

Influência do projeto estrutural e da seleção dos materiais na pegada de carbono de uma estrutura de concreto armado

FERNANDA BELIZARIO-SILVA – MESTRE, PESQUISADORA

UNIDADE DE NEGÓCIOS DE HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES,
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

DANIEL COSTA REIS – DOUTOR, PESQUISADOR

MARCO QUATTRONE – DOUTOR, PESQUISADOR

VANDERLEY MOACYR JOHN – DOUTOR, PROFESSOR TITULAR

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL,
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – POLI-USP

RESUMO

REDUZIR A PEGADA DE CARBONO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO É ESSENCIAL PARA MITIGAR AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. ESTE TRABALHO QUANTIFICA A CONTRIBUIÇÃO DE DIFERENTES DECISÕES PARA A VARIAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO. CONSIDERARAM-SE DECISÕES REFERENTES AO PROJETO ESTRUTURAL, À PRODUÇÃO DOS MATERIAIS E À CONSTRUÇÃO, PARA DOIS CENÁRIOS DE FORMULAÇÃO DO CONCRETO. NO CENÁRIO QUE CONSIDERA APENAS FORMULAÇÕES CONVENCIONAIS, O PROJETO ESTRUTURAL É O FATOR QUE MAIS CONTRIBUI PARA A VARIAÇÃO DA PEGADA DE

CARBONO DA ESTRUTURA, SEGUIDO PELA PEGADA DE CARBONO DO CIMENTO COMPOSTO. NO CENÁRIO QUE TAMBÉM CONSIDERA FORMULAÇÕES INOVADORAS, A ESCOLHA DA FORMULAÇÃO DO CONCRETO É A DECISÃO MAIS IMPORTANTE. EMBORA INOVAÇÕES POSSIBILITEM UMA MAIOR REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO, AS DECISÕES DO DIA A DIA DA CONSTRUÇÃO CAUSAM GRANDES VARIAÇÕES NA PEGADA DE CARBONO DAS ESTRUTURAS E, PORTANTO, DAS EDIFICAÇÕES, EVIDENCIANDO A IMPORTÂNCIA DOS AGENTES DA CONSTRUÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.

Palavras-chave: pegada de carbono, estrutura, concreto armado, projeto, inovação.

I. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam o maior e mais urgente desafio a ser enfrentado pela humanidade. As atividades humanas já aumentaram a temperatura média do planeta em 1,1°C acima dos níveis pré-industriais e as consequências desse aumento já são sentidas por todos: ondas de calor extremo com secas prolongadas levam a uma epidemia de incêndios, chuvas intensas trazem enchentes catastróficas destruindo cidades medievais, ventos fortes em época de seca criam tempestades de

poeira, etc. Não haverá local seguro se o planeta aquecer 3°C. Esses efeitos negativos do aquecimento global custam vidas e perdas econômicas significativas. Apenas preparar a infraestrutura para resistir às mudanças climáticas não é suficiente: precisamos reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa ao longo dos próximos anos, chegando a emissões líquidas iguais a zero até 2050 (IPCC, 2021).

A indústria da construção representa mais de 10% das emissões globais de CO₂, sobretudo devido à produção de cimento e aço, am-

bos matérias-primas de estruturas de concreto armado (UNEP, 2020). Sendo assim, as decisões referentes ao projeto e à produção dessas estruturas têm um impacto direto sobre o aquecimento global. O efeito do projeto fica evidente, por exemplo, no *benchmark* de pegada de carbono de estruturas desenvolvido por (DE WOLF *et al.*, 2020) : para uma mesma tipologia de edifícios, a pegada de carbono¹ pode variar em centenas de quilos de CO_{2e} por m². A pegada de carbono da produção do concreto pode variar mais de 100 kg CO_{2e}/m³

¹ A PEGADA DE CARBONO É EXPRESSA EM QUILOGRAMAS DE CO₂ EQUIVALENTE (CO_{2e}).

para uma mesma classe de resistência, dependendo da formulação (SILVA *et al.*, 2019); se forem consideradas formulações inovadoras, essa diferença pode ser ainda maior (JOHN *et al.*, 2018). A pegada de carbono do aço varia mais de 100 kg CO_{2e}/t, dependendo do conteúdo de material reciclado e da rota de fabricação (BAW-DEN; WILLIAMS; BABBITT, 2016).

