POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE CO_2 DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS NA FASE DE USO[1]

JOHN, V. M., Universidade de São Paulo, email: vanderley.john@lme.pcc.usp.br; PUNHAGUI, K. R. G., Universidade Federal da Integração Latino-americana, email: katia.punhagui@unila.edu.br; QUATTRONE, M., Universidade de São Paulo, email: marco.quattrone@lme.pcc.usp.br; REIS, D.C., Universidade de São Paulo, email: daniel.reis@lme.pcc.usp.br

ABSTRACT

Due to the wide range of applications, the low cost, the easy-to-obtain raw materials and the easy-to-built 3D structures at ambient temperature, cementitious materials have been the most consumed construction materials. However, the cement production accounts for about 6-8% of anthropogenic CO_2 emissions. Emission mitigation strategies of the cement industry have focused on the cement production phase and there are few proposals for reducing impacts during the in-use phase of cementitious materials. In this way, this work aims to estimate the CO_2 mitigation potential associated with efficiency gains from the industrialization of Brazilian concretes and mortars market. For this purpose, the CO_2 mitigation potential was assessed considering an increase of the fraction of industrialized products. Two scenarios were analysed. The reference scenario presents, "business as usual", the CO_2 emissions of cement production as a function of its market share for concrete and mortar. The low-carbon scenario presents results obtained due to an increase of the use of industrialized cementitious products and a decrease of the clinker content in cement. Input data came directly from cement producers and sectorial organizations. Results indicate a significative CO_2 mitigation potential ~80Mt, approximately 5.1% of CO_2 emissions due to the cement production from 2014 to 2050.

***Keywords**: Cement materials. Mitigation of CO_2. Concretes. Mortars.*

1 INTRODUÇÃO

Os materiais cimentícios possuem larga escala de aplicação no setor da construção e são os mais usados em razão da disponibilidade de matérias-primas, baixo custo, facilidade de emprego, e possibilidade de produção de elementos em 3D à temperatura ambiente. Porém, a produção de cimento emite entre 6-8% do CO_2 antropogênico (SCRIVENER, K., 2014), devido à descarbonatação do calcário e consumo de combustíveis fósseis.

Estratégias de mitigação das emissões do cimento têm focado na fase de produção e envolvem eficiência energética, combustíveis alternativos e redução do teor de clínquer. Estas estratégias estão parcialmente esgotadas, e para o futuro o setor prevê investir em captura de CO_2 (UNEP, 2017) (WBCSD; IEA, 2009).

Entretanto, o potencial de redução das emissões na fase de uso do cimento não tem sido foco das pesquisas e mecanismos políticos. Poucos estudos exploram a capacidade de ganhos de eficiência na fase de utilização (MÜLLER; HARNISCH, 2008) (UNEP, 2017) (ABCP; SNIC, 2018). A única política

[1] JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G.; QUATTRONE, M.; REIS, D. C. Potencial de mitigação de CO_2 de materiais cimentícios na fase de uso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

pública conhecida, associada ao emprego do cimento, é o banimento de sua comercialização em sacos. Esta foi implementada em grandes cidades chinesas (CEMNET, 2007; XNA, 2007) e promove o uso do cimento a granel (CBCA, 2016).

Assim, este trabalho objetiva estimar o potencial de mitigação de CO_2 por ganho de eficiência associado à industrialização de concretos e argamassas brasileiros. Ele resume os estudos conduzidos para o *RoadMap* - Brasil 2050 (ABCP; SNIC, 2018).

2 MÉTODO

O estudo desenvolve hipóteses baseadas em dados primários e secundários para a composição de cenário de referência (CR), onde apresenta-se o *business as usual* ("procedimentos usuais") do consumo de cimento empregado na formulação de concretos e argamassas; e cenários de baixo carbono (CBC), onde aplicam-se estratégias de eficiência no uso do cimento por meio da industrialização desses materiais cimentícios. Para compor os cenários utilizou-se dados apresentados na Tabela 1 fornecidos pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), presentes no estudo do Roadmap Brasileiro (ABCP; SNIC, 2018).

