da avaliação do ciclo de vida. In: Euro-ELECS 2017 - IX ENCONTRO NACIONAL, VII ENCONTRO LATINO-AMERICANO, II ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. Anais... São Leopoldo, ANTAC.*