CONCRETO
& Construções

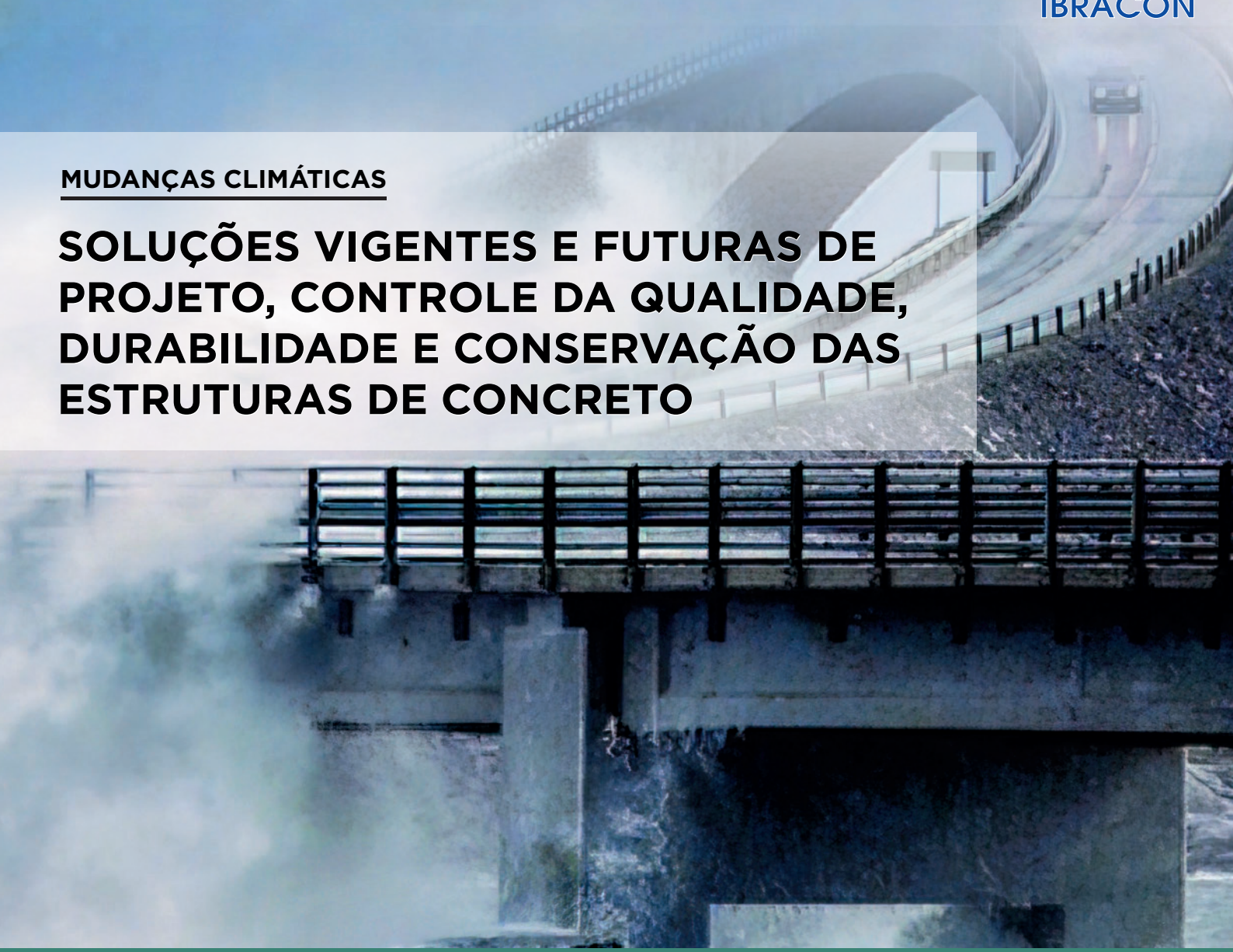
Ano LII
116
OUT-DEZ | 2024

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

IBRACON

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

SOLUÇÕES VIGENTES E FUTURAS DE PROJETO, CONTROLE DA QUALIDADE, DURABILIDADE E CONSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

MICHAEL FABER: MUDANÇA DE PARADIGMA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO PARA REDUÇÃO DE CARBONO

OBRAS EMBLEMÁTICAS

PRIMEIRA PASSARELA BRASILEIRA DE UHPC

65º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

O QUE FOI DISCUTIDO E REALIZADO NO CONGRESSO DO IBRACON DESTE ANO

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS

MC

chryso SAINT-GOBAIN

ADCO Eficiência em Aditivos para Concreto

Sika BUILDING TRUST

ADITIBRAS Aditivos para Concreto e Auxiliares para Construção Civil

PENETRON TOTAL CONCRETE PROTECTION

Borregaard

CARBON CURE

VEDACIT

ADIÇÕES

Elkem

quartzolit SAINT-GOBAIN PROFISSIONAL

Tecnosil SOLUÇÕES ESPECIAIS

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

MCI MIGRATING CORROSION INHIBITORS FROM GREY TO GREEN

ONSITE ESTRUTURAS

ARMADURA

GERDAU

EQUIPAMENTOS

INSTRON EMIC

ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

Universidade de São Paulo Escola Politécnica

PUC CAMPINAS PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

idd·educação avançada

ESCRITÓRIOS DE PROJETOS

TQS

ENGETI

ABECE Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

PhD Engenharia

GPD Consultoria e Projetos

JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

SUMÁRIO

65º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

14 Inovações tecnológicas do concreto para um futuro sustentável

24 Premiações de profissionais

28 Concursos estudantis

31 Lançamento de publicações técnicas

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

34 Análise da durabilidade do concreto armado em cenário de mudança climática

40 Potencial de captura de CO_2 de agregados graúdos reciclados de concreto no cenário nacional

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

50 Discussão sobre recomendações adicionais na ABNT NBR 6118:2023 para projeto de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade

OBRAS EMBLEMÁTICAS

61 Passarela de UHPC para pedestres

CRÉDITOS DE CAPA
ATLANTIC OCEAN ROAD, LITORAL DA NORUEGA

Seções

5 EDITORIAL
6 CONVERSE COM O IBRACON
7 PERSONALIDADE ENTREVISTADA: MICHAEL FABER
46 ENTIDADES DA CADEIA
56 MANTENEDOR
64 ENCONTROS E NOTÍCIAS
66 ACONTECE NAS REGIONAIS

ERRATA

Na legenda da figura que ilustra a nota sobre o lançamento da Prática Recomendada "PUC permeável moldado *in loco*" (p. 70), da edição 115 da Revista CONCRETO & Construções, leia-se: ...o presidente da ABESC, Wagner Lopes...

CONCRETO & Construções

REVISTA OFICIAL DO IBRACON
Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto.

ISSN 1809-7197
Tiragem desta edição: 2.500 exemplares | Publicação trimestral distribuida gratuitamente aos associados

EDITOR-CHEFE
→ Prof. Enio Pazini Figueiredo

JORNALISTA RESPONSÁVEL
→ Fábio Luís Pedroso — MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO
→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP
→ Gill Pereira
gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO
office@ibracon.org.br

GRÁFICA
Duograf
Preço: R$ 12,00

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

© Copyright 2024 IBRACON

Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

IBRACON
Av. Queiroz Filho, 1.700 — sala 407 / 408, Torre D — Villa Lobos Office Park
05319-000 - Vila Hamburguesa — São Paulo - SP — Tel. (11) 3735-0202

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO
Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual
Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal
Decreto 86871 de 25/01/1982

JULIO TIMERMAN
DIRETOR PRESIDENTE

PAULO HELENE
DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

CARLOS JOSÉ MASSUCATO
DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

CLÁUDIO SBRIGHI NETO
DIRETOR 1º SECRETÁRIO

JOSÉ VANDERLEI ABREU
DIRETOR 2º SECRETÁRIO

NELSON COVAS
DIRETOR 1º TESOUREIRO

PAULA LACERDA BAILLOT
DIRETORA 2ª TESOUREIRA

ERCIO THOMAZ
DIRETOR TÉCNICO

MAURÍCIO BIANCHINI
DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

LEANDRO MOUTA TRAUTWEIN
DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

MARCO ANTONIO CARNIO
DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT
DIRETOR DE EVENTOS

JÉSSIKA MARIANA PACHECO MISKO
DIRETORA DE CURSOS

CÉSAR HENRIQUE SATO DAHER
DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

ALEXANDRE BRITEZ
DIRETOR DE MARKETING

JÉSSICA ANDRADE DANTAS
DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL
Enio Pazini Figueiredo

COMITÊ EDITORIAL MEMBROS
→ Carlos Massucato (sustentabilidade)
→ Eduardo Aquino Gambale (barragens)
→ Fabiano Ferreira Chotoli (qualidade e desempenho)
→ Jairo José de Oliveira Andrade (durabilidade)
→ Lydio dos Santos B. de Mello (normalização)
→ Manfredo Belohuby (cimentos e aditivos)
→ Marco Carnio (estruturas e materiais não convencionais)
→ Paulo Eduardo F. de Campos (Arquitetura)
→ Paulo Fernando Araújo da Silva (controle da qualidade)
→ Paulo Helene (tecnologia do concreto)
→ Públio Penna Firme Rodrigues (pisos e pavimentos)
→ Ricardo Couceiro Bento (projeto estrutural)
→ Vinicius Caruso (saneamento)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO
Gláucia Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS
→ Andrielli Morais (UFG)
→ Ana Elizabete Jacintho (PUC-Campinas)
→ Cristiane Bueno (UFSCAR)
→ Edna Possan (Unila)
→ Emerson Felix (UNESP)
→ Fernanda G. da Silva Ferreira (UFSCAR)
→ Fernando Couto (UFMG)
→ Leandro Mouta (UNICAMP)
→ Luiz Carlos de Almeida (UNICAMP)
→ Marcelo Ferreira (UFSCAR)
→ Marcelo H. Farias de Medeiros (UFPR)
→ Margot Fabiana Pereira (UFSCAR)
→ Maria Tereza da Silva Melo (UFCAT)
→ Mariana Posterlli (UFMT)
→ Nadia Carazim (PUC-Campinas)
→ Ricardo Carrazedo (USP/São Carlos)
→ Roberto Christ (UNISINOS)
→ Rodrigo de Melo Lameiras (UNB)
→ Rogério Carrazedo (USP/São Carlos)
→ Sérgio Roberto da Silva (PUC-RS)
→ Wallison Medeiros (UFCAT)
→ Wellington Andrade da Silva (UFCAT)

Construir um **futuro responsável**

Caro leitor,

Nos últimos meses notícias relevantes relacionadas ao tema sustentabilidade foram publicadas, que terão impacto na cadeia da construção. O SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) divulgou que o Brasil teve a maior queda percentual desde o início da série histórica iniciada em 1990. O país emitiu 2,3 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente, redução de 3% em relação ao ano anterior, enquanto a concentração global de CO2 na atmosfera aumentou em mais de 10% em duas décadas (novembro/2024).

O Ministério de Minas e Energia deu o "de acordo" para a operacionalização do SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção) (maio/2024).

O Plenário do Senado aprovou o projeto que regulamenta o mercado de crédito de carbono no Brasil (PL182/2024), incentivando a redução das emissões (outubro/2024).

O Brasil apresentou na COP 29 em Baku, no Azerbaijão, a meta de redução de emissões de gases de efeito estufa para 2035 e quais as medidas estão sendo adotadas para atingir o compromisso voluntário. A meta de redução entre 59% e 67% de redução de GEE, comparado aos níveis de 2005, envolve todos os setores da economia (novembro/2024).

Não poderíamos ter escolhido um tema mais adequado para a edição 116 da Revista Concreto e Construção.

Evidentemente que, graças aos esforços e a competência dos profissionais da Engenharia brasileira, temos o cimento com a menor emissão específica de CO_2 do mundo e, por conseguinte, a do concreto. Esta não foi apenas uma tendência, mas um legado para as próximas gerações.

Quando tratamos das questões dos eventos climáticos, não adianta trabalharmos pensando somente no Brasil. Temos que pensar e agir para impactar globalmente a sociedade. Isto é ressaltado pelo Prof. Dr. Michael Faber na sua entrevista nesta edição. Ele aplica o princípio 80%-20% para atingirmos a sustentabilidade no ambiente construído, o que significa que 80% do desafio pode ser resolvido com 20% dos esforços. Ele defende que o conhecimento acadêmico deve servir à indústria e não ser usado como álibi para financiar novas pesquisas. Isso requer uma mudança de paradigma na construção. A construção deve servir à sociedade e não às partes interessadas da indústria da construção. Sabemos que a indústria da construção necessita de recursos naturais e o Brasil tem sido um exemplo de como fazer o bom uso desses recursos. Entretanto, o enfrentamento das mudanças climáticas requer coordenação global e consenso sobre quanto, onde e como a sociedade global quer construir. Os eventos ocorridos no sul do Brasil e na Espanha (Valencia) evidenciam que os efeitos climáticos atingem a todos e que precisamos de um consenso global.

Destacamos nesta edição o 65º Congresso Brasileiro do Concreto, onde a durabilidade, sustentabilidade e a inovação foram temas presentes nas palestras magnas da Dra. Iria Doniak (vice-presidente da Federação Internacional do Concreto Estrutural – *fib*), do Prof. Dr. Jose Matos (vice-presidente da Associação Internacional para Engenharia de Pontes e Estruturas – IABSE) e do Prof. Hani Nassif (Universidade de Rutgers e embaixador do ACI – Instituto Americano do Concreto).

Não existe sustentabilidade sem durabilidade: a vida útil deve ser garantida. Por isso, a importância do lançamento de mais cinco práticas recomendadas sobre ensaios de durabilidade das estruturas de concreto, lançadas no evento pelo CT 702 Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT Durabilidade do Concreto. Também importante para qualificarmos estudantes e profissionais em como medir as emissões foi o lançamento do e-book: "Quantificação das emissões de CO_2 incorporadas em materiais cimentícios e estruturas de concreto", disponível gratuitamente no site do IBRACON.

O mundo tem pressa na questão ambiental e o IBRACON está empenhado nesta jornada. O avanço que tivemos no Brasil quanto ao uso de adições em cimento e concreto, reaproveitamento de resíduos, coprocessamento, agora estão ganhando força global e o IBRACON é parte desta jornada. Precisamos repensar todo o ciclo de vida do concreto, desde o uso de materiais mais sustentáveis, projetos que valorizem a desmaterialização e a longevidade das estruturas.

Desmaterializar é preciso. Fazer mais com menos!

Boa leitura.

ENG. CARLOS MASSUCATO
VICE-PRESIDENTE DO IBRACON E EDITOR-ASSOCIADO DESTA EDIÇÃO

MEMÓRIA INSTITUCIONAL

Diante da notícia de lançamento da nova edição da prática recomendada do IBRACON "Estruturas de Pequeno Porte e Moderada Complexidade" (veja nesta edição), houve uma interação entre os participantes dos fóruns on-line "Calculistas-BA" e "ComunidadeTQS", Ercio Thomaz, Petrus Nóbrega e Paulo Helene, que vale registro resumido por resgatar a memória institucional da publicação.

Aos colegas que talvez não saibam, o IBRACON (na pessoa do Prof. Paulo Helene) tomou a iniciativa de elaborar um livro de título "Estruturas de Pequeno Porte", que foi paciente e brilhantemente coordenado pelo Ercio Thomaz e que envolveu vários colegas, a maioria projetistas com grande experiência e vários de renome nacional.

PETRUS NÓBREGA — PROFESSOR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Agradeço suas amáveis palavras e sua vibração, me dando a oportunidade de recordar a história desse documento.

O ACI em colaboração com a Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica e com o Instituto Colombiano de Normas Técnicas e Certificação, sob a Coordenação de José Izquierdo-Encarnación, conhecido por Pepe Izquierdo, ex-presidente do ACI, na década de 90, iniciaram a discussão e redação de um documento simplificado de projeto estrutural de estruturas de concreto armado de pouca altura, pouca área, enfim de pequeno porte, que atendesse ao ACI 318, mas fosse de fácil compreensão e simplificado para fins educacionais e projetos de pequena envergadura. Consideravam que o texto do ACI 318 estava ficando cada vez mais extenso, mais complexo e poderia dificultar seu uso em estruturas de pequeno porte. Documento publicado "Essential Requirements for Reinforced Concrete Buildings".

O ACI Committee 314, ACI CT 314, em 2016, publicou a mais recente versão do "ACI PRC-314-16 Guide to Simplified Design for Reinforced Concrete Buildings". Author: ACI Committee 314. 2016. 128 pages. ISBN: 9781942727934.

Desde os anos 90, o intercâmbio e colaboração entre ACI e IBRACON já era profícuo e o Prof. Vasconcelos, estimulado, apoiado e com a colaboração do Eng. José Zamarion, ex-presidente do IBRACON, gostou da ideia e teve início o CT 302 Comitê Técnico IBRACON de Estruturas de Pequeno Porte, que publicou em 2003, ano do início de minha primeira gestão na presidência do IBRACON, a "Prática Recomendada IBRACON para Estruturas de edifícios nível 1- Estruturas de Pequeno Porte" . O documento foi publicado, muito vendido e hoje está esgotado.

De 2003 para cá, a norma ABNT NBR 6118 mudou bastante, atualizando-se e acabou deixando essa Prática Recomendada ultrapassada.

Ciente da importância dessa prática, na minha terceira gestão à frente do IBRACON, estimulei o Dr. Ércio a presidir e reativar esse CT-302, pois ele tem todas as características profissionais, de competência, liderança e bom senso para coordenar o CT-302 e publicar nova versão, como de fato vai ocorrer no Congresso de Maceió na semana de 22 a 25 de outubro 2024.

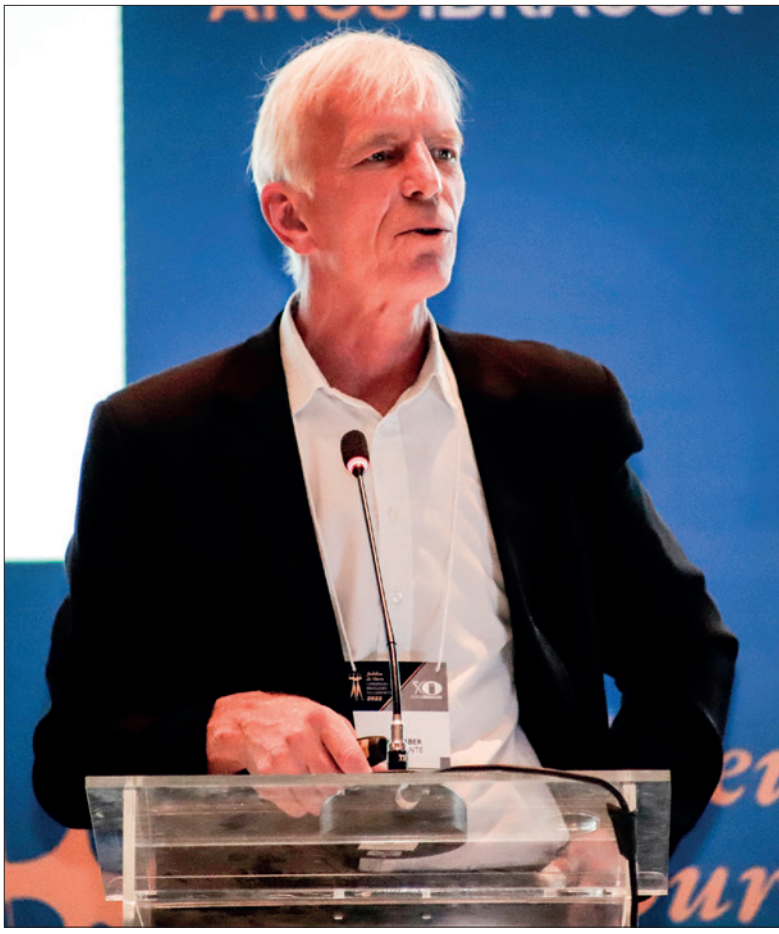
Paulo Helene — vice-presidente do IBRACON e diretor da PhD Engenharia

HOMENAGEM PÓSTUMA

PAULO GRANDISKI NOS DEIXOU NO ÚLTIMO DIA 2 DE NOVEMBRO

Engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com pós-graduado pela Unisanta, Grandiski foi, por trinta anos, consultor técnico de construtoras e atuou fortemente na área de avaliações e perícias em edificaçõesa. Membro de várias Comissões de Estudo de normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Ibape-SP (Instituto de Avaliações e Perícias de São Paulo). Foi palestrante sobre "Perícias em Edificações" e "Problemas Construtivos".