Entretanto, os estudos de redução da pegada de carbono de estruturas de concreto armado normalmente analisam os efeitos de decisões específicas de forma isolada. Dessa forma, não é possível saber qual decisão pode causar a maior alteração na pegada de CO₂ das estruturas: seria o projeto? Ou a produção das matérias-primas? Qual a influência dos diferentes agentes do setor da construção na pegada de carbono das estruturas?

Sendo assim, o presente trabalho apresenta uma análise conjunta da influência de diferentes decisões – de projeto, produção dos materiais e construção – na variação da pegada de carbono de uma estrutura de concreto armado. Este artigo é uma síntese do artigo “*Stakeholder influence on global warming potential of reinforced concrete structure*”, publicado no *Journal of Building Engineering* (BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2021).

2. MÉTODO

Para avaliar a influência das diferentes decisões na variação da pegada de carbono de uma estrutura de concreto armado, realizaram-se as seguintes atividades:

- Listaram-se as variáveis passíveis de serem influenciadas pelas decisões relativas ao projeto estrutural, fornecimento de materiais



► **Figura 1**

Perspectiva artística do edifício do CICS, com destaque para o edifício novo

Fonte: adaptado de BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2021

e construção, e quantificou-se a variação possível de cada uma dessas variáveis;

- Calculou-se a pegada de carbono da estrutura e sua respectiva variação, por meio da propagação de incertezas pelo método de expansão de caos polinomial;
- Calculou-se a contribuição de cada variável para a variação total da pegada de carbono da estrutura.

Essa análise foi feita para dois cenários referentes à formulação do concreto:

- Concreto convencional: considera apenas as formulações convencionais;
- Concreto convencional ou inovador: além das formulações de concreto convencionais, considera a opção de concreto com alto teor de fíler, em substituição ao ligante, e baixo teor de água (*High Filler Low Water – HFLW*), o qual se encontra atualmente em desenvolvimento pela Escola Politécnica da USP.

A seguir, são descritos os principais procedimentos metodológicos adotados neste artigo. Os detalhes do método podem ser encontrados no artigo original.

2.1 Descrição do edifício

O Centro de Inovação em Construção Sustentável (CICS) foi utilizado como estudo de caso (Figura 1). O CICS é um *Living Lab* da Escola Politécnica da USP, atualmente em construção, composto de três partes:

- Um edifício novo;
- Uma caixa de escada que conecta o edifício novo ao existente;
- Um edifício existente que será reformado.

A estrutura analisada é a do edifício novo, que tem dois pavimentos e uma área total de 553 m². Trata-se de uma estrutura pré-fabricada em concreto armado e protendido. Também foram consideradas as fundações, em estacas hélice contínua, que contêm um sistema de geotermia para climatização do edifício. No CICS, está sendo testado o concreto HFLW.

2.2 Decisões e respectivas variáveis

A seguir, são descritas as categorias de decisão analisadas nesse

estudo e as respectivas variáveis que interferem no cálculo da pegada de carbono da estrutura.

2.2.1 PROJETO

São consideradas três opções de laje pré-fabricada (Figura 2):

- Laje alveolar de 16 cm de espessura, com vigas intermediárias;
- Laje alveolar de 40 cm de espessura, sem vigas intermediárias;
- Laje “pi” com 50 cm de espessura, sem vigas intermediárias.

Todas as lajes têm uma capa de concreto moldada *in loco* de 5 cm de espessura. As vigas de borda e colunas pré-fabricadas são iguais para as três opções de laje, assim como as estacas. Apesar disso, esses elementos foram mantidos no cálculo, pois interferem com as outras variáveis investigadas nesse estudo.