O CR considerou as informações presentes na Tabela 1 obtida a partir de subsídios primários e secundários, dados dos relatórios do SNIC e de especialistas. Estes obtidos por meio de entrevista não estruturada feita por correio eletrônico e telefone. Os CBC consideraram: constantes os volumes consumidos de concretos e argamassas; aumento do *market share* ("quota de mercado") dos produtos industrializados visando a redução do consumo de cimento; e a introdução de misturadores estacionários nas concreteiras que tem, conservadoramente, o potencial de redução do teor de cimento em 10% (chegando a 259 kg/m^3 em 2050).

O *market share* de concretos e argamassas foi estimado considerando subsídios de especialistas do setor e estimativas próprias que consideraram produção de cimento e aço para concreto armado, e informações constantes na seção "Perfil da distribuição do cimento Portland" (PDCP) dos relatórios do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2013). Foi assumido que 90% do cimento produzido é empregado para concretos e argamassas. A partir dos dados estatísticos de produção de vergalhões e fios para reforço de concreto, e valores típicos do teor de cimento para a produção de concreto, estabeleceu-se que cerca de 35% do cimento foi empregado na produção de concreto armado (ano 2014). Do restante, 55% foi destinado para argamassas e 10% para outros fins (conforme PDCP).

As emissões de CO_2 resultam da multiplicação do fator de emissão (FE) do cimento e cal (esta somente em argamassas, sendo considerado 14 kg/m^3 na industrializada e 18 kg/m^3 na feita em obra) pelos teores presentes no concreto e argamassa. O FE da cal baseou-se no estudo do setor (JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014), onde para cal hidratada (80% dolomítica - CHIII e 20% dolomítica - CHI) tem-se 700 kgCO_2/t de cal. O FE da cal foi mantida

constante e considerada apenas as emissões diretas do processo de fabricação.

Tabela 1 - Dados para composição dos cenários de referência (CR) e baixo carbono (CBC)

Ano	**2014 (CR e CBC)**	**2050 (CR)**	**2050 (CBC)**
Produção de cimento*	71 Mt	117 Mt	
Teor de clínquer*	68%	52%	
Fator de emissão de CO_2*	564 $kgCO_2/t$	375 $kgCO_2/t$	
Consumo energético (combustíveis) *	3,5 $kcal/kg_{clínquer}$	3,2 $kcal/kg_{clínquer}$	
Consumo energético (eletricidade) *	113 $kWh/t_{cimento}$	91 $kWh/t_{cimento}$	
Volume consumido			
Concretos	80 Mm^3	191 Mm^3	
Argamassas	152 Mm^3	182 Mm^3	
Teor de cimento			
Concreto industrializado	285 kg/m^3		259 kg/m^3
Concreto feito em obra	350 kg/m^3		
Argamassa industrializada	239 kg/m^3		
Argamassa feita em obra	259 kg/m^3		
Market share			
Concreto industrializado	19%	31%	39%
Concreto feito em obra	16%	18%	5%
Argamassa industrializada	2%	4%	30%
Argamassa feita em obra	53%	36%	8%

Fonte: estimativas dos autores baseadas em subsídios primários e secundários obtidos de especialistas e nos relatórios do SNIC; e * informações fornecidos pela ABCP presentes no estudo *RoadMap* Brasil (ABCP; SNIC, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cimento ensacado é usualmente utilizado em concretos e argamassas produzidos em obra. As formulações praticadas em condições típicas de canteiro geralmente seguem o saber popular, registrado na Internet, e são caracterizadas por um alto teor de cimento. Este compensa a ausência do controle de qualidade, as incertezas das características dos agregados, umidade da areia e desempenho do cimento (a maioria das formulações não faz referência a um tipo ou classe de resistência do cimento).