Michael **Havbro Faber**



Michael Faber é professor no Departamento de Ambiente Construído na Aalborg University, na Dinamarca. Suas pesquisas voltam-se ao desenvolvimento de modelos probabilísticos que auxiliem na governança de riscos, resiliência e sustentabilidade do ambiente construído.

Nesta entrevista, Faber propõe uma mudança de paradigma na indústria da construção, de modo que seus processos deixem de ser regulados por prescrições e passem a ser baseados em critérios de desempenho, aos quais ele acrescenta as emissões de dióxido de carbono.

Para ele, deverá haver uma coordenação global do setor que nos diga onde, quando e como construir, de modo que o orçamento global de carbono que nos resta seja eficiente e equitativamente alocado.

IBRACON **TELL US WHY YOU CHOSE CIVIL ENGINEERING AND WHAT CIRCUMSTANCES LED YOU TO PROBABILISTIC MODELING OF SYSTEMS WITH APPLICATIONS TO GOVERNANCE AND MANAGEMENT OF RISKS, RESILIENCE, AND SUSTAINABILITY IN THE BUILT ENVIRONMENT?**

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | To be completely honest, the decision to pursue a university degree in civil engineering was not part of a coherent career plan. Actually, at that time I was also equally considering an education as a veterinarian, and to study psychology for some reason also attracted me. I was very much in doubt. Like many others of my peers - and also students now in the same situation - I believe I was a rather immature young man trying to find the right way ahead for my future life, with very little information on what that really means. Indeed, it was also quite late in my studies – maybe around the sixth semester that I found my deep interest in civil engineering and a strong motivation to try to do things better – that has never really left me again. Offshore engineering at that time was a new and challenging topic in Denmark as we were in process of developing infrastructure for offshore oil and gas production. In that context, at the time still relatively young research field of structural safety appeared super challenging and interesting to me. In hindcast – that combination not only became the topic of my Master thesis but also laid the foundation for what became my career in academia and industry.

It is important to note that along the way I was very fortunate to get the opportunity to work with many inspiring personalities that surely all have contributed to shaping my perspectives on what is relevant and also my abilities to pursue the underlying scientific challenges. My Postdoc supervisor, mentor and friend Professor Rüdiger Rackwitz from the Technical University of Munich was clearly the single most important of those but many other researchers from especially the Joint Committee on Structural Safety (JCSS) played a big role for me – and the course of my career.

The research field of structural reliability emerged from the ambition to establish a rationale for designing structures such that they are both safe and economically efficient.

In the early days, in the period between 1950-1980, the challenges associated with this ambition were predominantly of theoretical and technical characters and much of the focus in the research community was devoted on the very specifics of probabilistic modelling and analysis. However, alongside these developments slowly and steadily a new basis emerged

> ATUALMENTE, ACERCA DE NOSSAS PRÁTICAS NA INDÚSTRIA GLOBAL DA CONSTRUÇÃO, ESTAMOS CONSUMINDO ALÉM DO NECESSÁRIO EM TERMOS DE MATERIAIS E RECURSOS — E DE EMISSÕES DE CO_2

and matured for representing knowledge in general and for supporting rational decision making in the face of uncertainty and lack of knowledge. A basis that is general and in fact applies for any type of decision-making context in society whether that be related to the safety of structures, management of risks due to natural hazards, reliability performance of infrastructure systems or safeguarding the qualities of the environment – sustainability.

I was among the researchers that picked up on the possibilities this new basis for supporting decision making offers for supporting societal developments in the face of contemporary challenges related to resilience and sustainability. But to go in that direction necessitated that I had to look at systems in a more abstract and general manner than traditionally pursued in structural engineering – to capture the complex interactions between society at broad and the technology society is depending on. This "redirection" of my original research focus has been extremely challenging and interesting - and over time involved me in developing strategic, operational and tactical decision support in the context of e.g. the World Economic Forum and the OECD High Level Risk Forum.

IBRACON In your presentation at the 63rd Brazilian Concrete Congress, you said that we humans know what to do to achieve sustainability in the built environment. What do we need to do as engineers and society, and how much time do we have?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | I do appreciate that this appears to be a blunt statement – but it is nevertheless correct. The 80%-20% principle applies also here – meaning that 80% of the challenge may be solved with 20% of the efforts.

Presently – with our practices in the global construction industry – we are overspending with respect to materials and energy - CO_2 emissions. But our practices are also associated with other important impositions to the qualities of the environment that we rely on as a global society. Important bottlenecks in present practices as well as possible solutions are collected in the Globe Consensus on Sustainability in the Built Environment, and here I can only touch upon some of these.

In essence the damages we cause relate to the present organization of the construction sector and the inadequate use of existing knowledge, rather than missing knowledge. Now that I mention that I also have to highlight that in my opinion academics now should focus on getting the existing knowledge in action in industry rather than use the challenge of the green transition as an alibi for financing new research in their respective fields.

There are many facets related to this issue question but what essentially is needed is a paradigm shift in construction where both the organization and the approach is redesigned. The leading objective should be that construction must serve society - and not particular stakeholders of the construction industry.

The organization of the sector should respect that construction necessitates consumption of resources (capacity of the earth system to sustain CO_2 emissions) that are shared by the global community (Fig. 1). This in turn necessitates global coordination and consensus on how much, where and how the global society wants to construct. This coordination is a matter of equity on human rights across the citizens of the global community. To achieve this necessitates coordinated political action at global scale – which unfortunately seems to be rather difficult to imagine at present – but nevertheless will be required.

In addition, all processes in the construction industry should to the highest extent be regulated based on their performance – rather than prescriptions. In addition to traditionally considered performances, we now also need to include new ones – such as CO_2 emissions relative to the benefit provided by the structures we build. To achieve this in the best manner we need to revisit design theory – matter-form-function – where we shift from the present practice that material developers dictate the "matter" and engineers do their best to find "forms" that serve the "function" to a practice where "function" and possibilities for "form" to a much higher extent dictate the performance of "matter" and ultimately what the material producers shall deliver. This redesign I believe the professionals in construction can and should take initiative to conduct themselves, through the normal processes of establishing and revising Standards

and codes. The premise here is that we have a limited budget for CO_2 emissions. When we decide on how much CO_2 should be allocated to construction e.g. at national scale, then we need a paradigm for deciding which types of structures give society the most value (welfare) and how this value compares with the values society could achieve by using the budget of CO_2 emissions for activities in other sectors. This may or may not reduce CO_2 emissions from construction but it will ensure that what we construct has the highest possible relevance for developing welfare and the highest possible (CO_2) efficiency in providing this. However, political support is needed to ensure that these redesigned codes and Standards are globally invoked.

On top of this we need a global regulation of the construction industry that ensures equal terms for tendering and provision of products and services. We must ensure that the development of construction and the competition in construction – globally – take basis in equal terms with respect to the performances. The construction sector is international. Major consulting companies and contractors operate in the whole world. For such actors it is not possible both to be setting new standards for reducing CO_2 emissions and at the same time to be competitive in a market where other actors maintain their focus on economic competitiveness. There must be established a mechanism that both provides maximum CO_2 emissions reductions and fair competitiveness. The free market cannot achieve this without substantial support from globally implemented common regulations of the sector. I would think that such a regulation might be realized in the same manner that FIDIC (Internacional Federation of Consulting Engineers) presently regulates construction with respect to contractual issues. Political support will be needed to ensure that such a regulation is invoked globally.

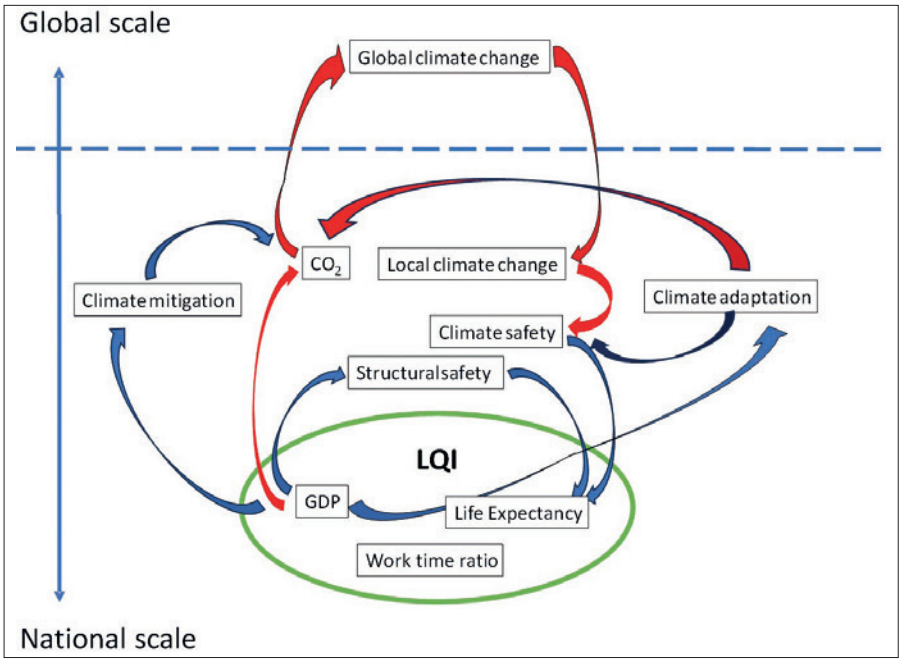


Figure 1 - Tradeoffs between welfare, resilience and sustainability: illustrates the how decisions in society at national scale aiming to improve welfare (Life Quality Index) depend on an optimal tradeoff between life expectancy at birth and economic capacity (GDP). Moreover it is illustrated how economy is related to CO emissions, and how these have a back coupling on life expectancy. Finally it is indicated how economy may be used for mitigation and adaptation that again have back coupling to CO_2 emissions.
Font: Min Liu, Dagang Lu and Michael Havbro Faber

In the daily practice however, there are many small but important things that all professionals in construction can do to improve the situation. We should all – with our personal integrity and professional insights – direct our focus not only on ensuring cost efficiency and safety – but on how to reduce waste of material, waste of energy, overdesign and use of materials that are overperforming relative to requirements, but also take benefit from a more holistic joint consideration of design and integrity management during operations, and the use of advanced analysis methods both in design and reassessments where it has potentials for reducing emissions; this is very much the case especially when dealing with design of extraordinary structures and when reassessing existing structures – e.g. in the

> É PRECISO QUE SE ESTABELEÇA UM MECANISMO QUE GARANTA A MÁXIMA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2 E UMA JUSTA COMPETITIVIDADE

> EM PRINCÍPIO, COM RESPEITO ÀS 'FRONTEIRAS PLANETÁRIAS', ESTAMOS LIDANDO COM UM ORÇAMENTO LIMITADO, SENDO QUE A SOMA DOS DANOS ORIGINADOS DE TODAS AS NOSSAS ATIVIDADES PRECISA SE MANTER NO LIMITE DAS CAPACIDADES DE REPOSIÇÃO DO SISTEMA TERRESTRE

context of service life extensions.
It will take a big effort of the construction industry to make this transition – but it is needed – urgently. Natural scientists have been pointing to the gravity of the situation for decades – and very little has been accomplished so far. Indeed, on many accounts the situation is getting worse. It appears that the global temperature already within the present decade will reach levels that were hoped not to occur until mid-century - or even later. The local effects of global temperature rise are now so severe around the earth that we all are exposed to some of them. However, what is important to understand is that some of the regularities that have been governing the climate till the present, may change and even disappear – we may reach and go beyond the so-called tipping points for the relatively stable climate conditions we have profited from in the past. As an example, one of these tipping points concern the AMOC current (Atlantic Meridional Overturning Circulation)[1] in the Atlantic Ocean. At present natural scientists are pointing at a possible collapse of this current already mid-century. Consequences of such a collapse are estimated to include a total change of the climate in northern Europe – with conditions becoming similar with those we presently find in the high arctic regions of e.g. Greenland, Canada and Russia. Livelihoods as we know them presently in countries such as Denmark, Norway and parts of the UK would disappear.
There is no doubt that we are in a severe lack of time – we need to act now – and ideally – to avoid passing climate tipping points we need to implement substantial changes in the way we do things already within time horizons in the order of a few years.

IBRACON I WAS IMPRESSED BY THE NUMBERS YOU SHOWED IN THAT CONGRESS: NOWADAYS, THE CONSTRUCTION SECTOR IS RESPONSIBLE FOR 20% OF GLOBAL CO_2 EMISSIONS, 90% OF GLOBAL MATERIAL CONSUMPTION, AND 50% OF GLOBAL ENERGY CONSUMPTION. AND FUTURE TRENDS INDICATE ACCELERATED GROWTH DUE TO GLOBAL POPULATION INCREASE AND

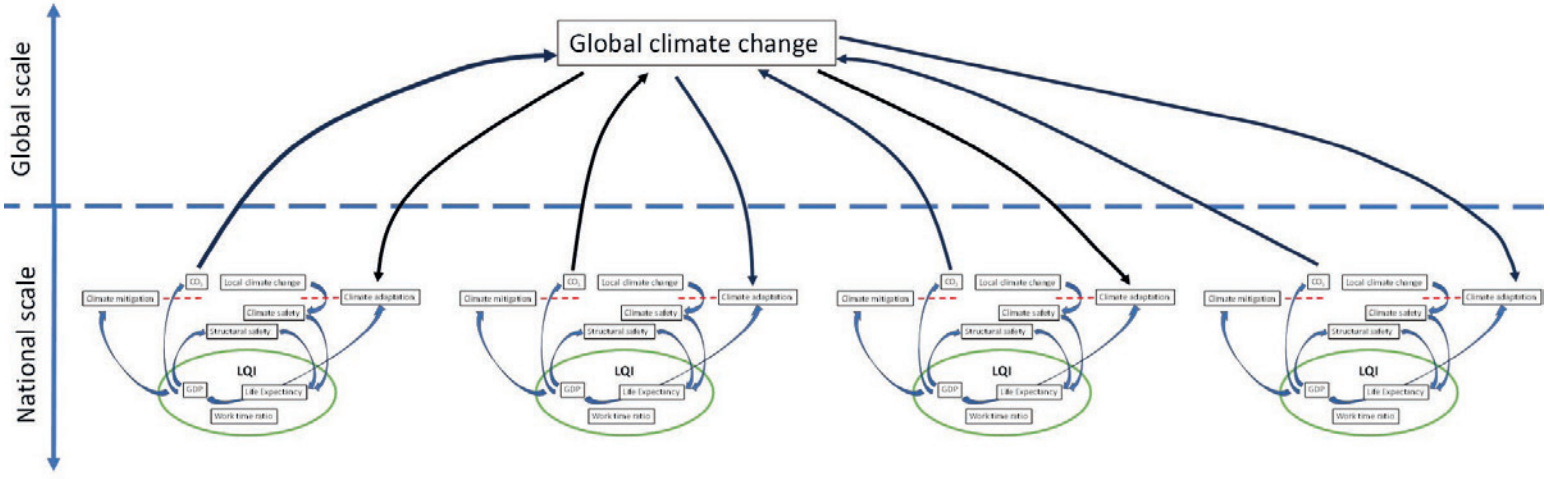


Figure 2 - CO_2 budgets for all nation states must be agreed at global level: we have to decide on a global budget for CO_2 and how to distribute this between nation states. When we do this there is a strong ethical implication to ensure equity in terms of possibilities for welfare and rights to safety. This implies that we must account for the differences between nation states with respect to demands for construction due to population growth/urbanization, the needs for adaptation to ensure safety and possibility for economic growth and also to which degree the different nation states are exposed to the effects of climate change – caused in many cases by other and more rich nation states
Font: Faber

[1] AMOC IS A SYSTEM OF OCEAN CURRENTS THAT CIRCULATES WATER WITHIN THE ATLANTIC OCEAN, BRINGING WARM WATER NORTH AND COLD WATER SOUTH

CONSTRUCTION DEMAND IN DEVELOPING COUNTRIES. WHAT ARE THE POSSIBLE SOLUTIONS TO REDUCE CONSUMPTION AND EMISSIONS TO SUSTAINABLE LIMITS?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | On a global scale – as already indicated – we need coordinated actions – at political level and professional level. But the construction industry does not stand alone – and other sectors are also very important. In principle with respect to Planetary Boundaries we are dealing with a limited budget problem where the sum of the damages originating from all our activities must add up to effects that are safely within the capacities of the Earth system. Across all our activities as a global community we thus must decide – at least until game changing technologies such as carbon capture can and will be sufficiently upscaled – how we best use these shared budgets; of course with due respect of equity (Fig. 2). We must decide how much of our shared budgets should be allocated for provision of the essentials, like shelter and food and health and how much we allocate for the non-essentials, like fashion clothes and other lifestyle and amusement products. This could e.g. imply that more emissions from construction should be tolerated in developing countries, such as on the African continent, in South America and Asia, where a major increase in population is expected within the next few decades (alone in Africa around 1 billion towards 2050). To compensate for these added emissions, it could be a consequence that construction in more developed parts of the world with stable or declining populations are set on pause or at least limited to construction for climate adaptation for a substantial period of time.

I appreciate that this may seem an illusional perspective with the present political situation of the global community – dominated by divergence, rapidly increasing conflicts and trade wars. However, unless we can achieve a global consensus for the required actions to reduce our environmental foot-print at large, for the better of the most – the reality we are facing in the global community could be rather dire. This especially I am afraid will concern developing economies, and the parts of the world that will be most severely affected by the effects of climate change.

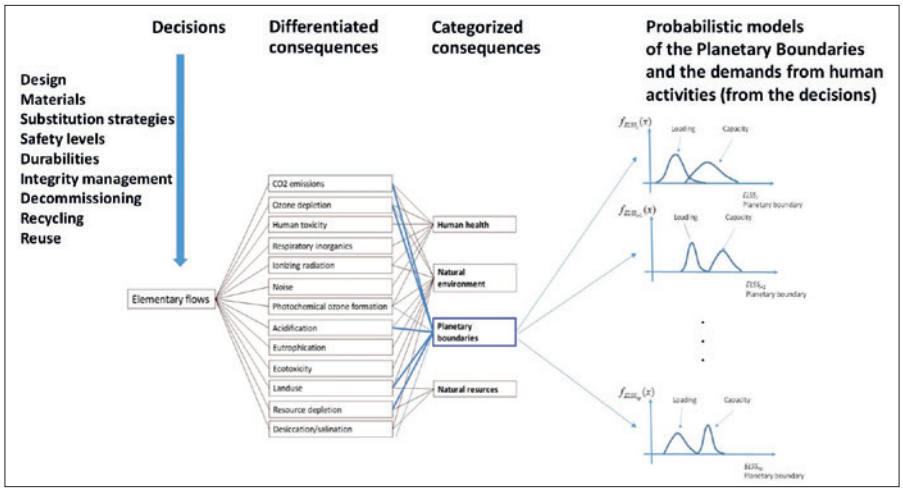


Figure 3 - Model that relates decisions on the design and use of different types of cementitious materials – over LCA – to their impositions on the Planetary Boundary.
Font: Faber

IBRACON HOW CAN IT BE PROVEN THAT THESE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS ARE SUFFICIENT TO BRING THE BUILT ENVIRONMENT TO NET-ZERO CO_2 EMISSIONS BY THE MIDDLE OF THE CENTURY?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | Unfortunately, only time can prove the future effect and success of the decisions we make and the actions that we take today. The best we can do is to take the situation serious and carefully make a strategy on how to address the tactical crisis we are in the middle of. Such a strategy has to be devised so that the outcome of the strategy is sufficiently robust with respect to the different scenarios that we can imagine for the further development of the global community, including crisis, trade wars and the very little understood global and local impacts of the climate changes that cannot be avoided.