As opções de projeto estrutural interferem nas variáveis de quantidade de concreto e aço da estrutura, conforme mostra a Tabela 1. Para a caracteriza-

► Tabela 1 – Quantidades de material para cada opção de projeto de laje

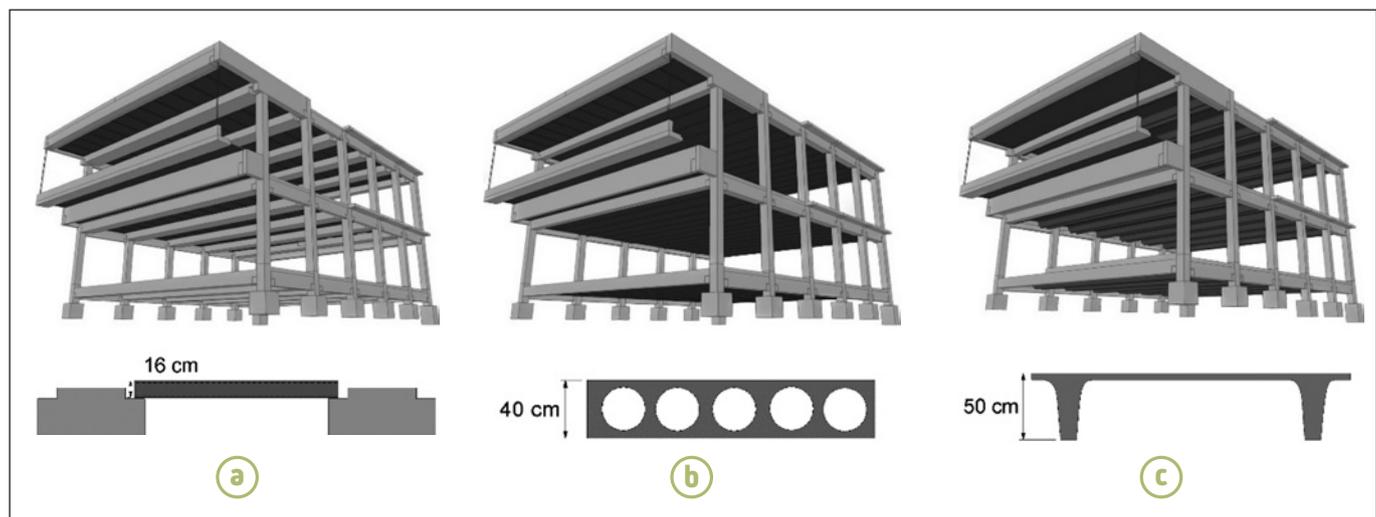
Material	Laje alveolar 16 cm	Laje alveolar 40 cm	Laje pi 50 cm
Concreto 25 MPa (m³) – blocos	28	28	28
Concreto 30 MPa (m³) – estacas	127	127	127
Concreto 30 MPa (m³) – capa da laje	44	44	44
Concreto 40 MPa (m³) – pré-fabricado	53	92	190
Concreto 50 MPa (m³) – pré-fabricado	61	141	—
Concreto 60 MPa (m³) – pré-fabricado	121	—	—
Concreto – total (m³)	434	432	389
Aço – vergalhão (t) – estacas e blocos	9,1	9,1	9,1
Aço – vergalhão (t) – estrutura	27	19	28
Aço – cabo de protensão (t)	4,8	5,3	2,6
Aço – total (m³)	40,9	33,4	39,7

ção e propagação de incertezas, considerou-se que cada opção tem igual probabilidade de ocorrência (1/3).

2.2.2 MATERIAIS

As variáveis consideradas para os materiais são apresentadas na Tabela 2. Elas contemplam decisões referentes

à formulação do concreto, como, por exemplo, o teor de água, usado para calcular o teor de cimento, o qual irá interferir na pegada de carbono do concreto. Além disso, são consideradas as variações na pegada de carbono na produção dos materiais. Detalhes sobre as considerações feitas para se chegar aos intervalos de valores aqui apresentados



► Figura 2

Representação 3D da estrutura, considerando as três opções de laje: (a) laje alveolar de 16 cm; (b) laje alveolar de 40 cm; (c) laje “pi” de 50 cm

Fonte: adaptado de BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2021

estão disponíveis no artigo original.