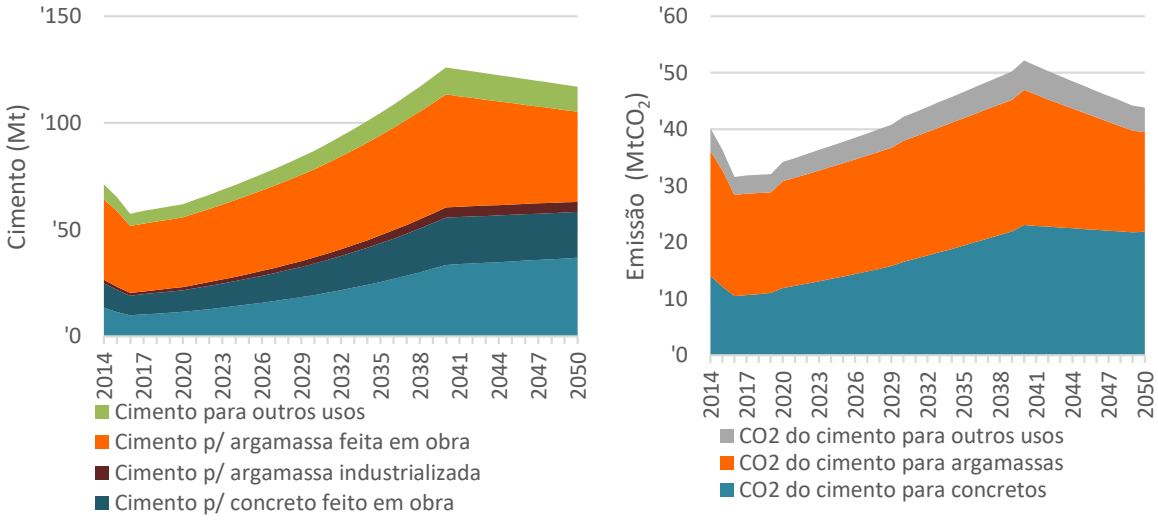
Por outro lado, o cimento vendido a granel destina-se a operações industriais, onde a escala de produção viabiliza a melhor seleção de materiais, presença de equipamentos de controle e precisão, uso de dispersantes e aditivos, profissionais que analisam formulações para o melhor desempenho, custo e redução do consumo específico do cimento. Isto impacta diretamente nas emissões de CO_2.

No Brasil cerca de 70% do cimento é vendido ensacado (dado do ano 2016) (SCRIVENER, K. L.; JOHN; GARTNER, 2018). Existem países com renda per capita similar à do Brasil onde cimento ensacado representa menos de 40% do mercado (UNEP, 2017), o que evidencia o potencial de políticas para promoção da industrialização. Por estas razões, acredita-se que a promoção da industrialização do uso do cimento tem possibilidades de mitigação das emissões, associados a ganhos de eficiência e melhorias na cadeia (com a viabilização do consumo de materiais de procedência formal).

3.1 Cenário de Referência

O cenário de referência apresenta o crescimento do consumo de concretos e argamassas (por meio do consumo de cimento), onde o primeiro ganha fração de mercado em relação ao segundo devido ao aumento esperado da industrialização e pré-fabricação de elementos construtivos. Adicionalmente, a fração de materiais cimentícios industrializados deve crescer em ambas as aplicações. As emissões diretas de CO_2 resultantes do consumo de cimento são apresentadas na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**.

Figura 1 – Cenário de referência: consumo de cimento por aplicação a cada ano (esquerda) e respectivas emissões do cimento (direita)



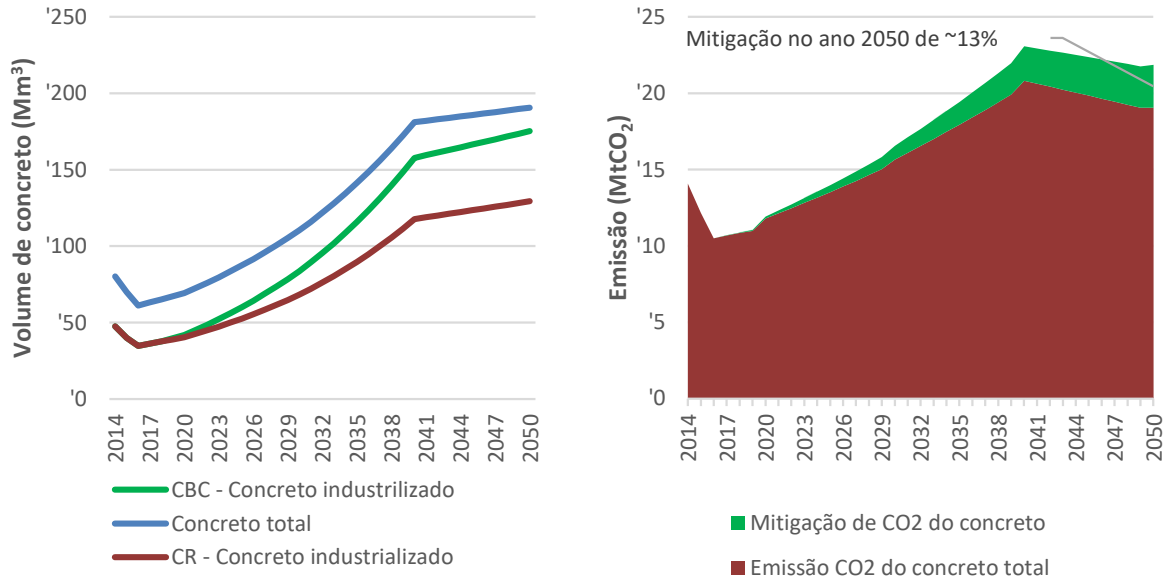
Fonte: Os autores, estimado a partir de dados primários e secundários sobre o "business as usual"