IBRACON ARE THERE PROBABILISTIC MODELS CAPABLE OF CORRELATING THE

> SOMOS RACIONALMENTE CAPAZES HOJE DE AJUSTAR OS REQUERIMENTOS NORMATIVOS ATUAIS PARA A CONFIABILIDADE ESTRUTURAL, DE FORMA COERENTE COM AS PREFERÊNCIAS SOCIAIS QUANTO À MORTALIDADE CLIMÁTICA

> PRECISAMOS DE UMA NOVA ABORDAGEM DO PROJETO ESTRUTURAL, NA QUAL AS INCERTEZAS SÃO LEVADAS EM CONSIDERAÇÃO POR MEIO DE DECISÕES ROBUSTAS QUANTO AOS RESULTADOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS LOCAIS

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR CEMENTITIOUS PRODUCTS AND CONCRETE STRUCTURES TO PLANETARY BOUNDARIES? WHAT ARE THE SCENARIOS?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | Yes, we do have the basic formulations – actually since around a decade – and we are presently establishing first models that facilitate not only that we can relate decisions on the design and use of different types of cementitious materials – over LCA – to their impositions on the Planetary Boundary related to CO_2 emissions (Fig. 3). But not only that, presently with the recent information from other researchers relating to the assessment of climate mortality we can relate the consumption of different materials to global temperature change and associated loss of future lives caused by different local climate change effects, such as flood event or simply just increased temperatures. With this information we now have rough estimates on what we should – as a global community - invest into avoiding emissions of e.g. 1T of CO_2, namely in the order of 300$US. This amount is not far from the numbers being suggested as CO_2 taxes. To introduce such a requirement in construction rather than a CO_2 tax has the benefit that it puts focus on actions that change present practices directly in the construction industry – and maintain equal terms for competition. A further important aspect associated with these new developments is that we can also assess the tradeoff between the benefit of material consumption in terms of life saving through increased structural safety, and the disbenefit of material consumption in terms of the associated climate mortality. With this we are now able to rationally adjust (reduce) present requirements to target reliabilities for structural design – in coherence with societal preferences for life safety investments accounting for climate mortality. It is in fact ethically very debatable not to do so.

IBRACON BESIDES CONSTRUCTION DEMATERIALIZATION, WE NEED TO BUILD SMART AND RESILIENT CONSTRUCTIONS TO MITIGATE THE CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE. HOW CAN WE ACHIEVE THIS?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | This is good point and a very pressing issue. The challenge here is that we are facing a new situation where the main uncertainties we are dealing with in the phase of structural design are due to lack of knowledge – i.e. epistemic uncertainties. The models for global temperature rise are in themselves subject to substantial epistemic uncertainty. In addition, we know very little about the more exact local – downscaled – effects of global climate change. This means that we need a new approach for the basis for structural design where these uncertainties are addressed by consideration of the robustness of design decisions with respect to the outcome of the local climate changes. We know how to do that from a methodical point of view, but the insights are still far from being realized and applied in practice. We are presently doing what we can to disseminate our findings.

IBRACON WHAT IS THE GLOBAL CONSENSUS WHOSE JOINT COMMITTEE YOU WERE PRESIDENT OF? WHAT IS THE CONSENSUS SUPPORTED BY 5,000 PROFESSIONALS FROM 150 COUNTRIES AFFILIATED WITH SIX ORGANIZATIONS?

| **MICHAEL HAVBRO FABER** | The Globe Consensus – actually the Globe Consensus on Sustainable Developments in the Built Environment took basis in a workshop conducted at Tongji University in 2019. At this workshop professionals and scholars predominantly from China, Taiwan and Europe discussed the issues of sustainability in construction – and the result of this became the Tongji Consensus. After the workshop the Joint Committee on Structural Safety decided to support the Tongji Consensus and the idea emerged to seek the support of the Tongji Consensus also from the side of the Liaison Committee - comprised by the six associations IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering), CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction), IASS (International Association for Shell and Spatial Structures), ECCS (European Convention for Constructional Steelwork), Rilem (Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux) and fib (International Federation for Structural Concrete). This was successful and in 2021 a new Joint Committee on the Globe Consensus (JCGC) was initiated under the Liaison Committee – in a

similar structure as the Joint Committee on Structural Safety. With the support of the Associations of the Liaison Committee the task of the Joint Committee on the Globe Consensus is to help push for the necessary changes in the construction industry – by means of the aggregated knowledge of its member Associations and their global networks.

IBRACON How is the Global Consensus spreading? How can its impact be measured?
| **MICHAEL HAVBRO FABER** | On the positive side we have managed to enlarge our support basis – and also to disseminate our objectives at different levels in society and within our profession. Since we started, we have achieved the engagement of e.g. IBRACON, Alconpat and PREVECII and we are coordinating and collaborating now also with the UN supported organization Global ABC[2]. Contacts for further exploration of collaborations with ACI have also been accomplished. In parallel an important activity has been initiated to benchmark CO_2 in building construction – both in Europe and in Brazil. Earlier this year we also had an important meeting at Tongji University in China to engage Chinese authorities and professionals in the construction industry in benchmark studies relevant for Chinese construction practices.
Now – for a period of 5 years since the first initiative (Tongji Consensus) or 3 years since the formal initiation of the JCGC – in a situation of urgency – I must admit that I am not happy at all with the impact and speed of activities. The challenge I see that the JCGC is facing is very similar to the challenge we are attempting to solve with the JCGC – namely an organizational one. The JCGC is not organized – I could not find support for that among the Associations – as an organization that can engage and support the global professional community in construction. It is being considered and also operated as a new Association – or committee – along the modes of operation of in principle any of the supporting Associations. This implies long process for decision making, long intervals between meetings as people are already very busy with other activities, and also a tendency to strive for consistency between activities of the JCGC and the Liaison Committee member Associations. Frankly stated – there is no sense of urgency and with the present working mode I am afraid that even though good people are involved and important work is ongoing – it will not have the required impact to mitigate climate changes in due time. This in turn could very well lead to a situation where instead of attempting mitigation of climate change the profession will have to focus on adaptation to climate changes.
The global community – as well as the construction sector fails to appreciate that we are presently in a tactical decision situation – and that we need to reorganize and act accordingly. When a person is about to drown the by standers do not start out with having a meeting to debate who is the best suited person to provide help and to discuss what is the most appropriate suit to wear – in tactical situations immediate action is necessary as a first – and if the course of action turns out not to be perfect then you try to adapt along the way.

IBRACON What is the collaboration between Global Consensus and IBRACON since a protocol of intention was signed by the entities in 2022?
| **MICHAEL HAVBRO FABER** | From our meetings in the JCGC I am aware that IBRACON has initiated several activities in Brazil – including the mentioned benchmark study of CO_2 in housing construction and lately also the organization of a summer school on structural safety and sustainability to be conducted in 2025. I am sure much more is going on – but I do not know the details of that.

IBRACON What are your hobbies?
| **MICHAEL HAVBRO FABER** | I am not entirely sure that I have a hobby in the normal sense – however I am engaged in many activities that I enjoy. Throughout my life I have had the fortune to love my work to the full extent. I also love to spend in the outdoors, hiking, fishing, hunting and diving. Exercise I mostly get from work on my farm in the forest and vegetable garden – and from jogging. Finally – the most important daily component of my life is my family my wife Linda and my son Jasper.

[2] The **GlobalABC** is a multi-stakeholder alliance committed to delivering a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector

> A COMUNIDADE GLOBAL — COMO O SETOR DA CONSTRUÇÃO — TEM FALHADO EM CONSIDERAR QUE ESTAMOS NUMA SITUAÇÃO DE DECISÃO TÁTICA, QUE REQUER AÇÃO IMEDIATA, QUE VAI SENDO CORRIGIDA NO CURSO DA PRÓPRIA AÇÃO

65º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

Inovações tecnológicas do concreto **para um futuro sustentável**

FÁBIO LUÍS PEDROSO - Editor - https://orcid.org/0000-0002-5848-8710 (fabio@ibracon.org.br) — **IBRACON**

Presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, faz seu pronunciamento na solenidade de abertura do 65º Congresso Brasileiro do Concreto, assistido pelos presidentes das entidades da cadeia da construção

As tragédias no mundo e particularmente no Brasil, como as inundações nas cidades gaúchas e as secas que assolam a região amazônica, não deixam dúvidas de que as mudanças climáticas são uma realidade, que pode se agravar se não alcançarmos a meta de zerar as emissões de dióxido de carbono até 2050.

Os últimos 12 meses foram os mais quentes desde 1850, data que marca o início da Revolução Industrial, quando o carvão mineral despontou como fonte energética principal das atividades econômicas da vida urbana moderna. Segundo o Copernicus, observatório europeu da Terra, a temperatura média mundial ultrapassou no período o limiar de 1,5°C acima da temperatura média do período de 1850 a 1900, meta do Acordo de Paris para o aumento da temperatura média do planeta até o final deste século.

Em decorrência, o futuro da humanidade depende de zerar as emissões de carbono até 2050 e de adaptar o ambiente construído aos efeitos já presentes das mudanças climáticas.

Este foi o cenário que permeou as palestras técnico-científicas, as conferências e seminários que ocorreram no 65° Congresso Brasileiro do Concreto, no Centro de Convenções de Maceió, de 22 a 25 de outubro.

Promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto, o Congresso reuniu 1175 participantes, profissionais dos diversos segmentos da cadeia produtiva do concreto – fabricantes, projetistas, tecnologistas, consultores, construtores, funcionários públicos, pesquisadores e estudantes – para debater as tendências em pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionadas às estruturas de concreto.

O tom dos palestrantes foi de otimismo quanto ao conhecimento, práticas e tecnologias que poderão conter as mudanças climáticas e nos adaptar aos seus efeitos. Não por acaso a bandeira do evento foi "Inovações tecnológicas nas Construções de Concreto".

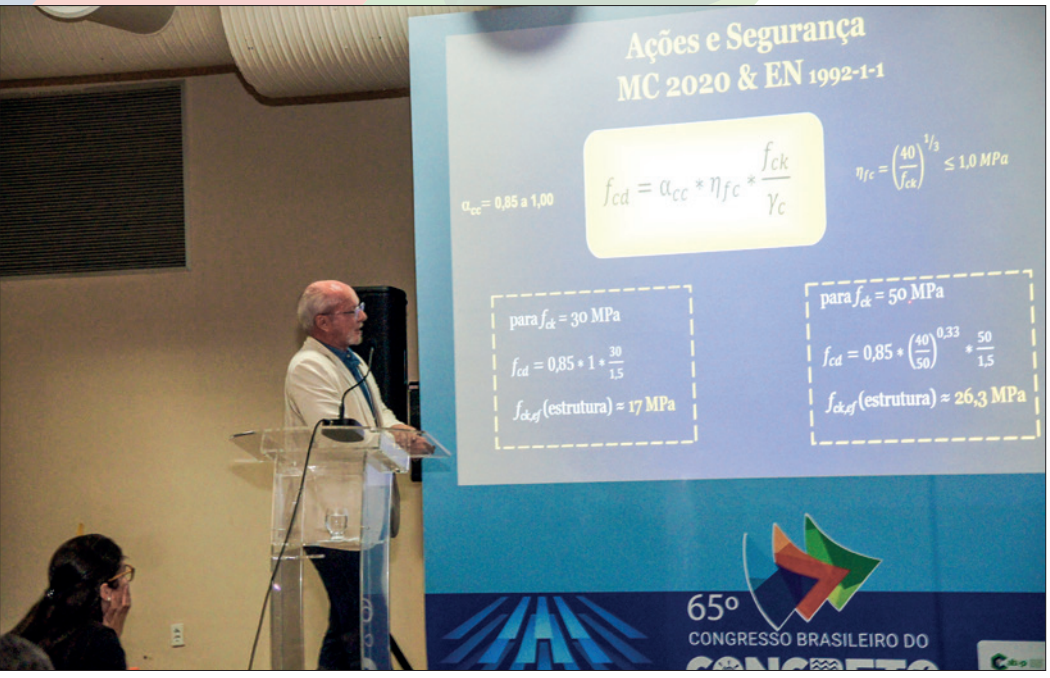
CÓDIGO MODELO 2020

No campo da normalização dos projetos de estruturas de

Auditório lotado assiste a cerimônia de abertura do evento

concreto, o Código Modelo 2020 da Federação Internacional do Concreto Estrutural (*fib*) é um bom exemplo internacional. A *fib* é uma entidade técnica formada por 1400 participantes de 67 países, entre os quais o Brasil, que participa por meio do Grupo Nacional formado por filiados do IBRACON, ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto) e ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural). Ela estrutura suas atividades em torno de grupos de trabalho, cinco dos quais participaram ativamente da atualização do Código Modelo 2010. Como documento técnico internacional, o Código Modelo serve de base para as discussões para normalização nos países-membros, bem como para a pesquisa científica e tecnológica nesses países.

O Código Modelo 2020 inovou ao incorporar uma abordagem baseada no desempenho sustentável do projeto, execução e manutenção das estruturas de concreto. Isto significa que o Código traz indicadores de desempenho econômicos, sociais e ambientais para o ciclo completo de vida de uma obra. Esses indicadores para fornecedores, projetistas, construtores e proprietários de obras aplicam-se para as fases de produção dos materiais de construção, de projeto e execução da obra, de uso e de demolição, reuso e disposição dos resíduos de construção. Eles foram concebidos com base nas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, coleção de 17 metas globais estabelecidas pela Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU).



Prof. Paulo Helene palestra no Seminário "O Estado da Arte em Normalização de Concreto"

Formado por 39 capítulos e totalizando 800 páginas, suas novidades em relação ao Código Modelo de 2010 foram apresentadas pela vice-presidente da *fib*, Eng. Íria Doniak, em duas partes: na sua palestra no Seminário "O Estado da Arte em Normalização de Concreto", coordenado pelo vice-presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, e em sua conferência plenária no Congresso. O Seminário apresentou também novidades na normalização brasileira quanto à sustentabilidade, durabilidade, estanqueidade e segurança das estruturas de concreto contra incêndio. "O *fib* e o Eurocode mudaram recentemente os critérios de segurança no projeto de estruturas de concreto. Minha palestra no Seminário buscou discutir se as normas brasileiras deveriam ou não se compatibilizarem com esta atualização", exemplificou Helene, que ressaltou o protagonismo da norma brasileira de projeto de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118), reconhecida internacionalmente.

Os novos capítulos do Código Modelo 2020 tratam de especificações da durabilidade, condições do controle qualitativo do concreto, condições para o desempenho ambiental, avaliação do desempenho de concretos não convencionais, concretos com agregados recicláveis e premissas de projeto.

Em relação aos materiais construtivos, a recomendação geral é a substituição de materiais com alto impacto ambiental por alternativos com menor impacto e similar ou superior desempenho, como cimentos com pozolanas e argilas calcinadas, concretos com alto teor de cinzas volantes, escórias de alto forno, microssílicas e fíler calcário e com agregados reciclados. O maior vilão das emissões de carbono na indústria da construção é o clínquer do cimento, formado pelo processo de decomposição do calcário, que libera 70% das emissões de carbono do setor

cimenteiro, sendo os outros 30% advindos da queima de combustível fóssil nos fornos de cimento. Os materiais suplementares, como pozolanas, sílicas e fíler, são capazes de substituir o clínquer no cimento, contribuindo, assim, para diminuir as emissões de carbono.

O Código Modelo 2020 traz guias para o planejamento da durabilidade de estruturas novas e existentes, oferecendo orientações para evitar a deterioração prematura das estruturas de concreto. Quanto ao quesito de avaliação das estruturas existentes, ele divide as estruturas em sem deterioração, com deterioração e sem detalhamento de conformidade, estabelecendo parâmetros diferenciados para inspeção e monitoramento e para ensaios de materiais, elementos e sistemas em relação aos parâmetros de avaliação de estruturas novas. Já, no quesito das intervenções, essas são classificadas em preventivas, corretivas, de manutenção, de reforço e de gestão do ciclo de vida.

Em resumo: o Código Modelo 2020 incorporou parâmetros de impacto ambiental, conjuntamente com parâmetros econômicos e sociais, tendo em vista a interação desses três pilares para assegurar a sustentabilidade das estruturas de concreto. Nas palavras da vice-presidente da *fib*, "atender requisitos ambientais é necessário, mas precisa ter um custo econômico capaz de atender às necessidades sociais".

Ela completa justificando suas apresentações no Congresso: "O Brasil tem suas próprias normas de concreto e isto é importante porque temos liberdade para analisar e adotar referências do mundo inteiro, bem como de participarmos e contribuirmos com as discussões de normalização do concreto fora do Brasil".

GESTÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A gestão eficiente da infraestrutura é um aspecto importante de sua durabilidade. Este tema foi amplamente discutido na conferência do vice-presidente da Associação Internacional para a Engenharia de Pontes e Estruturas (IABSE), Prof. José Matos, bem como na sua palestra no Seminário de Inspeção e Manutenção de Pontes e Obras de Arte, coordenado pelo conselheiro do IBRACON, Eng. Rafael Timerman.

Muitas pontes e viadutos, essenciais para a mobilidade de pessoas e mercadorias, estão se aproximando do final de sua vida de serviço devido a processos de envelhecimento e deterioração do concreto armado.

Um levantamento das causas do colapso de dez mil pontes em todo mundo, tanto de concreto como de aço, foi realizado pelo IABSE. As causas mais frequentes apontadas por esse levantamento foram inundações (18%), defeitos do projeto estrutural (15%), deterioração do concreto (12%), corrosão causadas por cloretos (10%). Também importantes são os erros e defeitos de construção (7% e 6%, respectivamente) e sobrecargas (6%).

No Brasil, levantamento realizado pelo palestrante do Seminário de Inspeção e Manutenção de Pontes e Obras de Arte, Ademir Santos, de 14 mil obras de arte especiais (OAEs) de um universo estimado em 120 mil, sendo a maioria concentrada na Região Sul e Sudeste (68%), constatou que 98% são de concreto, 37% têm mais de 50 anos, sendo que 54% das públicas federais, 69% das federais privadas e 92% das estaduais privadas encontram-se em bom estado de conservação. Os piores índices de conservação são apresentados pelas OAEs nos estados do Pará, Maranhão e Piauí.

Engª Íria Doniak em momento de sua palestra nas conferências plenárias

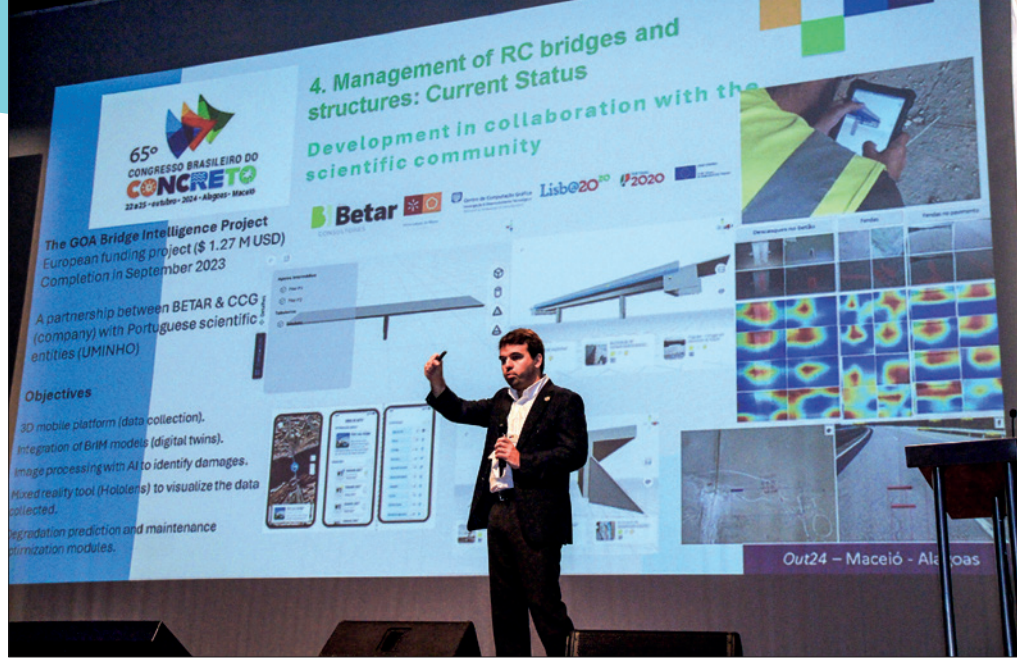
Para Matos, "os riscos de colapsos aumentaram com as mudanças climáticas, pois essas afetam os mecanismos de deterioração no concreto armado". Sem falar no aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, como inundações. Por outro lado, acrescentou que o número de obras de infraestrutura é superior ao limite sustentável em alguns países europeus, o que aumenta a pressão para sua conservação e prolongamento de sua vida útil.