2.2.3 CONSTRUÇÃO

A Tabela 3 apresenta as variáveis referentes à produção dos elementos pré-fabricados e à construção da estrutura.

2.3 Estimativa da pegada de carbono da estrutura

Todas as variáveis apresentadas no item 2.2 são dados de entrada para calcular a pegada de carbono da estrutura, do berço ao portão, ou seja, desde a extração dos recursos naturais até a estrutura pronta. Foram adotados alguns dados complementares da base de dadosecoinvent, como, por exemplo, a pegada de carbono do transporte rodoviário. O cálculo da pegada de carbono considerou o método indicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), considerando um horizonte de 100 anos (GWP-100).

2.4 Propagação de incertezas e análise de sensibilidade

Todas as variáveis que interferem na pegada de carbono da estrutura foram modeladas como variáveis independentes. A incerteza de cada variável foi modelada por meio de sua distribuição de probabilidade. As incertezas foram propagadas por um método probabilístico denominado expansão de caos polinomial, por meio do software de análise de incertezas UQLab, o que permitiu calcular a variação total da pegada de carbono da estrutura, para cada um dos cenários de formulação do concreto.

Realizou-se, então, uma análise de sensibilidade para quantificar a contribuição de cada variável para a variação

total da pegada de carbono da estrutura. Para isso, realizou-se uma análise de sensibilidade global, utilizando-se a técnica de decomposição de variância de Sobol. Detalhes dessa técnica

estão disponíveis no artigo original.

3. RESULTADOS

A Figura 3 apresenta a variação da

► Tabela 2 – Variáveis referentes à produção e ao fornecimento dos materiais de construção

Variável	Valor*	Distribuição de probabilidade	
Variáveis – concreto convencional			
Dosagem do concreto			
Teor de água do concreto (L/m ³)	180 - 200	Uniforme	
Resistência do cimento composto	32 MPa: 50% 40 MPa: 50%	190	
Teor de aditivo	f _{ck} 25 MPa (kg/m ³)	1,2 - 2,6	Uniforme
	f _{ck} 30 MPa (kg/m ³)	1,4 - 3,0	
	f _{ck} 40 MPa (kg/m ³)	1,8 - 3,8	
	f _{ck} 50 MPa (kg/m ³)	2,3 - 4,6	
	f _{ck} 60 MPa (kg/m ³)	2,8 - 5,4	
Produção das matérias-primas			
Pegada de carbono do cimento CP-V-ARI (kg CO _{2e} /t)	770 - 840	Uniforme	
Pegada de carbono do cimento composto (kg CO _{2e} /t)	360 - 860	Beta	
Pegada de carbono dos agregados (kg CO _{2e} /t)	1,2 - 9,6	Uniforme	
Pegada de carbono do vergalhão de aço (kg CO _{2e} /t)	980 - 2280	Beta	
Pegada de carbono do cabo de protensão (kg CO _{2e} /t)	1910 - 2570	Uniforme	
Distância de transporte das matérias-primas			
Concreto dosado em central, fábrica-obra (km)	4,5 - 11, 4 - 28	Triangular	
Concreto pré-fabricado, fábrica-obra (km)	20 - 74 - 125	Triangular	
Vergalhão de aço, fábrica-obra (km)	56 - 521	Beta	
Cabo de protensão, fábrica-obra (km)	569 - 741	Uniforme	
Cimento, fábrica-fábrica (km)	300 - 500	Uniforme	
Agregados, fábrica-fábrica (km)	24 - 200	Uniforme	
Aditivos, fábrica-fábrica (km)	50 - 20000	Uniforme	
Variáveis adicionais – concreto inovador			
Dosagem do concreto			
Intensidade de ligante	f _{ck} 25 MPa (kg/(m ³ .MPa))	4,0 - 6,0 - 7,9	Triangular
	f _{ck} 30 MPa (kg/(m ³ .MPa))	3,4 - 5,1 - 6,8	
	f _{ck} 40 MPa (kg/(m ³ .MPa))	2,7 - 4,1 - 5,4	
	f _{ck} 50 MPa (kg/(m ³ .MPa))	2,5 - 3,7 - 5,0	
	f _{ck} 60 MPa (kg/(m ³ .MPa))	2,5 - 3,7 - 5,0	
Distância de transporte das matérias-primas			
Filer calcário, fábrica-fábrica (km)	100-1000	Uniforme	