3.2 Potencial de mitigação pelo aumento do concreto industrializado

No CBC do concreto, considerou-se o aumento da fração de mercado do concreto industrializado, incentivado por políticas públicas, bem como a introdução gradativa de misturadores estacionários nas centrais de produção de concreto. Isso reduziria o consumo específico (médio) de cimento no concreto usinado de 285 kg/m³ (atual estimado) para 259 kg/m³ (em 2050).

Esta estratégia possui um potencial de redução das emissões de 46,7 Mt de CO_2 (de 2014 a 2050), equivalente a cerca de 3,2% das emissões totais do cimento no período, ou 13% das emissões do concreto no ano 2050.

Figura 2 – Cenário de baixo carbono: evolução da produção de concreto (esquerda) e potencial de mitigação com incentivo pela industrialização do concreto, estimado em 47Mt de CO_2 entre 2014 e 2050 (direita)



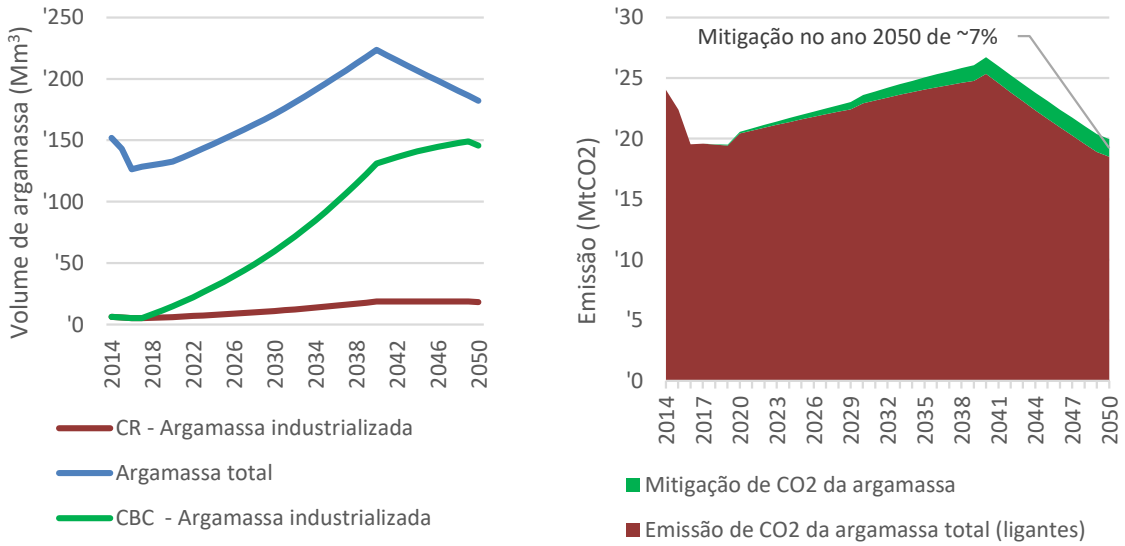
Fonte: Os autores, estimado a partir de hipóteses de inserção de tecnologias para mitigação de carbono

3.3 Potencial de mitigação pelo aumento da argamassa industrializada

No CBC da argamassa, considerou-se o aumento da industrialização com uso generalizado de incorporador de ar, aumentando em 20% (valor típico) o rendimento do produto em volume, bem como a redução do teor de cal hidratada (intensiva em CO_2).