Em vista desse panorama, ele recomendou um protocolo de gestão do controle da qualidade de OAEs baseado num balanço entre indicadores de desempenho. Esse protocolo foi o resultado da discussão sobre o controle da qualidade de OAEs entre 77 países, ocorrida em 2015, que possibilitou a uniformização da terminologia, sendo traduzido para diversas línguas.

Nele, dados de entrada, como localização, sistema estrutural, seus elementos e defeitos (fissuras, eflorescências, manchas marrons, corrosões etc.), são correlacionados com pontos frágeis na estrutura, levantados por meio de inspeções visuais, ensaios não destrutivos, monitoramento e estudos de cargas. A partir desses dados, é feito o diagnóstico das patologias e são calculados indicadores de desempenho, que, por sua vez, são comparados às metas de desempenho, conjunto de informações usadas para elaboração de um plano de controle da qualidade das OAEs.

Os indicadores-chave de desempenho do protocolo são:

- **Confiabilidade:** probabilidade de ocorrência de uma falha estrutural ou operacional;
- **Disponibilidade:** período de tempo no qual uma OAE apresenta condições de funcionalidade;



Prof. José Matos palestrando nas conferências plenárias

- **Segurança:** risco de o uso da ponte causar dano ao usuário;
- **Economia:** eficiência na manutenção da OEA.

Os indicadores de desempenho são expressos numa escala de um a cinco, sendo 1 o melhor cenário e 5 o pior, e comparados, balizando o protocolo de controle da qualidade, isto é, cenários, prazos de intervenção na OAE e custos.

Para o futuro, o vice-presidente do IABSE prevê que o protocolo deve ser desenvolvido adicionando indicadores de desempenho da sustentabilidade e evoluindo para modelos baseados na resiliência, ao invés de modelos baseados no risco, para enfrentar as mudanças climáticas. "A resiliência refere-se à capacidade da sociedade de recuperar uma obra de infraestrutura após um dano ou colapso, como recursos, alternativas, capacidade de resposta imediata, que vão além da avaliação estrutural", explicou.

No contexto brasileiro, o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, palestrante no Seminário "O Estado de Arte em Normalização de Concreto", apresentou os trabalhos da Comissão Especial CEE 169, coordenada pelo IBRACON, que têm promovido atualizações das normas técnicas de inspeção de pontes, viadutos e passarelas (ABNT NBR 9453:2023) e de provas de carga estática em estruturas de concreto (ABNT NBR 9607:2023). Ele informou que a NBR 9453, que abrange pontes, viadutos e passarelas de concreto, metálicas e mistas, introduziu a nota 0 para situação de conservação que exige intervenção emergencial. "As inspeções rotineiras de pontes e viadutos têm sido feitas, mas o estoque de 120 mil obras de arte especiais não tem possibilitado a inspeção especial a cada cinco anos", informou Timerman. "Por isso, a norma permitiu estender o prazo se a OEA tem boa nota de conservação e possui janelas de inspeção", completou.

Quanto aos tipos de ensaios para avaliar o estado de conservação das estruturas de concreto, o III Seminário de Ensaios não Destrutivos, coordenado pelo assessor da presidência do IBRACON, Prof. Enio Pazini Figueiredo, trouxe as novidades e aplicações dos ensaios não destrutivos, tipo de ensaio do material que não altera de forma permanente suas propriedades físicas, químicas, dimensionais e mecânicas.

Este seminário contou com palestras da coordenadora do Comitê Técnico de avaliação e previsão das condições de corrosão das estruturas (TC-314-COM) da União Internacional dos Laboratórios e Especialistas em Materiais, Sistemas Construtivos e Estruturas (RILEM), Profa. Maria Carmen Andrade, e do professor da Universidade de Ottawa, no Canadá, Prof. Leandro Sanchez.

O objetivo do Comitê Técnico TC-314-COM é revisar e atualizar as recomendações da RILEM para técnicas eletroquímicas e análises de cloretos que permitem avaliar e predizer o grau de corrosão das armaduras e as condições das estruturas de concreto do ponto de vista de sua vida útil de serviço. Um desses ensaios – o de medida da resistividade do concreto – foi exposto pelo Prof. Enio Pazini. Ele mostrou como o ensaio é aplicado e quais avaliações podem ser feitas a partir de seus resultados, como a identificação de áreas suscetíveis à carbonatação e à penetração de cloretos e à estimativa do risco de corrosão das armaduras do concreto, entre outras caracterizações possíveis do elemento estrutural avaliado.

Auditório do Teatro Gustavo Leite lotado na conferência plenária de José Matos

Profª Carmen Andrade é assistida por plateia presente no Seminário de Ensaios não Destrutivos

Carmen Andrade apresentou as discussões e recomendações do Comitê Técnico quanto à amostragem, à seleção dos pontos de medição, aos tipos de ensaios que devem ser realizados, à avaliação dos resultados desses ensaios, inclusive sua aplicação para embasar projeto estrutural de estruturas de concreto armado.

Já, Leandro Sanchez apresentou um protocolo de avaliação multidimensional que vem desenvolvendo para caracterizar e predizer as condições de deterioração de pontes por mecanismos expansivos, como a reação álcali-agregado e outros. Esta avaliação envolve a inspeção visual, os ensaios não destrutivos, e ensaios de laboratório químicos e mecânicos, cujos resultados são consolidados em índices numéricos, que possibilitam fazer um diagnóstico competente sobre causas e extensão da deterioração, mas que necessita avançar quanto ao prognóstico da velocidade de expansão.

Leandro Sanchez lançou seu livro "Internal Swelling Reaction in Concrete", que expõe e aplica seu protocolo de avaliação multinível, no 65º Congresso Brasileiro do Concreto.

UHPC COM MENOR CUSTO PARA PAVIMENTAÇÃO

Como consequência do estado atual de conservação de OAEs e visando prolongar sua vida útil, o professor da Rutgers University, Hani Nassif, recebeu, em 2017, o desafio de desenvolver um procedimento de dosagem de um concreto de ultra-alto desempenho (UHPC), com materiais locais, que não fissurasse nas primeiras idades, com menores custos, para a substituição do pavimento de uma ponte de New Jersey, nos Estados Unidos. Sua conferência plenária no 65º Congresso Brasileiro do Concreto versou sobre este programa.

O desenvolvimento do UHPC usou cimento, aditivos, fibras metálicas, escória de alto forno, areia leve de rio e água. As dosagens consideraram as experiências de outros estados, combinaram diferentes materiais e diferentes abordagens de mistura e de abatimento.

Foram adotados três procedimentos de mistura dos materiais: todo cimento de um vez e aditivos e escórias em duas metades; todos os componentes misturados em duas metades; e todos os componentes em três terços. Em condições laboratoriais, o primeiro procedimento de mistura apresentou melhores resultados de desempenho (Tabela 1).

O programa de pesquisa buscou estudar os efeitos isolados do agregado leve e dos aditivos nas resistências mecânicas do concreto, variando suas proporções na mistura. Os resultados indicaram que:

- Os agregados leves contribuem para reduzir em até 30% as retrações autógenas, isto é, decorrentes das reações químicas no concreto, com ligeira diminuição da resistência à compressão e do abatimento, mas com pronunciada redução do módulo de elasticidade;
- Os aditivos redutores de fissuração reduzem a retração por secagem em até 40%, com pequena diminuição da resistência e do módulo;
- Os aditivos retardadores de pega contribuem para estender o estado fresco do UHPC, sem influenciar seu desempenho.

A conclusão foi que os agregados leves (numa proporção de

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS DO UHPC PRODUZIDO COM TRÊS TIPOS DE MISTURAS

Mixing Method	Mix	Flow Diameter (mm)	Compressive Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Slanted Shear (MPa)	Splitting Tensile Bond (MPa)	Restrained Shrinkage Crack Area, mm2 (# cracks)		
			Day 1 Strength (Day 28 Strength)					Day 3	Day 7	Day 28
Three Batching[1]	1	140	29 (109)	5 (14)		3 (7)	2 (2)	Zero	Zero	11 (44)
	2	178	25 (104)	5 (14)		2 (8)	2 (2)			
Two Batching[1]	3	152	39 (96)	6 (13)	24 (24)			Zero	1.1 (4)	12.0 (39)
Mono Batching[1]	4	178	71 (133)	9 (18)	30 (33)			Zero	6.2 (39)	13.7 (87)
	5*	216	60 (121)	7(15)	27 (36)	12 (15)	2 (3)	0.27 (2)	2 (10)	6.1 (35)
Small Batch[2]	6	165	31 (106)	5 (13)	30 (32)	19 (25)	2 (4)			

Note: * refers to mixes that includes 4 fl..oz. of workability retaining admixture, [1] refers to a mixture produced using the Imer 360 mixer, [2] refers to a mixture produced using a 20 L Hobart mixer

Prof. Hani Nassif responde a pergunta feita pelo coordenador das conferências plenárias, Prof. Tulio Bittencourt

50% do volume de areia) e os aditivos (na proporção de 2%) reduzem significativamente a taxa de tensão de retração, contribuindo para um material livre de fissuras.

Os ensaios laboratoriais de uma placa de concreto de alto desempenho com uma capa de UHPC à flexão apresentou fissuras de 0,035 mm no UHPC logo acima da placa de HPC, que, por sua vez, apresentou fissuras de 0,957 mm. Não houve desplacamento.

Ensaios de campo numa área de 6 m por 4,9 m, concretada com HPC, com 19 cm de abatimento e controle de temperatura de 17,8°C, e com 255 litros de UHPC, homegeneizado em misturador de alta rotação, com abatimento máximo de 28 cm e lançado sobre o HPC em quadrantes, formando camada de 7 cm, com cura úmida após 15 minutos, não apresentou fissuras aparentes. Já, as concretagens sem cura fissuraram em uma hora.

Segundo Nassif, o custo para produção e execução do UHPC foi 20% do custo do procedimento mais usual, atualmente cerca de quarenta mil dólares por metro cúbico.

As lições aprendidas quanto à substituição do pavimento pelo UHPC desenvolvido pelo programa foram: preparação prévia do substrato com hidrojateamento e umidificação prévia de duas horas antes do lançamento do UHPC; lançamento do UHPC ao longo da rodovia, sendo o bombeamento proibido, para evitar superaquecimento do concreto; cura úmida ou química logo após o lançamento.

Perguntado sobre como os resultados podiam contribuir com as pesquisas brasileiras sobre UHPC, Nassif disse esperar que "a prova de conceito e os resultados apresentados possam auxiliar e estimular os pesquisadores e profissionais brasileiros a otimizar suas dosagens do UHPC para as diferentes finalidades de aplicação, a um custo menor, contribuindo para sua maior disseminação e viabilidade comercial".

O UHPC foi tratado ainda em dois seminários no 65º Congresso Brasileiro do Concreto. No II Seminário de Concreto Dosado em Central, coordenado pelo diretor institucional do IBRACON, Eng. Maurício Bianchini, o gerente técnico do Grupo Base, Eng. Jean Marcelo Souto, trouxe um estudo da aplicação do UHPC em áreas sujeitas a ataques de ácidos. Este seminário focou a questão da diminuição de impactos ambientais na produção de concreto. Já, o Seminário de Materiais não Convencionais para Estruturas, coordenado pelo diretor de publicações do IBRACON, Prof. Marco Cárnio, abordou os avanços nas discussões para normalização brasileira do UHPC, bem como das estruturas de concreto com armaduras não metálicas.

Por sua vez, a pesquisa e o desenvolvimento do pavimento de concreto para rodovias e para pavimentação urbana em geral, os aprendizados com suas aplicações, suas vantagens técnicas e econômicas e a perspectiva futura de seu uso no país foram discutidos no Seminário de Infraestrutura, coordenado pelo conselheiro do IBRACON, Eng. Hugo Armelin, da diretoria de vendas da Votorantim Cimentos. Houve também a demonstração ao vivo da concretagem de um pavimento urbano de concreto no Centro de Convenções, coordenado pelo presidente da ABESC, Eng. Wagner Lopes.

SOLUÇÕES ATUAIS E POTENCIAIS PARA NEUTRALIDADE DO CARBONO

Uma vitrine de soluções atuais para mitigar a pegada de carbono no setor da construção foi exposta no Seminário de Sustentabilida-

Eng. Luiz Guilherme Rodrigues de Melo, diretor de planejamento e pesquisa do DNIT, responde a pergunta ao lado de outros palestrantes, no Seminário de Infraestrutura

de, coordenado pelo diretor 2º vice-presidente do IBRACON, Eng. Carlos Massucato. "O tema da sustentabilidade precisa ser abordado com mais intensidade pelo nosso mercado porque o Brasil é uma referência mundial em termos de emissões de carbono de seus produtos cimentícios e a desmaterialização da construção é uma necessidade no setor", justificou Massucato.

A pesquisadora da ETH Zurich, Fernanda Belizário Silva, apresentou o passo a passo para calcular as emissões incorporadas de CO_2 em um metro cúbico de concreto e em um metro quadrado de uma estrutura de concreto com uso de dados genéricos da plataforma on-line SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção) e outras fontes públicas. O SIDAC foi demandado pelo Ministério de Minas e Energia do Governo Federal, desenvolvido por universidades e institutos de pesquisa brasileiros e é operado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS).

Diferentemente das Declarações Ambientais de Produto, que trazem dados de emissões de carbono e uso de energia dos fabricantes, o SIDAC traz dados genéricos sobre emissões de carbono e demanda de energia dos principais insumos e materiais de construção nacionais. Esses dados são apresentados por um espectro de valores por tipo de produto, variabilidade associada a diferentes processos de produção dos fabricantes brasileiros.

As emissões de carbono estão presentes em todas as fases da construção, desde a extração das matérias-primas e seu beneficiamento, passando por sua aplicação em obras, até a demolição e reuso dos materiais reciclados. As emissões incorporadas são todas essas emissões exceto as relacionadas com o uso da edificação ou obra de infraestrutura, isto é, são as emissões vinculadas aos materiais de construção.

O passo a passo para quantificar emissões incorporadas de carbono consiste em:

- Quantificação das fontes de emissão;
- Multiplicação dessas quantidades pelos respectivos fatores de emissão;
- Acúmulo de emissões ao longo do ciclo de vida.

Exemplificando a pegada de carbono de um metro cúbico de concreto de 25 MPa e 100 mm de abatimento (concreto convencional), da extração de matérias-primas até sua pronta entrega no caminhão betoneira:

- Quantifica-se as massas de cimento, areia, brita, aditivo e água usados no traço do concreto;
- Corrige-se essas quantidades pelo índice de perdas, obtido pela razão entre o volume de resíduos e o volume do concreto;
- Adiciona-se as quantidades de rejeitos e efluentes decorrentes da produção do concreto;
- Multiplica-se essas quantidades pelos seus respectivos fatores de emissão: por exemplo, o fator de emissão do cimento é 0,75 kg de CO_2 por quilograma de cimento;
- O processo se repete para calcular a pegada do transporte na produção do concreto.

O resultado apresentado por Belizário foi uma pegada de 283 kg de CO_2 por metro cúbico de concreto, sendo 80% deste valor atribuído à produção de cimento.

Os exemplos de cálculo serviram para mostrar o quão simples é o procedimento e onde estão as informações necessárias. "A construção tem muitas oportunidades de redução das emissões de CO_2. O cálculo das emissões e sua comparação entre diferentes fornecedores podem embasar decisões estratégicas de reduzir a pegada de carbono dos produtos da construção", concluiu Belizário, que teve sua publicação lançada no 65° Congresso Brasileiro do Concreto, o Boletim Técnico de Quantificação das Emissões de CO_2 incorporadas em Materiais Cimentícios e Estruturas de Concreto.

Outra novidade trazida para o Seminário foi a produção de areia com uso de quartzo, subproduto da mineração de minério de ferro. A engenheira da Agera, Mariana Menezes, apresentou a descrição desse novo material de construção, comercializado pela empresa, e sua normalização e análise química. A principal diferença em relação à areia convencional é a maior quantidade de material pulverulento: esta apresenta teor típico de 48%, enquanto aquela, 21%. Ela tem sido aplicada na fabricação de tijolos cerâmicos e como sub-base de pavimentação.

O professor da Universidade Federal do Ceará, Eduardo Cabral, apresentou seus estudos patenteados de composição de um cimento álcali-ativado a partir de cinza pesada e escória de aciaria e de seu método de obtenção do concreto de alta trabalhabilidade com este ligante e agregados de escória de aciaria.

Engª Fernanda Belizário em momento de sua palestra no Seminário de Sustentabilidade

Prof. Vanderley Jonh responde a pergunta no Seminário de Sustentabilidade, ao lado de outros palestrantes

Os cimento álcali-ativado é composto por cinzas volantes (subprodutos das usinas termelétricas a carvão), sílica ativa (subproduto da indústria metalúrgica) ou metacaulim (material pozolânico obtido da queima de argila branca), com altos teores de cálcio, e ativadores alcalinos (carbonatos ou hidróxidos). Esses tipos de cimentos têm menor pegada de carbono que o cimento convencional, sendo uma alternativa limitada para sua substituição devido à baixa disponibilidade de suas matérias-primas.

O cimento álcali-ativado de cinza pesada e escória de aciaria obteve uma pegada de carbono de 131 kg CO_2/m^3, ganho de quase 200% em relação ao concreto de cimento Portland (333 kg CO_2/m^3).

Os estudos apontaram que o concreto obtido com o cimento álcali-ativado obteve altos valores de resistência à compressão e trabalhabilidade. Sua prova de conceito foi a fabricação de uma cadeira de concreto armado.

O Congresso Nacional aprovou o projeto de lei que cria o mercado regulado de carbono no Brasil. De acordo com o projeto, indústrias com emissões acima de 25 mil toneladas por ano terão que comprar créditos de carbono; por outro lado, as que ficarem abaixo deste teto receberão permissões para venderem créditos de carbono. O tema foi apresentado pela professora da Universidade Latino-Americana (Unila), Edna Possan, que buscou apresentar um panorama das discussões em torno do mercado de carbono e seus impactos na cadeia da construção.

No mercado de carbono, as empresas serão obrigadas a fazer seus inventários de emissões, de modo que serão incentivadas a reduzir sua pegada de carbono, pois a diferença entre o teto de emissões do setor e o da empresa em particular valerá créditos, que poderão ser vendidos para as empresas que ultrapassarem o teto.

Atualmente, o preço médio do crédito de carbono, que equivale ao abatimento de uma tonelada de CO_2, está entre 10 dólares (África) e 50 dólares (Europa). Para atingir a meta de 1,5°C do Acordo de Paris, esse preço médio deverá variar de 40 a 80 dólares por tonelada. Na Suécia, o preço para quem ultrapassa o teto é de 127 dólares e levou a uma queda de 30% nas emissões de gases do efeito estufa desde a implantação da taxa em 1991.

Para o professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e diretor do CBCS, Vanderley John, "o mercado de carbono vai aumentar o preço do cimento e do concreto e essa variação será função da quantidade de clínquer no cimento". Isto porque de cada 100 gramas de carbonato de cálcio, matéria-prima da fabricação do cimento, 56 gramas se transformam em clínquer e 44 gramas se convertem em CO_2, que é emitido para a atmosfera.

A despeito disso, a entidade *Global Cement and Concrete Association* endossa a precificação do carbono para incentivar a descarbonização. Em seu roadmap setorial para alcançar emissões zero em 2050, o GCCA preconiza a redução da emissão de carbono na produção de clínquer (por meio de combustíveis alternativos, maior eficiência energética, eletrificação dos fornos de cimento etc.), a redução de clínquer no cimento (com maiores teores de fíler, argila calcinada e novos materiais suplementares etc.), a redução do cimento no concreto (com menor teor mínimo regulamentado de cimento no concreto, maior uso do concreto usinado e de aditivos etc.) e a redução do CO_2 na construção (por meio da redução de perdas e desperdícios, otimização topológica de projetos e captura de CO_2 nos resíduos de materiais cimentícios etc.).