* Mínimo-máximo para distribuição uniforme, mínimo-mais provável-máximo para distribuição triangular

► Tabela 3 – Variáveis referentes à produção de pré-fabricados e à construção da estrutura

Variável	Valor*	Distribuição de probabilidade
Pegada de carbono do consumo de energia no canteiro (kg CO _{2e} /m ² de área construída)	0,1 - 25	Uniforme
Pegada de carbono do bombeamento de concreto <i>in loco</i> (kg CO _{2e} /m ³ concreto)	0,3 - 2,7	Uniforme
Pegada de carbono da produção de pré-fabricados (kg CO _{2e} /m ³ concreto)	5,2 - 112	Uniforme
Pegada de carbono das fôrmas para concreto moldado <i>in loco</i> (kg CO _{2e} /m ³ concreto)	75 - 733	Uniforme
Perdas de concreto – estacas hélice contínua (%)	3 - 20 - 35	Triangular
Perdas de concreto – concreto moldado <i>in loco</i> (%)	2 - 10 - 25	Triangular

* Mínimo-máximo para distribuição uniforme, mínimo-mais provável-máximo para distribuição triangular

pegada de carbono da estrutura, para o concreto convencional e para o concreto inovador (HFLW).

3.1 Concreto convencional

A pegada de carbono da estrutura considerando apenas o concreto convencional pode variar entre 162 e 324 t CO_{2e}, ou seja, uma variação total de 100% (vide curvas contínuas da Figura 3). O fator que mais contribui para essa variação é a escolha do tipo de laje, que corresponde a 59% da variância. Essa variável é importante porque determina as quantidades de concreto e aço da estrutura, parâmetros aos quais todas as demais variáveis estão associadas. Esse resultado demonstra a importância do projetista estrutural na definição da pegada de carbono dos edifícios.

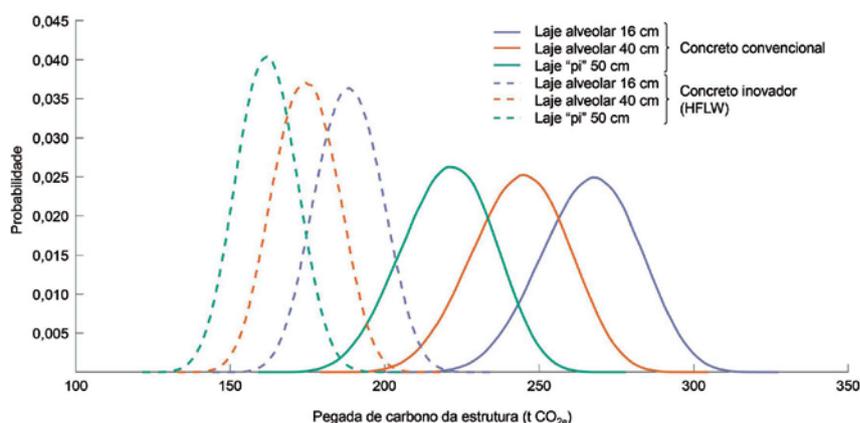
A estrutura com laje “pi” tende a apresentar menor pegada de carbono (em média, 220 t CO_{2e}), sobretudo porque requer menor volume de concreto, seguida pelas lajes alveolares de 40 cm (244 t CO_{2e}) e 16 cm (267 t CO_{2e}), respectivamente (vide curvas contínuas da Figura 3). Entretanto, as curvas de pro-

habilidade para a pegada de carbono de cada opção de laje se sobrepõem, o que significa, por exemplo, que é possível ter uma estrutura com laje alveolar de 16 cm com desempenho ambiental comparável ao da estrutura com laje “pi”, dependendo das demais decisões.