Estima-se que, com políticas de incentivo, o aumento da fração das argamassas de revestimento industrializadas no mercado tenha um potencial de redução das emissões de 29,3 Mt de CO_2 (de 2014 a 2050), equivalente a 1,9 % das emissões totais do cimento no CR; ou, 7% das emissões da argamassa no ano 2050.

Figura 3 – Cenário de baixo carbono: evolução da produção de argamassa (esquerda) e potencial de mitigação pela industrialização da argamassa, estimada em 29Mt de CO_2 entre 2014 e 2050 (direita)



Fonte: Os autores, estimado a partir de hipóteses de inserção de tecnologias para mitigação de carbono

4 CONCLUSÕES

As bases de informação para caracterização do CR, bem como os valores resultantes da aplicação de estratégias de industrialização de produtos cimentícios nos CBC, evidenciam significativa potencialidade para minimização de emissões de CO_2 na fase de uso do cimento. Os ganhos avançam ao tema dos gases de efeito estufa e incluem aumento de eficiência e redução de impactos ambientais negativos associados à produção informal de agregados.

O incentivo ao aumento da fração de mercado para concretos e argamassas industrializados poderia mitigar, moderadamente, cerca de 80 Mt de CO_2 entre 2014 e 2050, equivalente a 5,1% das emissões do cimento. Adicionalmente, a combinação do aumento do concreto industrializado, em centrais com misturadores estacionários, e do emprego de cimento com menor teor de *filler,* poderia reduzir em 50% a pegada de carbono do valor típico atual.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Bruno L. Damineli (IAU USP) pelo auxilio na estimativa de volume de pasta; Pedro C. R. A. Abrão (LME Poli USP) pela compilação dos dados relativos ao consumo de aço em concreto armado e de concreto em edifícios; a Marcelo Pecchio da ABCP e Gonzalo Visedo do SNIC. Este trabalho foi financiado com recursos do SNIC & ABCP, do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Materiais Cimentícios Avançados INCT CEMtec (projeto n. FAPESP 2014/50948-3) e do projeto FAPESP n. 2016/05278-5. O Dr. Marco

Quattrone é bolsista de pós-doutorado sênior do CNPq (processo n. 136635/2016-4). O MSc. Daniel Costa Reis é bolsista CAPES.

REFERÊNCIAS

ABCP ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; SNIC SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Mapeamento Tecnologico do Cimento - Brasil 2050.** São Paulo: ABCP & SNIC, 2018.

CEMNET. **China to phase out cement mixers in major cities to improve energy efficiency**. *CemNet.com*. 2007. Disponível em: <http://www.cemnet.com/News/story/138507/china-to-phase-out-cement-mixers-in-major-cities-to-improve-energy-efficiency.html>. Acesso em: 21/nov./16.

CBCA CHINA BULK CEMENT ASSOCIATION. **2016 National Bulk Cement and related Green Industry Forum and industrial transformation and upgrading seminar on Sustainable Development held in Jinan**. 2016. Disponível em: <http://www.chinabca.com/product.php?action=8968>. Acesso em: 08/ago./16.

JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G.; CINCOTTO, M. A. **Produção de cal**. *Economia de Baixo Carbono - Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias Sobre a Economia Brasileira*. Ribeirão Preto: Funpec Editora, 2014. p. 371–400. ISBN: 978-85-7747-103-4.

SCRIVENER, K. **Options for the future of cement**. *Indian Concrete Journal*, [s.l.], v. 88, p. 11–21, 2014.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry**. *Cement and Concrete Research*, [s.l.], 2018. ISSN: 0008-8846, DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

SNIC SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual (2001-2013)**. 2013. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-relatorio-anual.php>. Acesso em: 25/out./17.

UNEP UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Eco-efficient Cements: Potential Economically Viable Solutions for a Low-CO2 Cement-based Materials Industry**. Paris: UNEP, 2017. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/25281>. Acesso em: 02/abr./18.

WBCSD WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; IEA INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Cement Technology Roadmap 2009 - Carbon emissions reductions up to 2050**. França: OECD/IEA/WBCSD, 2009. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-cement.html>. Acesso em: 02/abr./18.

XNA XINHUA NEWS AGENCY. **Cement Mixing Banned in Cities -- china.org.cn**. *China.org.cn*. 2007. Disponível em: <http://www.china.org.cn/archive/2007-08/02/content_1219551.htm>. Acesso em: 21/nov./16.