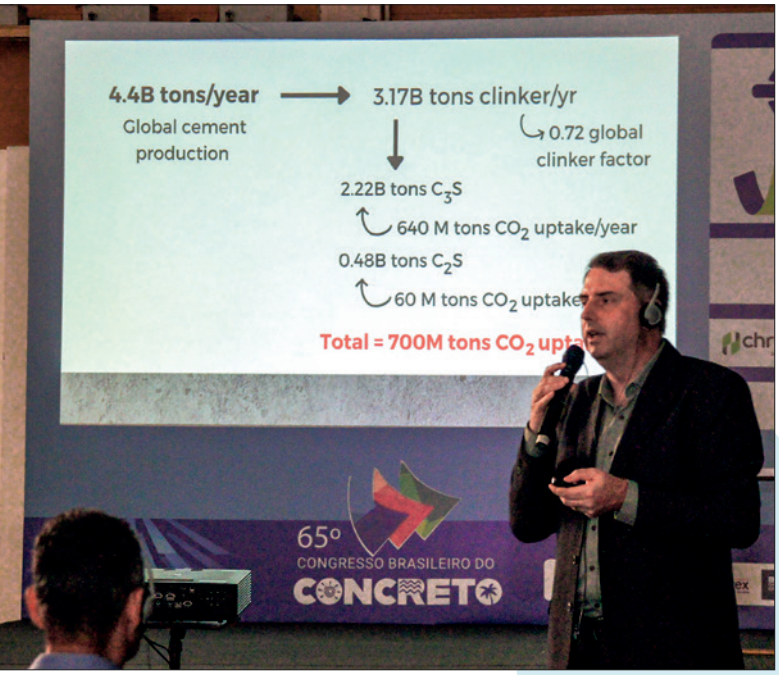
A escolha do fabricante é um dos fatores determinantes para que uma obra tenha maior ou menor impacto ambiental. Este fato pode ser constatado no Sidac, que mostra uma ampla faixa de valores de emissões para produtos com as mesmas especificações técnicas.

A Gerdau apresentou no Seminário de Temas Controversos, coordenado pelo conselheiro do IBRACON, Prof. Bernardo Tutikian, o aço CA-070, que tem sido usado em vigas de transição, pilares pré-fabricados, bloco de fundação e radier, com ganhos de até 30% na redução da armação e, consequentemente, nas emissões de carbono.

Segundo o palestrante Maurício Martins, o CA-70 é mais uma opção para estruturas densamente armadas, por reduzir a taxa de armação e facilitar a concretagem dos elementos estruturais.

Sua apresentação mostrou que o CA-70 tem comportamento similar ao CA-50, atendendo ao alongamento mínimo de 8% (ABNT NBR 7480). Porém, apesar de nenhum elemento de liga ter sido adicionado que pudesse comprometer a resistência à corrosão, há necessidade de ensaios de longa duração para comprovar os modelos numéricos. A perda de rigidez da seção e aumento da área crítica de fissuração devido ao aumento do espaçamento entre as barras precisam também ser melhor investigados, bem como o comportamento à fadiga.

Nesta linha, o professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Maurício Mâncio, apresentou o aço microcompósito, praticamente sem ferrita, componente do aço responsável por sua corrosão, e com cromo, que forma um filme de passivação, barreira protetora contra agentes agressivos do meio que poderiam atacar o aço. Apesar de ter um custo 50% maior que o aço carbono, o aço microcompósito contribui com a desmaterialização dos elementos estruturais em até 17%.



Prof. Maurício Mâncio palestrando no Seminário de Temas Controversos

Para Mâncio, o aço microcompósito poderá ser associado ao concreto estrutural para promover, sem riscos, sua carbonatação, reação química entre a cal presente no concreto e o dióxido de carbono, capturando e fixando este. Hoje, o problema com a carbonatação do concreto é o risco de perda de passivação de seu interior, que leva à corrosão da armadura. Ele defende que, com o aço microcompósito, a carbonatação deverá ser buscada com a adição de cal ao concreto. Segundo ele, o potencial dessa captura do carbono da atmosfera pelas estruturas de concreto é de 700 milhões de toneladas por ano, estimativa bem acima da projetada no Roadmap para a carbonatação do concreto. Por enquanto, a perspectiva de produção do aço microcompósito no Brasil é de médio a longo prazo.

Outro material estrutural que poderá ser usado no concreto carbonatado são as barras de polímero reforçado com *fib*ras. Essas são constituídas por fibras de carbono, aramida, vidro ou basalto, envolvidas por uma matriz polimérica (epóxi, poliéster ou vinil). Além de serem leves e de geometria variada, apresentam alta resistência à tração e à corrosão.

Atualmente, elas têm sido usadas nos projetos de estruturas de concreto como medida especial de proteção e conservação de obras em condições adversas de exposição.

A professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Gláucia Dalfré, trouxe, para o Seminário de Temas Controversos, diversos estudos experimentais nos quais diferentes tipos de barras de FRP foram submetidas a ensaios acelerados para ambientes alcalinos (poros do concreto são preenchidos por uma solução alcalina), aquosos e salinos (condições de umidade e maresia às quais as estruturas de concreto podem ser submetidas). Em geral, os resultados não foram promissores: descolamento da interface matriz/fibra; microfissuras na matriz; perda significativa de resistência à tração; entre outros.

Como os ensaios acelerados apresentam condições mais agressivas do que as encontradas onde as obras estão, foram trazidos estudos de casos de uso de barras de FRP em obras no exterior. No tabuleiro de uma ponte com 15 anos, observou-se que a microestrutura das barras se manteve íntegra, a seção das fibras não foi reduzida e não havia sinais aparentes de perda de aderência entre a matriz e as *fib*ras. Em outro estudo que avaliou 11 pontes nos Estados Unidos, entre 15 e 20 anos de serviço, verificou-se mínimas evidências de degradação das *fib*ras, da matriz e da interface.

Auditório cheio assiste palestra no Seminário de Argamassas

Atualmente, as normas de barras de polímeros reforçados com fibras (ABNT NBR 17201-1) e do projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (ABNT NBR 17196) estão em vias de serem publicadas.

Por fim, as novidades em termos de pesquisa e aplicações do concreto 3D, concreto dosado para alimentar impressoras de peças e estruturas de concreto, tecnologia que promete revolucionar o setor construtivo, no que se refere à produtividade, à diminuição de desperdícios

Vista aérea da Feibracon

e ao uso eficiente de materiais, com redução de impactos ambientais (ecoeficiência), foram apresentadas e discutidas por Carlos Massucato com os estudantes que participaram do 65º Congresso Brasileiro do Concreto, na sessão Corujão, coordenada pelo diretor-secretário do IBRACON, Prof. Cláudio Sbrighi Neto.

OUTROS TEMAS E ATIVIDADES

Outros temas, como proteção contra incêndio, retrofit, edifícios altos, argamassas, paredes de concreto, concreto colorido e concreto pré-fabricado foram apresentados e discutidos nos Seminários do Dia do Construtor, de Engenharia Estrutural de Obras de Concreto e de Argamassas.

"Tivemos apresentações sobre argamassas de revestimentos, argamassas de assentamento e grautes estabilizados para uma plateia formada por profissionais da academia, do mercado produtor, de fabricantes de aditivos químicos e de construtoras", exemplificou o coordenador do Seminário de Argamassas, Prof. Bernardo Tutikian.

Além disso, foram apresentadas e publicadas centenas de artigos técnico-científicas de estudantes de graduação e pós-graduação das universidades, institutos de pesquisa e empresas brasileiras.

Na avaliação do professor do Centro Universitário de Brusque, Elias Riffel, "as palestras técnico-científicas evidenciaram a questão ambiental neste evento que reúne pesquisadores e profissionais de todo Brasil".

A estudante de engenharia civil com dupla formação em arquitetura da USP São Carlos, Daniele Hanna, que participa pela terceira vez do Congresso Brasileiro do Concreto, mostrou-se muito grata em participar das apresentações e "perceber que a cada ano tem sempre algo novo a aprender".

Das centenas de trabalhos apresentados, o artigo "Nova abordagem integrada para o controle do concreto projetado reforçado com *fib*ras, de autoria de Antonio Domingues de Figueiredo, Alan Estrada, Sérgio Cavalaro e Luís Felipe dos Santos, ganhou o Prêmio Maria Alba Cincotto, como artigo do ano.

O evento contou ainda com dois cursos de qualificação profissional – estanqueidade de estruturas e avaliação multinível de concretos afetados por reações expansivas, três concursos estudantis (texto nesta edição), premiações (texto nesta edição), jantar Concrete Lovers (para estudantes participantes dos concursos estudantis) e a Feira Brasileira das Construções de Concreto (Feibracon), com participação de 7 patrocinadores e 12 expositores, que expuseram seus produtos e serviços aos participantes. Os patrocinadores tiveram ainda a oportunidade de apresentarem palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias.

Um momento comovente foi o pronunciamento da presidente da Cooperativa dos Artesãos de Barra Nova (Cooperartban), Lidinalva Oliveira, por ocasião do lançamento da pedra fundamental da nova sede da cooperativa na solenidade de abertura do 65° Congresso Brasileiro do Concreto. Resultado de uma parceria entre o IBRACON, a ABNT e o Instituto Nós por Elas para viabilizar financeiramente a obra, a velha sede foi demolida, o projeto arquitetônico e estrutural da nova sede está pronto e já se iniciaram os primeiros trabalhos de execução da obra. "Este projeto é muito importante e caiu como um milagre nas nossas vidas. É muita emoção porque a gente vem lutando há 20 anos em um espaço em ruínas", disse.

"O IBRACON vem desenvolvendo ações de cunho técnico na área do concreto há 52 anos. Esta é uma ação de viés social a respeito do conforto e bem-estar que o concreto pode proporcionar", arrematou o presidente do IBRACON, Julio Timerman.

Presidentes das associações envolvidas no projeto da nova sede da Cooperartban na solenidade de abertura

Premiações de profissionais

Foram entregues títulos de sócios honorários, homenageados os profissionais de destaque do ano e premiadas as teses de doutorado na cerimônia de abertura do 65º Congresso Brasileiro do Concreto.

PRÊMIO PROFISSIONAIS DE DESTAQUES DO ANO

O Prêmio reconhece profissionais com contribuições significativas para o avanço do conhecimento científico e tecnológico do concreto no país.

A indicação é livre para os associados, a escolha é feita por comissões e pautada por critérios técnicos, sendo a decisão final do Conselho Diretor e diretoria do IBRACON.

Conheça os agraciados!

PRÊMIO EMÍLIO BAUMGART
Atribuído ao Destaque em Engenharia de Projeto de Estruturas de Concreto

RUI OYAMADA

Ruy Oyamada com o prêmio entregue pelo diretor tesoureiro, Nelson Covas

Professor no departamento de engenharia de estruturas e geotécnica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Sócio-diretor da Outec, onde é responsável pela contratação, desenvolvimento e coordenação dos projetos para pontes estaiadas, pontes em balanços sucessivos, linhas de monotrilho e obras metroviárias e rodoviárias.

PRÊMIO GILBERTO MOLINARI
Reconhecimento aos relevantes serviços prestados ao IBRACON

ENIO JOSÉ PAZINI FIGUEIREDO

Enio Pazini recebe seu prêmio do diretor de eventos do IBRACON, Tulio Bittencourt (dir)

Professor aposentado da Universidade Federal de Goiás, onde exerceu os cargos de coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, chefe de laboratório de materiais de construção e coordenador do curso de especialização em gestão e gerenciamento de obra.

Conselheiro mais votado por três vezes consecutivas do IBRACON, onde foi diretor de cursos, vice-presidente, sendo atualmente assessor da presidência e coordenador do Comitê Técnico CT 802 Manutenção e reabilitação de estruturas.

PRÊMIO LIBERATO BERNARDO
Destaque em Tecnologista de Laboratório de Concreto

ALEX DOS REIS

Alex dos Reis posa com seu prêmio ao lado do presidente do IBRACON, Julio Timerman

Tecnologista com mais de 14 anos no laboratório central da Polimix Concreto, executando e ajustando dosagens de concretos para 250 centrais distribuídas em todo o país.

Responsável por garantir a qualidade do concreto no estado fresco e endurecido para pavimentações, estruturas especiais, paredes e pisos industriais.

PRÊMIO FRANCISCO DE ASSIS BASÍLIO
Destaque em Engenharia de Concreto na Região do CBC

FLÁVIO BARBOZA DE LIMA

Flávio Barboza de Lima recebe seu prêmio da diretora regional em Alagoas, Aline Barboza

Professor aposentado do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, onde foi vice-diretor, prefeito universitário, superintendente de infraestrutura, coordenador de laboratório de estruturas e materiais e chefe de departamento de engenharia estrutural.

Foi diretor regional do IBRACON em Alagoas, quando coordenou o 54º Congresso Brasileiro do Concreto, em 2012.

PRÊMIO EPAMINONDAS MELLO DO AMARAL FILHO
Destaque em Engenharia e Tecnologia de Estrutura de Concreto de Alto Desempenho

HINOEL ZAMIS EHRENBRING

Hinoel Ehrenbring posa com prêmio recebido do diretor 2° secretário, José de Abreu

Professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos e responsável técnico por seu laboratório de desempenho e construção civil.

Autor do capítulo "Concreto autoadensável" do livro "CONCRETO: Ciência e Tecnologia" e do livro "Concreto flexível com fibras: princípios, dosagens e aplicações".

Diretor regional do IBRACON no Rio Grande do Sul.

PRÊMIO LUIZ ALFREDO FALCÃO BAUER
Destaque em Engenharia de Pesquisa em Tecnologia de Estrutura de Concreto

RUBENS CURTI

Rubens Curti recebe seu prêmio do diretor secretário do IBRACON, Claudio Sbrighi Neto

Supervisor técnico dos laboratórios em tecnologia de concretos e agregados da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Instrutor em cursos na área de tecnologia de materiais e coordenador na elaboração e revisão das normas de ensaios de concreto na Associação Brasileira de Normas Técnicas

Prêmio de **Teses e Dissertações**

Para prestigiar os trabalhos cadastrados no CONCRETO Brasil, banco de teses e dissertações dedicadas ao concreto, o IBRACON concedeu Prêmio de Teses e Dissertações a um trabalho na área de estruturas e outro na área de materiais e técnicas, por suas contribuições para o conhecimento científico sobre o concreto.

MELHOR TESE EM ESTRUTURAS

Cisalhamento unidirecional e resistência à punção de lajes de concreto armado sem armadura transversal sob cargas concentradas

Diretor de pesquisa e desenvolvimento do IBRACON, Leandro Trautwein faz entrega do prêmio

AUTOR
Alex Micael Dantas de Sousa

ORIENTADOR
Prof. Mounir Khalil El Debs

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

MELHOR TESE EM MATERIAIS E TÉCNICAS

Aproveitamento da fração fina de resíduo de construção e demolição como alternativa para redução das emissões de CO_2 associadas ao Cimento Portland

Dayana Oliveira recebe o prêmio do diretor 2º vice-presidente, Carlos Massucato

AUTORA
Dayana Ruth Bola Oliveira

ORIENTADOR
Prof. José Marques Filho

Universidade Federal do Paraná

Sócios-**honorários**

O título de sócio-honorário é a maior comenda concedida a um profissional pelo IBRACON. Sua concessão é proposta pelo Conselho Diretor e referendada pela Assembleia Geral.

ÍRIA LÍCIA OLIVA DONIAK

Íria Doniak com o título recebido do presidente do IBRACON, Julio Timerman

Presidente-executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), vice-presidente da Federação Internacional do Concreto Estrutural (fib) e conselheira do IBRACON e do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento (Sinaprocim).

Com 35 anos dedicados à engenharia do concreto, sendo os últimos 16 anos voltados à industrialização da construção civil, com destaque para pré-fabricação em concreto.

MARIO WILLIAM ESPER

Mario William Esper posa com seu título ao lado do vice-presidente do IBRACON, Paulo Helene

Engenheiro civil e mestre pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ingressou na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) ainda estagiário e, posteriormente, tornou-se responsável pela engenharia da qualidade, cuidando dos programas interlaboratoriais do cimento e da implementação da marca de conformidade ABNT do cimento.

É presidente do conselho deliberativo da ABNT e diretor titular adjunto do Departamento da Indústria da Construção Civil da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP).

EDISON DIAS FILHO

Edison Dias Filho recebe o título do presidente da ABESC, Wagner Lopes (esq.)

Economista pela Universidade Católica de Minas Gerais, com mestrado em administração pela Northeasthearn University.

Iniciou sua carreira profissional na IBM do Rio de Janeiro em 1979, mas, logo em seguida, foi para a Cimento Cauê de Belo Horizonte, onde ficou de 1982 a 1997, para seguir para a Supermix Concreto, onde trabalha atualmente.

MARIA APARECIDA AZEVEDO NORONHA

Julio Timerman entrega título de sócio-honorário do IBRACON a irmã da Maria Noronha, Francis, acompanhado por Paulo Helene

Maria Aparecida Azevedo Noronha formou-se engenheira civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, em 1951.

Doutora em Patologia do Concreto, foi consultora no laboratório Falcão Bauer de 1964 a 1981.

Trabalhou também nas obras da Ponte Rio-Niterói, Rododia dos Bandeirantes e Rodovia dos Imigrantes e da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo.

Foi professora da Universidade Estadual Paulista – Unip.

Concursos **estudantis**

Os concursos estudantis promovidos pelo Instituto Brasileiro do Concreto atraem centenas de estudantes de engenharia e arquitetura de Brasil inteiro para as edições do Congresso Brasileiro do Concreto. Não foi diferente para o 65ºCBC2024.

Como atividade paradidática, os concursos contribuem para que os alunos aprendam, na prática, o que foi ensinado em salas de aula. Sob supervisão de professores, os estudantes discutem abordagens teóricas e as aplicam em laboratório para vencerem os desafios propostos pelo IBRACON em cada edição.

Conheça os premiados!

Concurso **CONCREBOL**

Construir uma esfera leve e resistente de concreto, com dimensões estabelecidas, capaz de rolar numa trajetória retilínea. Isto é o que propõe o Concurso Técnico CONCREBOL, exigindo habilidades para produzir concretos homogêneos e resistentes, e desenvolver métodos construtivos.

A pontuação final é função do diâmetro, volume e massa da bola, de sua uniformidade física e resistência à compressão do concreto.

Bola de concreto acerta o gol

Participaram da competição 250 alunos agrupados em 28 instituições com 38 bolas.

O concurso foi patrocinado pela Cimento Nacional.

PREMIAÇÃO CONCREBOL 2024

1º LUGAR | INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Equipe: Concreto Mauá

2º LUGAR | USP SÃO CARLOS
Equipe: Econ

3º LUGAR | UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Equipe: Concrebuco

Concurso **Aparato de Proteção ao Ovo (APO)**

Projetar e construir um pórtico de concreto reforçado com fibras com armaduras, ou de concreto armado, ou de concreto protendido ou de compósito cimentício com fibras, resistente às cargas dinâmicas. Este é o desafio do APO aos estudantes.

Ganha o concurso o pórtico capaz de resistir a maior energia antes do ovo sob ele ser danificado.

APO resiste a mais um impacto

Nesta edição, se inscreveram 25 instituições, totalizando 247 estudantes, que concorreram com 29 aparatos.

O concurso foi patrocinado pela Cimento Nacional.

PREMIAÇÃO APO 2024

1º LUGAR | PUC MINAS
Equipe: Concreto Uai

2º LUGAR | INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Equipe: Concreto Mauá

3º LUGAR | UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Equipe: Concreto UFBA

65º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

Concurso **Ousadia**

O concurso desafiou os estudantes de arquitetura e engenharia a elaborar o projeto básico estrutural de uma obra de concreto e a desenvolver o planejamento preliminar de sua construção. A obra consiste num Museu com Centro Cultural integrado para revitalizar a região da Lagoa Mundaú, afetada pela subsidência ocasionada pela extração de sal-gema nas minas da região.