O segundo fator mais importante é a pegada de carbono do cimento composto, que corresponde a 23% da variância total. A variação da pegada de

carbono do cimento composto (360 a 860 kg CO_{2e}/t) se deve principalmente à variação do teor de clínquer desses cimentos (CP II, CP III e CP V). Ou seja, a escolha do tipo de cimento usado na formulação do concreto dosado em central é uma decisão importante para a pegada de carbono da estrutura; conseqüentemente, a escolha do fornecedor de concreto dosado em central em função de sua pegada de carbono também é importante.

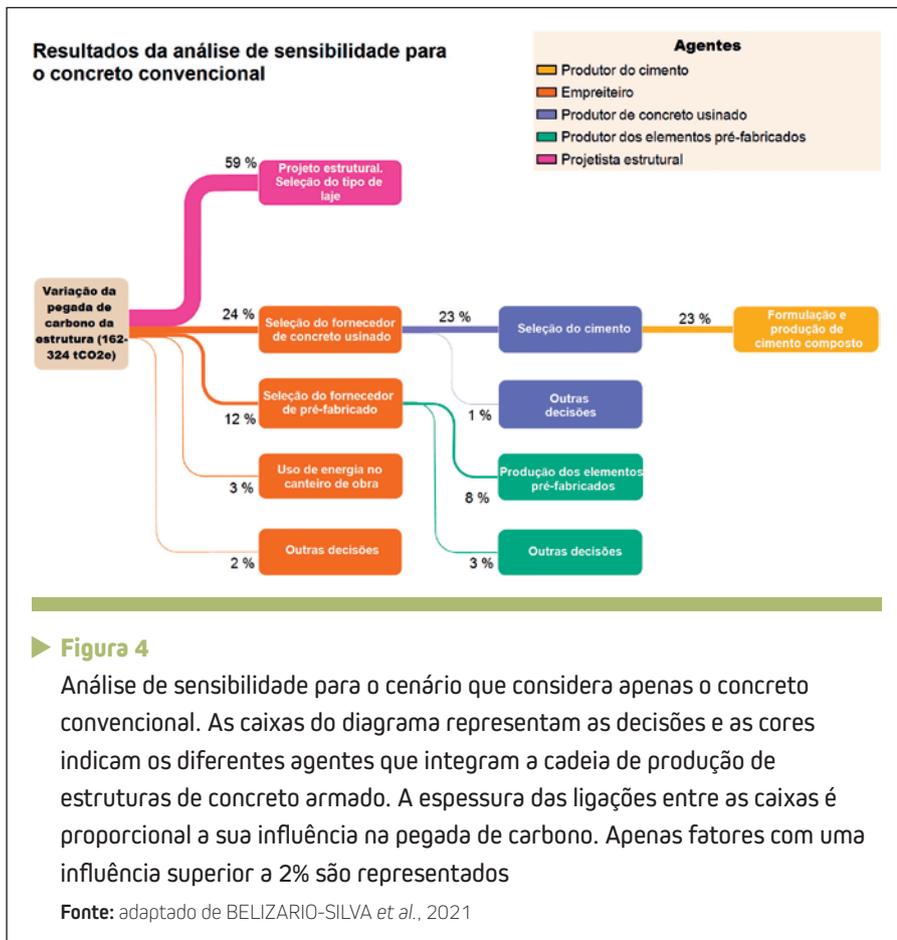
O terceiro fator mais importante é o consumo de energia na produção dos elementos pré-fabricados de concreto, que corresponde a 8% da variância. Entretanto, essa variação está mais associada à incerteza dessa variável, estimada com base em dados secundários, do que a uma variação existente entre fabricantes. Os demais fatores não contribuem significativamente para a variação da pegada de carbono da estrutura. Ou seja, a diretriz bastante difundida de se utilizar materiais locais para reduzir impactos ambientais,



► Figura 3

Varição na pegada de carbono da estrutura, para as diferentes opções de laje e formulações de concreto. As curvas contínuas referem-se ao concreto convencional e as curvas tracejadas referem-se ao concreto inovador