Participantes do Concurso Ousadia apresentam seu projeto para Comissão Julgadora e outros presentes

Seu objetivo é contribuir para o entrosamento entre estudantes de engenharia civil e arquitetura no que diz respeito à eficiência energética, estabilidade estrutural, durabilidade, conforto, sustentabilidade, integração com o meio e aplicação de normas técnicas.

Participaram da competição 17 instituições com 18 projetos, totalizando 242 alunos.

Os três projetos mais bem pontuados receberam os prêmios de Vencedor (1º lugar), Destaque (2º lugar) e Mérito (3º lugar).

O concurso foi patrocinado pela ConcreteShow.

PREMIAÇÃO OUSADIA 2024

1º LUGAR | PUC MINAS
Equipe: Concreto Uai

2º LUGAR | UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Equipe: Mack Concreto

3º LUGAR | CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
Equipe: Concreto FEI

Prêmio **Medalha Concreto 2024**

Por seu melhor desempenho nos três concursos promovidos em 2024, a Medalha Concreto IBRACON foi para a equipe Concreto Uai, da PUC Minas.

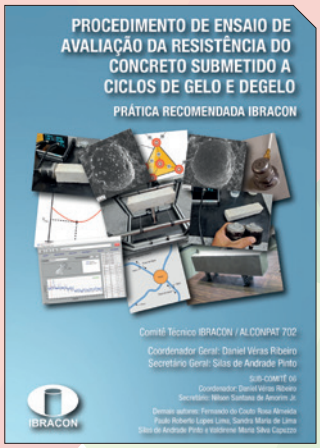
Lançamento de **publicações técnicas**

O 65º Congresso Brasileiro do Concreto movimentou o mercado editorial com o lançamento de Práticas Recomendadas elaboradas pelos Comitês Técnicos do IBRACON e que servem como documentos pré-normativos, e de um Boletim Técnico.

Conheça os mais recentes lançamentos editoriais da área de engenharia civil.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO SUBMETIDO A CICLOS DE GELO E DEGELO

Prática recomendada IBRACON Sub-Comitê 06 – Resistência a Ciclos de Gelo e Degelo: Comitê Técnico IBRACON / ALCONPAT 702:Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto



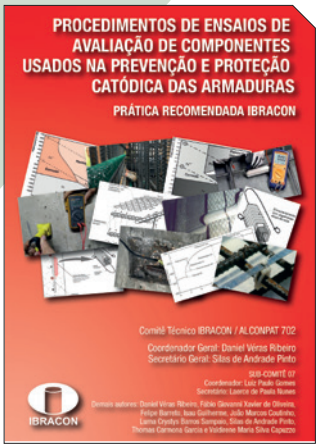
Estruturas que atendam à indústria do frio (câmaras frigoríficas) e que estejam submetidas a temperaturas negativas em algum período do ano, como ocorre no sul do país, devem atender à norma NBR 15575:2013 "Edificações Habitacionais – Desempenho", atingindo vida útil de projeto mínima de 50 anos.

A Prática Recomendada aborda os principais conceitos associados ao fenômeno de degradação do concreto por ciclos de gelo e degelo e seus fatores intervenientes. De forma didática, são apresentados métodos padronizados para realização de ensaios acelerados para concretos expostos a ambientes naturais de baixa temperatura e ambientes ainda mais extremos, associados à indústria do frio (câmaras frigoríficas).

A publicação auxilia o dimensionamento de estruturas mais duráveis, minimizando custos de manutenção e reparos.

PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE COMPONENTES USADOS NA PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CATÓDICA DAS ARMADURAS

Prática recomendada IBRACON Sub-Comitê 07 – Prevenção e Proteção Catódica – Comitê Técnico IBRACON / ALCONPAT 702: Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto



A instalação de ânodos de proteção catódica, sejam galvânicos ou inertes, permite a prevenção e a proteção contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto aéreas, enterradas ou submersas, em especial quando influenciadas por umidade, poluentes, bactérias, gases industriais, cloretos ou dióxido de carbono.

A Prática Recomendada IBRACON/ALCONPAT aborda os procedimentos de ensaios de avaliação de componentes usados na prevenção e proteção catódica das armaduras, considerada uma das mais importantes técnicas visando o aumento da vida útil das estruturas.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA LIXIVIAÇÃO DO CONCRETO

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON SUB-COMITÊ 10 – LIXIVIAÇÃO – COMITÊ TÉCNICO IBRACON / ALCONPAT 702: PROCEDIMENTOS PARA ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

As matrizes cimentícias sofrem diversas reações e processos físicos e químicos em seu ambiente de serviço. Dentre os vários tipos de deterioração química, a hidrólise dos componentes da pasta de cimento, também conhecida como lixiviação, ocorre quando o material está em contato com a água (ou outra solução com pH significativamente inferior ao da solução alcalina dos poros).

Nas obras de construção civil, a lixiviação pode afetar tanto a estrutura de concreto como elementos não estruturais. No concreto, a lixiviação pode acarretar a redução do efeito protetor às barras de aço, em função da diminuição do pH, o que pode levar à corrosão das armaduras. Em elementos não estruturais, a lixiviação geralmente ocorre em argamassas, sendo a principal problemática de caráter estético, causada pela precipitação de cristais de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), também conhecidos como eflorescências.

Considerando as consequências associadas a aspectos estruturais e estéticos, a lixiviação deve ser evitada. Para isto, os materiais à base de cimento devem ser submetidos a ensaios de desempenho em laboratório, a fim de verificar o comportamento frente a esse processo de degradação. A partir dos resultados obtidos, o projetista poderá especificar materiais e projetar soluções de projeto visando à durabilidade e à não ocorrência de lixiviação.

A Prática Recomendada do IBRACON discute o fenômeno de lixiviação e apresenta os principais ensaios de laboratório existentes.

BOLETIM TÉCNICO IBRACON/ABECE/ABCIC – QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2 INCORPORADAS EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS E ESTRUTURAS DE CONCRETO

COMITÊ TÉCNICO CT 101 IBRACON/ABECE/ABCIC – SUSTENTABILIDADE DO CONCRETO

Para descarbonizar a construção, o primeiro passo consiste em quantificar as emissões de CO_2 ao longo do seu ciclo de vida de forma confiável e harmonizada. Tal quantificação permite identificar os processos que mais contribuem para as emissões de CO_2, de modo a elencar prioridades para ações de mitigação de impactos ambientais. Também é possível comparar as emissões de CO_2 de alternativas que tenham desempenho equivalente, de modo que as decisões dos profissionais da construção também sejam embasadas em critérios ambientais.

O Boletim Técnico traz orientações para quantificar as emissões de CO_2 incorporadas em materiais cimentícios e estruturas de concreto no contexto brasileiro.

A adoção de uma metodologia de quantificação única e harmonizada é essencial para permitir o desenvolvimento de valores de referência (benchmarks) de emissão de CO_2 para a construção. Com base nesses benchmarks, é possível estabelecer metas realistas para redução da intensidade de carbono, de modo a incentivar a descarbonização contínua da construção.

PROCEDIMENTOS PARA ENSAIOS DE REALCALINIZAÇÃO E EXTRAÇÃO ELETROQUÍMICA DE CLORETOS DO CONCRETO

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON SUB-COMITÊ 08 – DESSALINIZAÇÃO E REALCALINIZAÇÃO – COMITÊ TÉCNICO IBRACON / ALCONPAT 702: PROCEDIMENTOS PARA ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A corrosão das armaduras induzida pela ação de íons cloreto ou pela carbonatação é a principal causa da deterioração precoce das estruturas de concreto armado. Visando seu reparo e a reabilitação, técnicas eletroquímicas podem ser empregadas. O processo de realcalinização busca restabelecer a alcalinidade da solução de poros do concreto em regiões próximas às armaduras. Já, a extração de cloretos busca a remoção de íons cloreto das proximidades das armaduras em direção à superfície do concreto.

A Prática Recomendada apresenta os procedimentos laboratoriais de realcalinização química, realcalinização eletroquímica e extração eletroquímica de cloretos do concreto. Os principais conceitos envolvidos são discutidos, bem como são abordados os parâmetros intervenientes a ambos os processos e os possíveis efeitos colaterais da aplicação das técnicas.

PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS VISANDO O MAPEAMENTO DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CLORETOS, SULFATOS E CO_2)

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON SUB-COMITÊ 09 – MAPEAMENTO AMBIENTAL – COMITÊ TÉCNICO IBRACON / ALCONPAT 702: PROCEDIMENTOS PARA ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Em se tratando da agressividade ambiental, a ação dos sulfatos, a ação dos cloretos e a carbonatação do concreto envolvem fenômenos que levam a significativos processos de degradação das estruturas de concreto armado, através de reações expansivas do concreto ou da corrosão das armaduras, que podem afetar seu desempenho e vida útil, bem como a segurança estrutural.

Esta Prática Recomendada aborda os principais agentes atmosféricos de degradação das estruturas de concreto armado (cloretos, sulfatos e CO_2), apresentando as ferramentas disponíveis para a avaliação da agressividade ambiental, considerando as particularidades de cada fenômeno envolvido.

Seu público-alvo é composto por profissionais da engenharia civil e com formações afins, que trabalham com projetos de estruturas de concreto armado, com engenharia diagnóstica, mas, também, com tecnologia do concreto e recuperação de estruturas sob os processos de degradação aqui tratados.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON ESTRUTURAS DE PEQUENO PORTE E MODERADA COMPLEXIDADE

COMITÊ TÉCNICO CT 302 – ESTRUTURAS DE PEQUENO PORTE

A publicação circunscreve-se a obras de edifícios de porte moderado, de até cinco pavimentos, e com arranjos estruturais relativamente simples, nos quais diversas simplificações podem ser admitidas na modelagem e no dimensionamento da estrutura.

O trabalho apresenta todo um roteiro para o desenvolvimento do projeto estrutural, reportando-se sempre às normas técnicas vigentes e a publicações específicas. Além dos aspectos de segurança e estabilidade, são feitas considerações sobre o desempenho da estrutura e da obra como um todo, contemplando segurança contra ação de incêndios, desempenho acústico, estanqueidade e durabilidade.

Além dos aspectos de projeto, a publicação traz ainda orientações gerais para a execução e o controle da qualidade das estruturas consideradas, incluindo estruturas de concreto moldadas no local (estruturas reticuladas e paredes de concreto), estruturas pré-moldadas (elementos lineares e painéis pré-moldados de concreto) e alvenaria estrutural em blocos vazados de concreto.

Análise da durabilidade do concreto armado em cenário de mudança climática: **uma formulação 3D do MEF considerando efeito da temperatura**

WAGNER QUEIROZ SILVA - Dr. - https://orcid.org/0000-0002-3148-2693 (wqs@ufam.edu.br) — **UFAM**
EDSON DENNER LEONEL - Dr. - https://orcid.org/0000-0002-7842-0334 — **EESC/USP**

RESUMO

O presente trabalho consiste na proposição de um modelo baseado no método dos elementos finitos (MEF) tridimensional para análise da difusão transiente de íons de cloreto em estruturas de concreto armado, com a consideração do efeito da temperatura. Realiza-se a simulação de uma viga de concreto armado usual para estudar o seu comportamento em relação à despassivação das armaduras por ação de cloretos, considerando ainda um aumento otimista da temperatura média do ambiente ao longo dos anos. Demonstra-se, assim, o potencial de aplicação do modelo na avaliação de um dos mais relevantes fenômenos associados a deterioração do concreto armado por corrosão, possibilitando quantificar a durabilidade de estruturas em cenários de mudanças climáticas. Os resultados da simulação indicam que, para quaisquer cenários com previsão de aumento das temperaturas médias em decorrência das mudanças climáticas, haverá redução significativa da vida útil das estruturas de concreto sujeitas ao ataque de íons de cloreto.

Palavras-chave: durabilidade do concreto armado, vida útil estrutural, difusão de cloretos, despassivação das armaduras, mudanças climáticas.

1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, têm se intensificado os esforços envidados por pesquisadores na quantificação dos impactos das mudanças climáticas globais sobre a durabilidade de estruturas de concreto armado. Notadamente nos últimos anos, este tema tornou-se sensível na sociedade devido à intensificação dos eventos climáticos extremos e suas consequências diretas sobre a integridade das construções. Estima-se, por exemplo, que o prejuízo econômico com a deterioração de pontes de concreto armado nos EUA em decorrência das mudanças climáticas pode chegar a mais de U$ 200 milhões de dólares (Zhang e Ayyub, 2024).

O concreto armado, devido à sua microestrutura porosa, é afetado significativamente pelos fenômenos associados às mudanças climáticas. Em especial, o aumento das temperaturas, que acelera processos químicos que desencadeiam degradação mecânica, como aqueles associados à corrosão das armaduras, por exemplo. A deterioração prematura não só compromete a funcionalidade destas estruturas, mas também eleva os custos de manutenção e reparo, além de possíveis riscos para a segurança pública (IPCC, 2023).

Dentre os fenômenos que levam à redução da vida útil de estruturas de concreto armado, destaca-se a corrosão de armaduras. Além disso, o ingresso de cloretos nos poros do concreto é um dos principais agentes responsáveis pelo desencadeamento do fenômeno (Pellizzer, Leonel e Nogueira, 2018). Cloretos estão presentes em produtos químicos de limpeza e são recorrentes em ambientes de orlas marinhas. Os íons cloreto são transportados pelo ar por longas distâncias e depositam-se sobre as superfícies das construções, onde difundem-se, preponderantemente, nos poros do material ao longo do tempo. Portanto, para que procedimentos normativos recomendem parâmetros justos para a durabilidade de estruturas, modelos de previsão realistas tornam-se necessários. Encontram-se recomendações para que o período anterior à despassivação seja adotado como limite de vida útil (Helene, 1993 *apud* Silva, 2023, p. 34). No presente trabalho, o tempo de início da corrosão é adotado como vida útil estrutural.

A despassivação pela ação de cloretos é prevista pela atual versão da norma brasileira de projeto de estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2024). Esta norma apresenta algumas diretrizes relacionadas à durabilidade, que são baseadas em uma classificação de agressividade ambiental. Observa-se que esta classificação foi implantada na versão de 2003 desta norma, ou seja, há pouco mais de 20 anos. Isso significa que para uma grande quantidade de construções com mais de 20 anos, foram empregadas considerações de projeto e de execução que hoje são consideradas insuficientes para garantir uma vida útil adequada. Percebe-se então a importância do desenvolvimento de modelos que permitam mensurar a durabilidade estrutural de construções existentes, principalmente modelos que incorporem os efeitos de mudanças climáticas, como em Stewart, Wang e Nguyen (2011), Pellizzer, Leonel e Nogueira (2018) e Zhang e Ayyub (2024), dentre outros.

Há, portanto, grande importância no desenvolvimento de técnicas que

permitam a quantificação da vida útil das construções existentes e futuras. Além da importância técnica, o desenvolvimento de modelos que permitam prever a durabilidade das estruturas de concreto possui relevância socioeconômica. Afinal, essas previsões podem auxiliar na melhoria das políticas públicas habitacionais, na otimização das técnicas de construção, reparo e intervenções, além de contribuir para questões referentes à sustentabilidade e economia das infraestruturas e de obras em geral.

O presente estudo avalia a durabilidade de estruturas de concreto armado por meio da aplicação de um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos (MEF), assumindo hipóteses tridimensionais. Assume-se que a durabilidade seja afetada pela corrosão de armaduras desencadeada pela ação do ingresso de íons cloreto. Incorporou-se ao modelo numérico de difusão a influência dos efeitos de temperatura. Tal recurso permite a previsão da influência das mudanças climáticas, temperatura especialmente, na vida útil das construções. A formulação desenvolvida é aplicada a uma estrutura particular, onde dados climáticos da região sudeste são considerados no estabelecimento das mudanças nos cenários climáticos. Objetiva-se com este estudo fornecer informações e dados para que os procedimentos normativos incorporem de maneira justa os efeitos das mudanças climáticas.

2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO NUMÉRICO

2.1 Modelo de difusão transiente 3D

O modelo é baseado na formulação do MEF para análise da difusão transiente em sólidos tridimensionais, como descrito, por exemplo, em Lewis *et al.* (2004). A difusão é por definição um fenômeno de transporte de matéria por movimento de partículas de uma região de maior concentração para uma região de menor concentração. Este fenômeno é governado por princípios físicos que podem ser expressos matematicamente pela equação diferencial indicada em (1).

[1] $$\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}+\frac{\partial q_z}{\partial z}=\rho\frac{\partial u}{\partial t}$$

Nesta expressão, q_x, q_y e q_z representam os fluxos em cada direção do espaço tridimensional, ρ é a constante do material e u é a concentração que varia no tempo t.

Para solucionar a equação (1), aplica-se o método dos resíduos ponderados e passa-se a escrever a concentração em função de valores nodais de uma malha de pontos discreta formada por elementos finitos. Assim, a concentração é aproximada pela expressão (2).

[2] $$\sum_{j=1}^{n} N_j u_j$$

Nesta aproximação, N_j representa a ponderação, que são as funções interpoladoras de forma de um elemento finito; u_j são os valores potenciais nos nós j do elemento e n é o número de nós do elemento. Para uma dada região do problema, os valores de concentração já devem ser conhecidos, o que corresponde às condições de contorno essenciais da solução.

Aplicando, então, o método dos resíduos ponderados na equação diferencial e com os devidos tratamentos matemáticos, obtém-se a equação (3) para o domínio Ω de elementos finitos.

[3] $$\int_{\Omega} D\left[\frac{\partial N_j}{\partial x}\frac{\partial N_k}{\partial x}u_k+\frac{\partial N_j}{\partial y}\frac{\partial N_k}{\partial y}u_k+\frac{\partial N_j}{\partial z}\frac{\partial N_k}{\partial z}u_k+\frac{1}{D}N_j\frac{\partial N_k}{\partial t}u_k\right]\mathrm{d}\Omega+\int_{\Gamma_q}N_j q\,\mathrm{d}\Gamma_q=0$$

Nesta última equação, D é o coeficiente de difusão do material e q o vetor fluxo normal à superfície Γ_q para a qual prescreve-se seu valor (condição de contorno natural). A equação (3) pode ser reescrita em forma matricial como apresentado na expressão (4).

[4] $$\left[\int_{\Omega}[N]^T[N]\,d\Omega\right]\cdot\left\{\frac{\partial u}{\partial t}\right\}+\left[\int_{\Omega}D[B]^T[B]\,d\Omega\right]\cdot\{u\}=\left\{\int_{\Gamma_q}q[N]^T\,\mathrm{d}\Gamma_q\right\}$$

Onde:

[5] $$[B]=\begin{bmatrix}\frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \cdots & \frac{\partial N_n}{\partial x}\\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \cdots & \frac{\partial N_n}{\partial y}\\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \cdots & \frac{\partial N_n}{\partial z}\end{bmatrix}$$

A resolução numérica da equação (4) com a variação do tempo envolve a discretização da parcela diferencial $\{\partial u/\partial t\}$, o que pode ser realizado por uma técnica de diferenças finitas. Para isso, considera-se a variação da concentração entre dois intervalos de tempo consecutivos. O valor de concentração intermediário para um instante $(i + \phi)$ pode ser estimado aplicando-se séries de Taylor. Com os devidos tratamentos matemáticos, reescreve-se a equação (4) da seguinte maneira:

[6] $$[\bar{D}]\{u\}_{i+1}=\{\bar{F}\}$$

Onde:

[7] $$[\bar{D}]=\frac{[V]}{\Delta t}+\phi[D]$$

[8] $$\{\bar{F}\}=\left(\frac{[V]}{\Delta t}-(1-\phi)[D]\right)\{u\}_i+\phi\{f\}_{i+1}+(1-\phi)\{f\}_i$$

A equação (6) permite calcular os valores de concentrações nodais em um instante (i+1) a partir dos valores conhecidos no instante i. Realiza-se, então, um processo iterativo. O integrador temporal ϕ foi definido neste trabalho considerando-se as recomendações de diversos autores indicados por Silva (2023), sendo adotado o valor de 2/3.