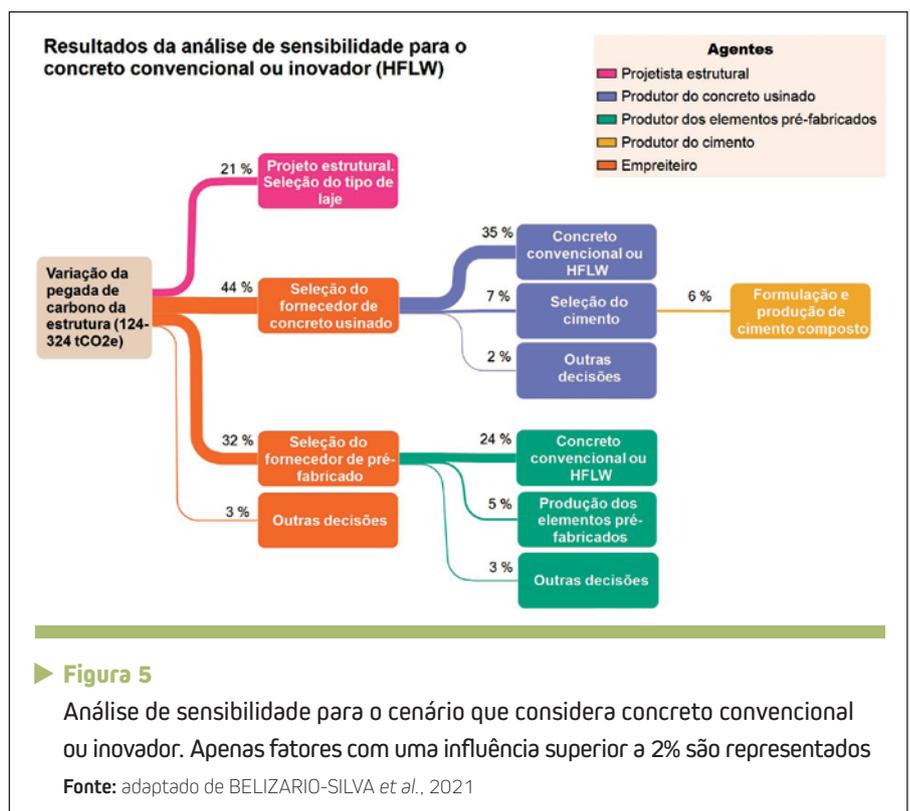
varia entre 124 e 324 t CO_{2e}, ou seja, o limite mínimo é reduzido, pois o concreto HFLW tem uma menor pegada de carbono, como fica evidente nas curvas tracejadas apresentadas na Figura 3.

Nesse cenário, a variável mais importante é a escolha entre o concreto convencional e o concreto HFLW, que corresponde a 59% da variância total (somando-se a escolha feita para o concreto dosado em central e para o concreto pré-fabricado). O projeto, por sua vez, é o segundo fator mais importante, representando 21% da variância. Observam-se dois grupos distintos de curvas de pegada de carbono, sendo que as menores pegadas correspondem ao concreto HFLW (curvas tracejadas) e as maiores, ao concreto convencional (curvas contínuas). Apesar disso, ainda é possível construir uma estrutura com concreto convencional

na prática tem pouco efeito sobre a pegada de carbono, visto que a variação na distância de transporte contribui com menos de 1% da variância total.

3.2 Concreto convencional ou inovador

No cenário apenas com o concreto convencional, a decisão mais importante para a variação da pegada de carbono da estrutura é o projeto. As variáveis associadas à formulação do concreto contribuem muito pouco para essa variação. Entretanto, ao considerar que o concreto pode ser convencional ou inovador (HFLW), os resultados mudam significativamente. A pegada de carbono da estrutura



e desempenho ambiental equivalente ao concreto HFLW, otimizando-se as demais decisões.