2.2 Incorporação do efeito da temperatura

No presente estudo, o coeficiente de difusividade D, na verdade, será substituído por um coeficiente de difusão efetivo, calculado conforme descreve a equação (9).

[9] $$D_{ef.}=D_0\times f_T$$

Nesta expressão, D_0 corresponde ao valor de difusividade de referência, que normalmente é obtido em ensaios laboratoriais, mas pode também ser estimado por correlações empíricas. Já, o fator de ponderação f_T é o parâmetro que impõe o efeito da temperatura interna do material, sendo seu valor dado pela equação de Arrhenius (10).

[10] $$f_T=e^{\left[\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T(t)}\right)\right]}$$

Sendo: E a energia de ativação do processo, R a constante dos gases, T_0 a temperatura de referência e T(t) o valor da

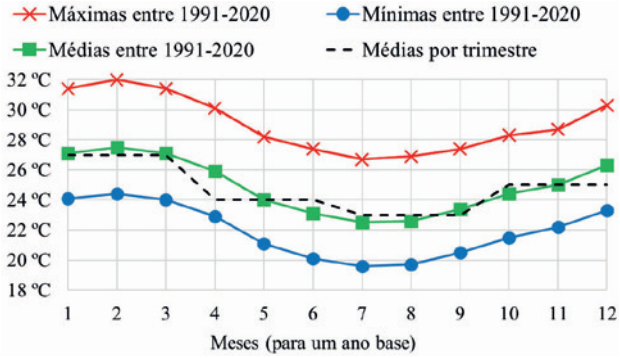


FIGURA 1
Dados climáticos utilizados como base para modelagem do clima
Fonte: Autoria própria, com base em dados do INMET (2024)

temperatura interna do concreto variando com o tempo t. Neste estudo, adotam-se os valores indicados por Stewart, Wang e Nguyen (2011) para os três primeiros parâmetros, respectivamente 40 kJ/mol; 8,31 J/mol.K e 293 K. Em relação a temperatura interna, assume-se que a temperatura do concreto nas camadas de cobrimento se mantenha igual à temperatura ambiente. Tal hipótese é realista como demonstrado em Silva (2003). Testes iniciais da formulação desenvolvida aplicada à análise da difusão térmica também confirmaram tal hipótese.

2.3 Modelagem do clima

Para a modelagem da variação de temperatura, foram considerados como base os dados disponíveis no portal do INMET (2024) correspondentes ao período de 1991 a 2020 para a região Sudeste do Brasil. Admite-se um padrão trimestral, que corresponderia às diferentes estações do ano. A Figura 1 exibe os dados considerados como base para a modelagem da variação de temperaturas ao longo de um ano.

É preciso definir um cenário futuro para a variação da temperatura. Para isso, optou-se pela aplicação de uma função periódica trimestral baseada nas médias por trimestre indicadas na Figura 1. Os dados foram tratados com a aplicação de uma distribuição uniforme, com uso de uma variável randômica para a consideração da aleatoriedade das temperaturas em torno dos valores médios, com uso de uma variação de ±2°C em torno dos valores médios aqui considerados.

Em relação às mudanças climáticas, diversos trabalhos tentam prever os mais diferentes cenários. Este é um problema complexo, pois envolve não apenas questões técnicas, mas fatores socioeconômicos e políticos. Na literatura técnica, é possível notar, de maneira geral, um consenso de que haverá nas próximas décadas um aumento significativo das temperaturas médias globais. Dentre os cenários apontados por muitos como mais prováveis, há previsões consideradas otimistas que sugerem aumentos de pelo menos 1,5°C, mas também se encontram previsões mais catastróficas com aumentos que podem chegar até 6°C em determinadas regiões do Brasil (Armani *et al.*, 2022).

O presente estudo tem como objetivo demonstrar o impacto destas mudanças futuras na durabilidade das construções de concreto armado. Assim, optou-se por considerar o cenário para o qual já se observa haver consenso entre pesquisadores, adotando-se um aumento das temperaturas médias de 1,5°C em um período de 50 anos. Este aumento se

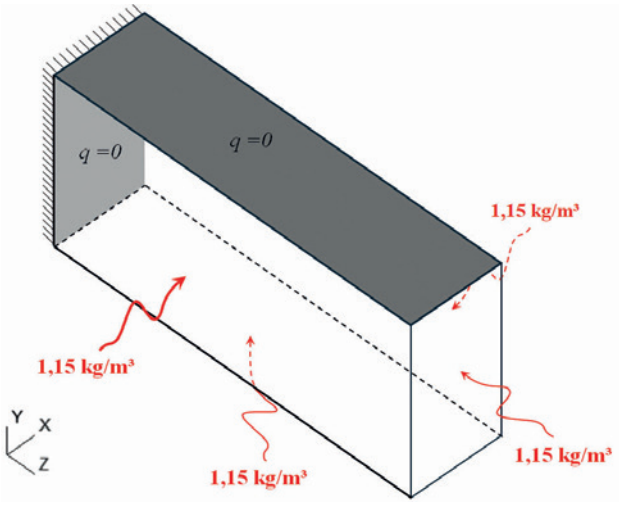


FIGURA 2
Esquema da viga em balanço para o exemplo de aplicação
Fonte: Autoria própria

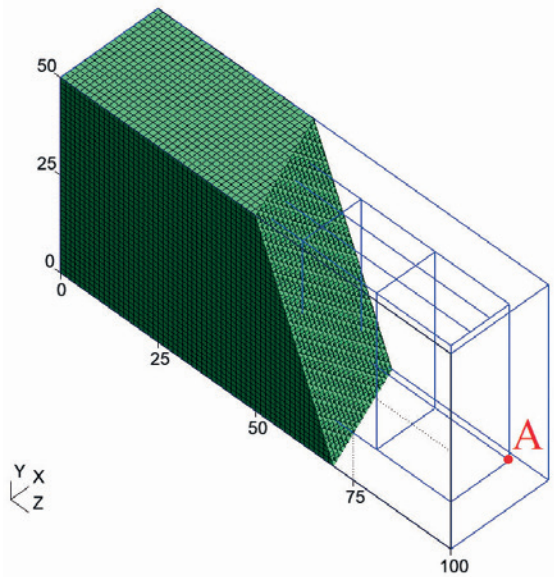


FIGURA 3
Modelo discreto da viga para o exemplo de aplicação
Fonte: Autoria própria

dará a partir dos valores base admitidos para as temperaturas trimestrais que foram ilustradas na Figura 1.

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Foi realizada uma simulação de uma viga exposta a uma concentração superficial de íons de cloreto durante 50 anos. O exemplo trata de uma viga em balanço com seção transversal retangular de 25 cm x 50 cm e 1,0 m de balanço, servindo de apoio para uma laje. Dessa maneira, considera-se haver fluxo de cloretos nas superfícies laterais, inferior e na seção de extremidade da viga, sendo a superfície superior isolada pela presença da laje, e a seção transversal de engaste isolada pelo vínculo com o pilar. A Figura 2 ilustra as condições de contorno consideradas na análise.

Adotou-se como cobrimento o valor de 50 mm, correspondente ao mínimo cobrimento para a classe de maior agressividade da atual versão da norma brasileira de estruturas de concreto, NBR 6118 (ABNT, 2024).

Para os parâmetros de difusão de cloretos em concretos, foram adotados os mesmos dados utilizados por Pellizzer, Leonel e Nogueira (2018) em suas análises. Assim, a concentração superficial é constante com valor de 1,15 kg/m^3, o que corresponde a um valor aproximado para obras localizadas a 100 metros do mar. Assume-se que esta concentração seja constante ao longo do tempo para que a influência exclusiva dos efeitos de temperatura seja quantificada. O coeficiente de difusão é de 0,67 cm^2/ano referente a um fator água/cimento de 0,50. O teor limite para a despassivação da armadura foi considerado igual a 0,90 kg/m^3, que é a faixa superior de valores comumente indicados na literatura técnica.

Foram utilizados elementos finitos hexaédricos lineares, aplicando uma discretização a qual uma convergência de malha foi efetuada previamente. A Figura 3 ilustra o modelo discreto, com um corte inclinado dos elementos volumétricos para a visualização das armaduras, representadas pelas linhas azuis mais internas.

4. RESULTADOS

Avaliaram-se três cenários em relação às variações de temperatura: o primeiro cenário desconsidera a influência da temperatura no processo difusivo, servindo como referência para os demais casos; o segundo cenário considera os efeitos de temperatura, mas sem aumento do valor médio, ou seja, mantendo-se o padrão estabelecido no ano-base ao longo dos 50 anos; o terceiro cenário prevê um aumento de 1,5°C para a temperatura média durante este período. A Figura 4 apresenta o gráfico obtido com a aplicação da variável randômica para valores de temperaturas ao longo dos 50 anos, considerando assim uma aleatoriedade uniforme. A linha tracejada indica a média geral, sendo possível notar o incremento considerado.

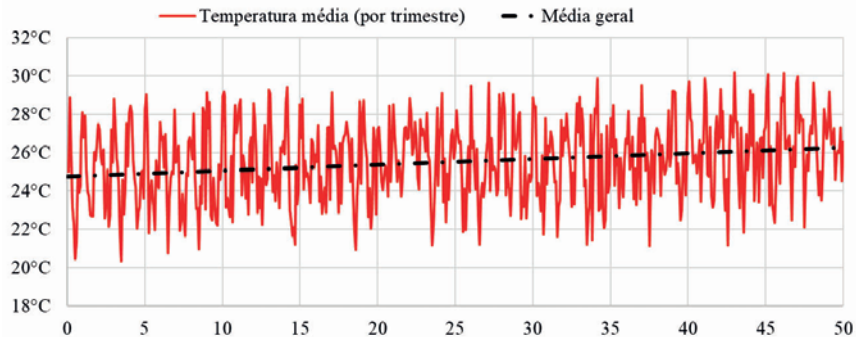


FIGURA 4
CENÁRIO SIMULADO COM AUMENTO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS EM 50 ANOS
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

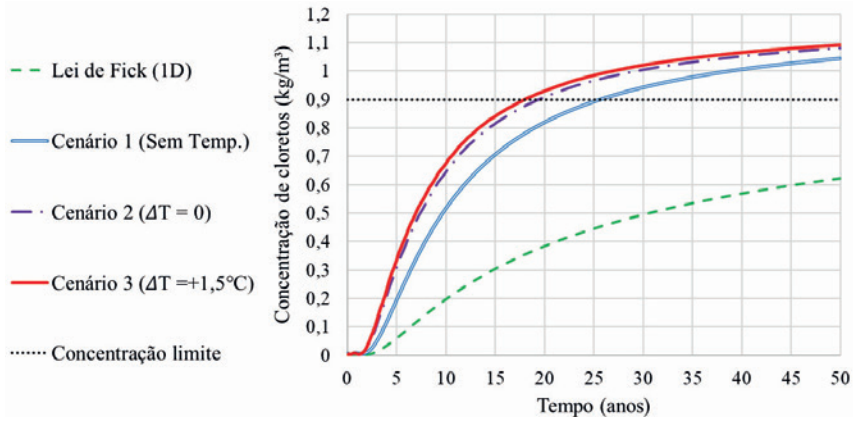


FIGURA 5
RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO NA ARMADURA AO LONGO DO TEMPO
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Os resultados para as simulações medidos no ponto A (indicado na Figura 3) são apresentados na Figura 5, juntamente com resultados obtidos para outra simulação de referência com uso da solução analítica baseada na 2ª lei de Fick, que trata da difusão como um problema unidirecional.

Nota-se que o modelo analítico baseado na 2ª lei de Fick se mostrou insuficiente para este caso, prevendo concentrações de íons de cloreto muito inferiores aos demais casos, e sequer atingindo o teor limite durante todo o período analisado. Isso significa que este modelo implicaria um valor bastante conservador para o tempo de despassivação da armadura. Este comportamento é esperado dada as limitações deste tipo de abordagem analítica.

O modelo no qual se ignora a temperatura (cenário 1) indica um tempo para a despassivação da armadura da

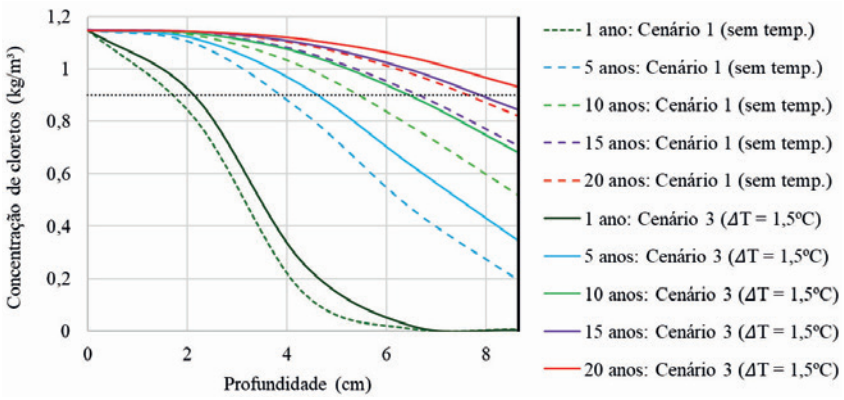


FIGURA 6
Resultados de concentração ao longo da profundidade
Fonte: Autoria própria

ordem de 26 anos. Ao se considerar o efeito da temperatura na difusividade, mas sem alteração dos valores médios (cenário 2), o período de iniciação é estimado em aproximadamente 19 anos. Portanto, a simples incorporação dos efeitos térmicos, sem acréscimo de temperatura média, prevê uma redução de aproximadamente 27% na vida útil estrutural.

Ao se considerar o incremento na temperatura média de 1,5°C em 50 anos (cenário 3, correspondente a um aquecimento global), o tempo de despassivação da armadura cai para aproximadamente 17 anos. Isso representa uma redução de aproximadamente 10% em relação a não ocorrência do incremento (cenário 2). Portanto, considerando um cenário otimista em relação aos efeitos das mudanças climáticas, observa-se já uma redução significativa da vida útil.

A Figura 6 exibe a variação de concentração de cloretos ao longo da profundidade inclinada até o ponto A (ver Figura 3), sendo a linha vertical mais espessa a armadura. É possível notar que, caso o elemento estrutural fosse construído com cobrimento menor, a vida útil também se reduziria significativamente.

A Figura 7 exibe o modelo discreto com os resultados de concentração de íons de cloreto com um corte transversal feito na profundidade correspondente ao cobrimento, para o intervalo de 25 anos (300 meses) e considerando o cenário 1. Já, a Figura 8 exibe estes resultados considerando o cenário 3. É possível notar pelo diagrama de cores que, com o aumento das temperaturas, maiores concentrações de cloretos são alcançadas internamente para um mesmo intervalo de tempo.

Cabe ainda observar que esta simulação levou em conta apenas o efeito da temperatura no processo difusivo, não tendo sido considerados outros fatores que podem potencializar a difusividade, como, por exemplo, a umidade. Também foi assumido que o material se manteve íntegro, isto é, livre de fissuras e danos mecânicos associados ao carregamento durante todo o período analisado.

5. CONCLUSÕES

A formulação desenvolvida permite a realização de análises numéricas do fenômeno de difusão transiente em sólidos isotrópicos, permitindo considerar fluxos multidirecionais. A simulação efetuada demonstrou seu potencial de aplicação para análise quantitativa da vida útil de estruturas de concreto expostas a íons de cloreto.

Em relação ao modelo de vida útil, que considera a fase de iniciação da corrosão, entende-se que este período é mais conveniente para projetos, uma vez que não se considera nos dimensionamentos estruturais a possibilidade de corrosão nas armaduras.

O aumento de 1,5°C nas temperaturas médias em um período de 50 anos é um cenário considerado otimista. Este cenário resultou em significativa redução da durabilidade estrutural. Assim, é possível afirmar que, qualquer que seja o aumento de temperaturas médias globais, as estruturas de concreto sofrerão uma redução considerável de suas vidas úteis. Ainda que se considere outros critérios, como o tempo de propagação da corrosão, o

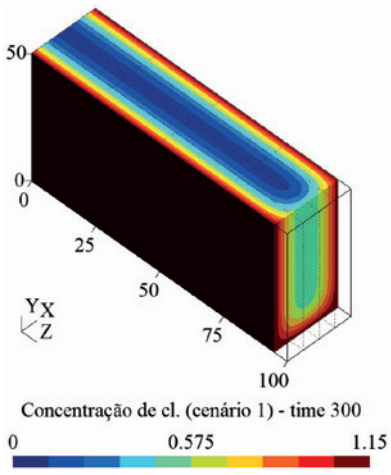


FIGURA 7
Concentração de cloretos em 25 anos (cenário 1)
Fonte: Autoria própria

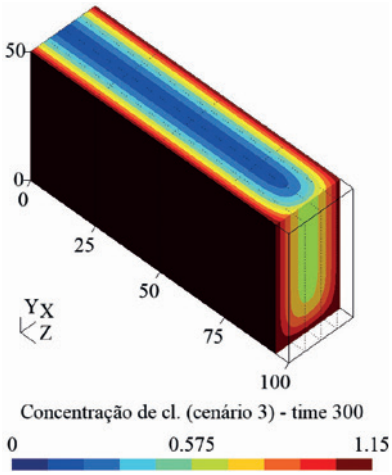


FIGURA 8
Concentração de cloretos em 25 anos (cenário 3)
Fonte: Autoria própria

aumento das temperaturas globais ainda terá impacto significativo na durabilidade. Sugere-se que os procedimentos normativos incorporem em suas recomendações os efeitos das mudanças climáticas, para que as estruturas construídas no presente sejam robustas e econômicas em um cenário ambiental diferente e mais agressivo no futuro próximo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas -FAPEAM pelo apoio financeiro (Edital 016/2023 PRODOC).

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ARMANI, G.; LIMA, N.G.B.; GARCIA, M.F.P.; CARVALHO, J.L. Projeções climáticas regionalizadas para o Estado de São Paulo, Brasil, no período 2020-2050. Derbyana, v.43, p.e773, 2022.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de concreto - procedimento (NBR 6118) - Versão corrigida 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[3] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Normais Climatológicas (1991-2020). Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 22 jul. 2024.

[4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report - Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023, Genebra, Suiça, pp. 1-34, 2023.

[5] LEWIS, R.W.; NITHIARASU, P.; SEETHARAMU, K.N. Fundamentals of the finite element method for heat and fluid flow. 1.ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.

[6] PELLIZZER, G.P..; LEONEL, E.D.; NOGUEIRA, C.G. Numerical approach about the effect of the corrosion on the mechanical capacity of the reinforced concrete beams considering material nonlinear models. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 11, n. 1, p. 26-51, 2018.

[7] SILVA, R.C.S. Análise tridimensional multifísica da difusão de cloretos em estruturas de concreto armado: uma abordagem pelo método dos elementos finitos. 2023. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

[8] SILVA, S.J.H. Vida útil e durabilidade das estruturas de concreto armado. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

[9] STEWART, M.G.; WANG, X.; NGUYEN, M.N. Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. Engineering Structures, Elsevier, v. 33, n. 4, p. 1326–1337, 2011.

[10] ZHANG, Y.; AYYUB, B.M. Deterioration of concrete infrastructure due to climate change. Elsevier eBooks, p. 351–367, 2024.