Portanto, a consideração de inovações na formulação do concreto permite reduzir ainda mais a pegada de carbono da estrutura e aumenta o protagonismo do produtor de concreto para melhorar o desempenho ambiental das estruturas. Observa-se que o artigo não explorou inovações em outras frentes, tais como abordagens inovadoras para o projeto (por exemplo, otimização topológica), para a produção de aço, entre outros. É de se esperar que tais inovações também aumentem o protagonismo de outros agentes do setor para ações de promoção do desenvolvimento sustentável.

4. CONCLUSÕES

Decisões que fazem parte do dia a dia de profissionais da construção podem alterar significativamente a pegada de carbono de estruturas de concreto armado e, consequen-

temente, dos edifícios. O estudo de caso explorado nesse artigo mostra que a pegada de carbono pode dobrar (ou cair pela metade) em função dessas decisões. Se forem exploradas inovações, como o exemplo na formulação do concreto, essa variação pode ser ainda maior. O projeto estrutural e a escolha do cimento em função de sua pegada de carbono são as decisões mais importantes no cenário que considera apenas o concreto convencional, enquanto no cenário com concreto inovador, a escolha entre o concreto convencional e o concreto com alto teor de fíler calcário é a decisão que causa maior variação na pegada de carbono da estrutura.

Esses resultados demonstram a importância de que projetistas estruturais, fabricantes de materiais de construção e construtores considerem as implicações ambientais de suas decisões; do contrário, grandes oportunidades de mitigação das mudanças climáticas po-

dem passar despercebidas. Para isso, é importante que indicadores de desempenho ambiental, como a pegada de carbono, passem a integrar os critérios de decisão do setor da construção.

AGRADECIMENTOS

Pesquisa contou com suporte da Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas INCT Tecnologias Cimentícias Eco-eficientes Avançadas (FAPESP nº 2014/50.948-3, CNPq nº 485.340/2013-5). O projeto do Edifício experimental CICS é de Aflalo Gasperini sendo que estruturas e fundações cantam com o apoio de ArcelorMittal, InterCement, Leonardi Construções e Tupper. Marcelo Cuadrado, da Leonardi Construções Industrializadas, desenvolveu os projetos estruturais. Beatriz Gomes (Poli-USP) e Alina Galimshina, Maliki Moustapha e Guillaume Habert (ETH) participaram do desenvolvimento da versão original deste artigo. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAWDEN, K. R.; WILLIAMS, E. D.; BABBITT, C. W. Mapping product knowledge to life cycle inventory bounds: a case study of steel manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, vol. 113, p. 557–564, Feb. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.10.014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.014>.
- [2] BELIZARIO-SILVA, F.; GALIMSHINA, A.; REIS, D. C.; QUATTRONE, M.; GOMES, B.; MARIN, M. C.; MOUSTAPHA, M.; JOHN, V.; HABERT, G. Stakeholder influence on global warming potential of reinforced concrete structure. *Journal of Building Engineering*, vol. 44, no. July, p. 102979, Dec. 2021. DOI 10.1016/j.jobbe.2021.102979. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102979>.
- [3] DE WOLF, C.; HOXHA, E.; HOLLBERG, A.; FIVET, C.; OCHSENDORF, J. Database of Embodied Quantity Outputs: Lowering Material Impacts Through Engineering. *Journal of Architectural Engineering*, vol. 26, no. 3, p. 04020016, Sep. 2020. DOI 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000408. Available at: [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000408](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000408).
- [4] IPCC. Summary for Policymakers. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. [S. l.]: Cambridge University Press, 2021. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- [5] JOHN, V. M.; DAMINELI, B. L.; QUATTRONE, M.; PILEGGI, R. G. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. *Cement and Concrete Research*, vol. 114, p. 65–78, Dec. 2018. DOI 10.1016/j.cemconres.2017.09.013. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884616311425>.
- [6] SILVA, F. B.; OLIVEIRA, L. A.; YOSHIDA, O. S.; JOHN, V. M. Variability of environmental impact of ready-mix concrete: a case study for Brazil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 323, p. 012132, 6 Sep. 2019. DOI 10.1088/1755-1315/323/1/012132. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012132>.
- [7] UNEP. 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and construction Sector. Nairobi: [s. n.], 2020.