Prática Recomendada IBRACON

Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian
SECRETÁRIO Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1
Edição: 1ª edição
Formato: Eletrônico
Páginas: 78
Acabamento: Digital
Ano da publicação: 2015

Patrocínio

concrebras ENGEMIX GRACE UNISINOS PERFORMANCE Votorantim Cimentos IBRACON

Potencial de captura de CO_2 de agregados graúdos reciclados de concreto no cenário nacional

VICTOR SALDANHA CASSEL – Dr. – (victorcassel@hotmail.com) – **UFRGS**
KATHLEEN DALL BELLO DE SOUZA RISSON – Profª Drª – https://orcid.org/0000-0003-4296-1988 – **IFPR**
DENISE C. C. DAL MOLIN – Profª Drª – https://orcid.org/0000-0003-1934-7533 – **UFRGS**
KATIA R. G. PUNHAGUI – Profª Drª – https://orcid.org/0000-0002-4956-3440 **; EDNA POSSAN** – Profª – https://orcid.org/0000-0002-3022-7420 – **UNILA**

RESUMO

A utilização de CO_2 em resíduos de concreto tem sido avaliada como uma alternativa de aplicação das tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS). Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial de captura de CO_2 de diferentes agregados graúdos reciclados de concreto, considerando a composição química do cimento e a resistência do concreto que dá origem aos agregados reciclados. Para isso, foram produzidas duas composições de concreto, variando o tipo de cimento (CP IV-32 e CP V ARI) e, após o processo de britagem, as partículas foram colocadas em câmara de carbonatação (UR 65%, CO_2 15%, tempo 24h), para a mineralização do CO_2. Constatou-se que a carbonatação completa das partículas do agregado reciclado tem potencial de capturar de 14,65 a 17,69 kg de CO_2 por tonelada de produto. A depender do índice de reciclagem no Brasil e da pré-carbonatação dos agregados reciclados, por esta estratégia é possível capturar de 6,5 a 38,5 ktCO_2/ano, indicando que esta solução pode ser de interesse para o mercado de carbono.

Palavras-chave: captura e utilização de carbono, mineralização de CO_2, agregado reciclado de concreto (ARC), crédito de carbono.

1. INTRODUÇÃO

Em 2019, as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) atingiram 59 ± 6,6 Gt.CO_2-eq por ano[1], um aumento de 54% em relação a 1990 (IPCC, 2022). No Brasil, foram emitidas aproximadamente 1,68 Gt.CO_2-eq em 2020 (MCTI, 2022). Dentre esses gases, o dióxido de carbono (CO_2) se destaca como o principal responsável pelo aquecimento global. Esse fenômeno, por sua vez, desencadeia uma série de mudanças preocupantes: provoca eventos climáticos extremos, eleva o nível do mar e ameaça ecossistemas e biodiversidade. Diante desse cenário, a redução das emissões de CO_2 torna-se uma prioridade inadiável neste século.

Em seu relatório "Net Zero até 2050", lançado em 2021, a Agência Internacional de Energia (no inglês, *International Energy Agency – IEA*) aponta as Tecnologias de Captura, Utilização e Armazenamento de carbono (no inglês, *Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS*) como as principais estratégias viabilizadoras para zerar as emissões de CO_2 até 2050 (IEA, 2021). Estima-se que até 4,2 Gt de CO_2 por ano poderiam ser capturados e armazenados com o estabelecimento de 160 plantas industriais de CCUS em todo o mundo, a custos inferiores a US$ 85,00 por tonelada de CO_2 (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2023). Um dos pontos centrais nas estratégias de CCUS está no desenvolvimento e ampliação de tecnologias voltadas ao uso do carbono, onde o CO_2 torna-se matéria-prima em produtos e processos, reduzindo

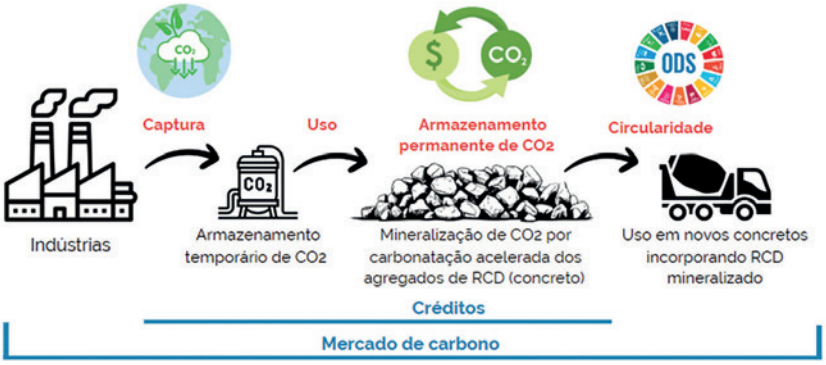


FIGURA 1
Rota de uso de carbono para mineralização de CO_2 em agregados reciclados de concreto
Fonte: Autores (2024)

[1] As métricas de emissão de GEE são usadas para expressar as emissões de diferentes gases de efeito estufa em uma unidade comum, em CO_2-equivalente (CO_2-eq).

os custos associados à sua remoção.

A utilização do CO_2 para mineralização em agregados reciclados de resíduos da construção e demolição (RCD), especialmente de resíduos de concretos (RC), é uma estratégia que pode ser de interesse comercial pois, além de armazenar permanentemente o carbono, confere melhorias nas propriedades físicas do material. Nessa rota tecnológica, o CO_2 capturado de fontes industriais é utilizado para o tratamento dos agregados reciclados. No processo, o CO_2 reage quimicamente com minerais como silicatos de cálcio ou magnésio, sendo permanentemente armazenado na forma de carbonatos termodinamicamente estáveis e insolúveis ($CaCO_3$/$MgCO_3$). Esse processo pode ser usado em resíduos industriais como lamas de papel, cinzas de biomassas e em agregados e pós reciclados de RCD, entre outros.

Nos agregados reciclados de RCD, o principal produto formado da reação, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), precipita no espaço poroso do sistema e densifica toda a microestrutura. De acordo com as reações (1) e (2), após a carbonatação, o volume sólido pode ser aumentado em 11,8% com base na reação (1) e cerca de 23% com base na reação (2) (XUAN; ZHAN; POON, 2016), resultando em um aumento da densidade, uma diminuição porosidade capilar e, consequentemente, da absorção de água, e um aumento da resistência à compressão (CASSEL, 2024).

[1] $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

[2] $C\text{-}S\text{-}H + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + SiO_2{\cdot}nH_2O$

O potencial de captura de carbono dos agregados reciclados de RCD é estimado entre 7,90 e 190,00 kg.CO_2/ton de material (XUAN; ZHAN; POON, 2016; POON *et al.*, 2023; CASSEL, 2024), a depender:

(i) das condições do processamento - como uso de reatores dinâmico ou câmaras estáticas, métodos de carbonatação como gás-sólido ou líquido-sólido, temperatura, umidade relativa do ambiente, umidade das partículas, pressão, vazão do gás e tempo de exposição;

(ii) da pré-carbonatação do concreto de origem ao RCD durante o ciclo da vida da construção;

(iii) do tempo para processamento e período de armazenamento dos RCD antes do processo de mineralização;

(iv) das características dos agregados reciclados como origem e composição química; e,

(v) da dimensão das partículas.

Nesse sentido, a mineralização de carbono em agregados reciclados pode ser considerada uma rota complementar à injeção do CO_2 em depósitos geológicos profundos, que gera crédito de carbono, além de potencializar o uso dos agregados reciclados, promovendo a economia circular. Como consequência, tem-se a diminuição da extração de agregados naturais e redução das emissões associadas a esses processos, estratégias que estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 12 e 13, que envolvem consumo e produção responsáveis e ações contra as mudanças climáticas, conforme ilustrado na Figura 1.

Em 2022, o Brasil gerou aproximadamente 107 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), dos quais cerca de 17% desta quantidade foram convertidas em agregados reciclados (ABRECON, 2024). Diante do crescimento desse mercado, este artigo tem como objetivo avaliar o potencial de captura de CO_2 devido à mineralização por carbonatação acelerada de agregados graúdos reciclados de concreto (AGRC) no cenário nacional.

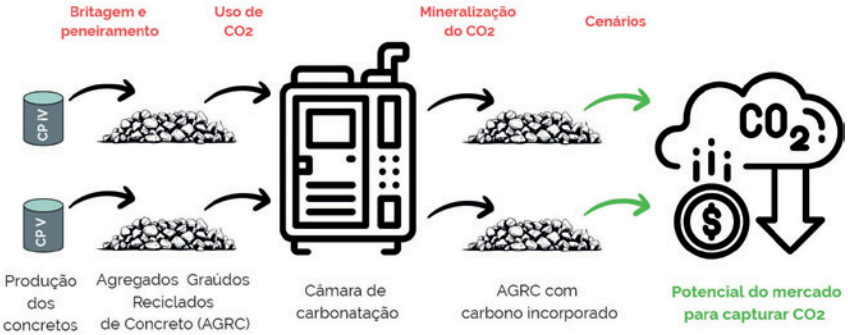


FIGURA 2
PROCESSO DE MINERALIZAÇÃO DE CO_2 EM AGREGADOS DE CONCRETO
FONTE: AUTORES (2024)

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS QUE DERAM ORIGEM AO AGRC

Identificação do concreto	Tipo de cimento	Consumo de cimento (kg/m³)	Relação água/ cimento	Resistência à compressão (MPa)		Absorção por capilaridade (g/cm²) – 72h
				7 dias	28 dias	> 28 dias
IV_65	CP IV-32	292,6	0,65	7,4	-*	1,3
V_65	CP V ARI	279,9	0,65	19,2	24,9	1,2

* DADO INCONSISTENTE QUANDO À RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS. PARA CONFIRMAÇÃO DOS RESULTADOS, A DOSAGEM DESTE TRAÇO SERÁ REPETIDA. PELA COMPARAÇÃO COM INDICADORES FÍSICOS (ABSORÇÃO DE ÁGUA, ARGAMASSA ADERIDA E MASSA ESPECÍFICA), A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DESTE CONCRETO É LIGEIRAMENTE INFERIOR AO CONCRETO PRODUZIDO COM CIMENTO CP V

FONTE: CASSEL (2024)

TABELA 2
Características físicas dos AGRC

Nomenclatura dos agregados	Dimensão máxima característica $D_{máx}$ (mm)	Teor de argamassa aderida (%)	Índice de forma	Massa unitária (g/cm³)
AGRC. IV_65	19	41,69	2,15	1,35
AGRC. V_65	19	47,23	2,06	1,39

Fonte: Cassel (2024)

2. MINERALIZAÇÃO DE CO_2 EM AGREGADOS RECICLADOS

Face às características químicas, o maior potencial de captura de carbono ocorre em agregados reciclados de concreto e, para avaliar e quantificar esse potencial, foram produzidos dois tipos de concretos, em laboratório, gerando agregados reciclados sem pré-carbonatação, conforme processo da Figura 2.

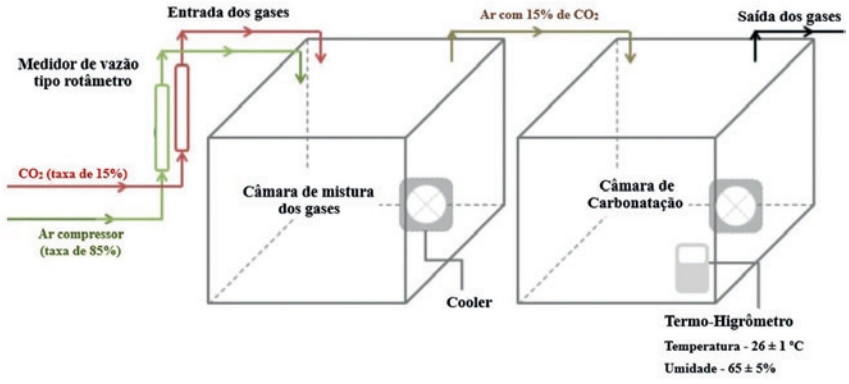


FIGURA 3
Esquema de câmara de carbonatação utilizada
Fonte: Adaptado de Mascolo (2023)

2.1 Produção dos Agregados Graúdos Reciclados de Concreto (AGRC)

Para a produção dos Agregados Graúdos Reciclados de Concreto (AGRC), foram produzidas duas misturas de concreto (Tabela 1) com dois tipos de cimento, o cimento Portland Pozolânico (CP IV-32) e o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI), para uma mesma relação água/cimento (a/c) em 0,65.

Após a caracterização dos concretos aos 28 dias, fez-se a cominuição em britador de mandíbulas e o peneiramento do material, separando-se as frações retidas e passantes na peneira 4,75 mm. As características dos AGRC são apresentadas na Tabela 2, onde observa-se que, apesar da diferença da resistência à compressão do concreto de origem (Tabela 1), os AGRC apresentaram valores próximos para o teor de massa aderida, índice de forma e massa unitária.

Em seguida, os AGRC foram colocados em uma câmara de sazonamento para equilibrar o teor de umidade das partículas com a umidade relativa do ambiente e evitar a carbonatação natural antes da mineralização do CO_2. Após essa etapa e com idades de hidratação superiores a 60 dias, os AGRC foram expostos ao

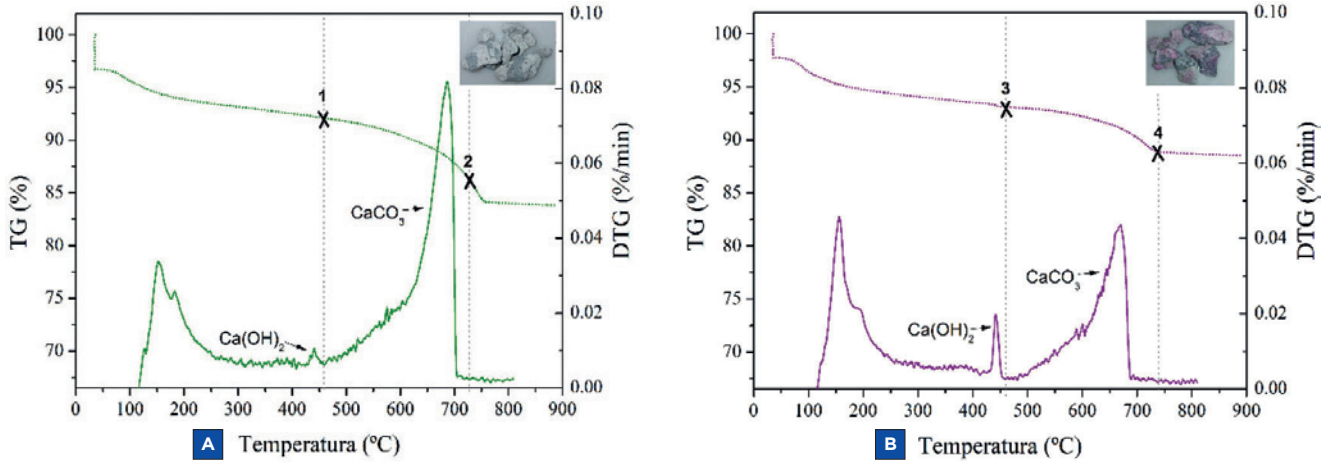


FIGURA 4
Exemplo de curvas TG/DTG: a) Amostra carbonatada; b) Amostra não carbonatadas

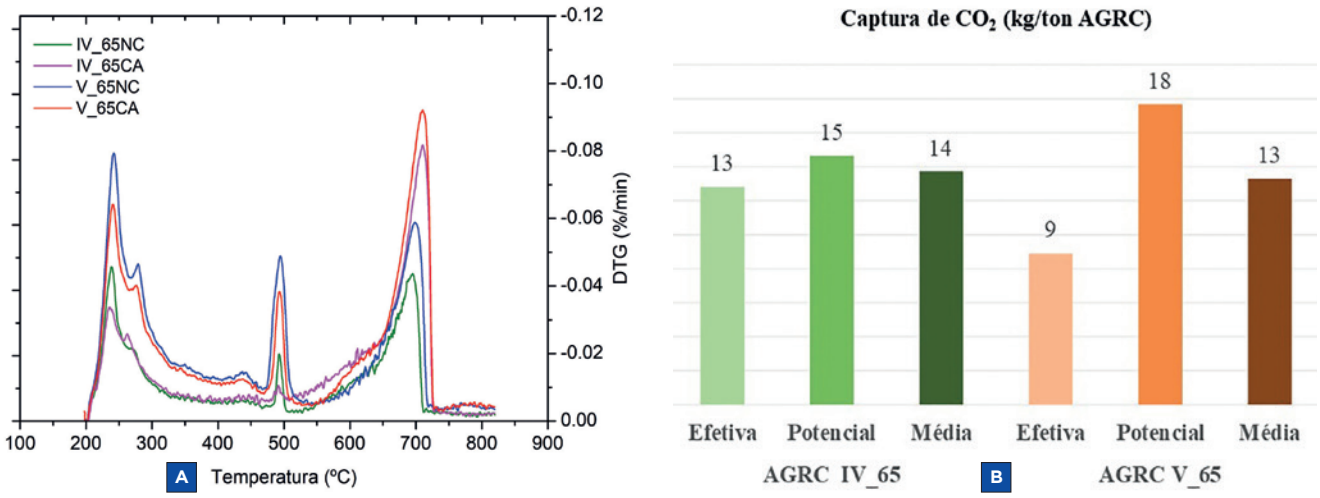


FIGURA 5
Captura de CO_2 pelos AGRC: a) Curvas DTG; b) Efetiva *versus* Potencial
Fonte: Cassel (2024)

CO_2 por 24 horas em câmara de carbonatação nas condições: 15 ± 1% de CO_2, 26 ± 1 °C e 65 ± 5% de umidade relativa, conforme esquematizado na Figura 3.

2.2 Determinação da captura de CO_2

Para determinar a captura de CO_2, foram selecionadas 50 gramas da argamassa aderida na superfície dos agregados, antes e após a mineralização de CO_2 por carbonatação acelerada. Alíquotas de 50 mg foram avaliadas por análise termogravimétrica (TG) com fluxo de nitrogênio (30 ml/min), faixa de temperatura (35 – 900 °C) e razão de aquecimento (10 °C/min). Os dados obtidos foram exportados para o software OriginPro 8.5, onde foi realizada a plotagem das curvas TG e DTG (termogravimetria derivada) (Figura 4).

A partir da perda de massa no início e final do pico de decomposição do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) das amostras carbonatadas (TG^1_{CA}-TG^2_{CA}) e não carbonatadas (TG^3_{NC} -TG^4_{NC}), que ocorreu na faixa entre 550 ºC e 750 ºC, por estequiometria, calculou-se a parcela de CO_2 que compõe o $CaCO_3$ das duas amostras. A quantidade de CO_2 capturado pela matriz cimentícia foi calculada pela diferença da parcela de CO_2 de cada amostra, sendo este valor dividido por 100 e multiplicado pela massa do material utilizado na análise termogravimétrica (50 mg), conforme Equações 3 e 4.

$$[3] \quad CO_{2_{cap}} = \left(\frac{CO_2\,TG_{CA} - CO_2\,TG_{NC}}{100}\right) * MCA$$

Onde:
$CO_{2_{cap}}$ = CO_2 capturado (gramas);
$CO_2\,TG_{CA}$ = CO_2 na amostra tratada (%);
$CO_2\,TG_{NC}$ = CO_2 na amostra não tratada (%);
MCA = Massa inicial da amostra (50 mg).

$$[4] \quad CO_{2\,cap}\left(\frac{kgCO_2}{t}\right) = \left(\frac{CO_{2\,cap}\,(g)}{MCA\,(g)}\right) * 1000$$

Onde:

$CO_{2\,cap}\left(\frac{kgCO_2}{t}\right)$ = CO_2 capturado (kg-CO_2/t);

$CO_{2_{cap}}\,(g)$ = CO_2 capturado (gramas);
MCA (g) = Massa inicial da amostra (50 mg).

Na Figura 5a, são apresentadas as curvas DTG dos AGRC, nas quais pode-se observar que o pico do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), que ocorre na faixa entre 450 ºC e 550 ºC, sofreu uma pequena redução nas amostras carbonatadas (CA), indicando que este produto de hidratação não foi totalmente consumido durante as 24 horas de exposição das amostras (CASSEL, 2024). Assim, também foi possível estimar a captura potencial de CO_2 levando em consideração que toda a argamassa aderida fosse carbonatada (assumiu-se que o hidróxido de cálcio foi totalmente consumido pela reação de carbonatação). Os resultados de captura de CO_2 (efetiva e potencial) para os dois agregados reciclados são mostrados na Figura 5b.

Considerando captura efetiva de CO_2 (Figura 5b), é possível observar que o AGRC.IV_65 apresentou uma captura maior que o AGRC.V_65, respectivamente com os valores de 13 e 9 kg.CO_2 por tonelada de agregado. Esse resultado justifica-se devido à menor resistência do concreto que deu origem ao agregado, o que facilitou a difusão de CO_2, devido à maior porosidade da argamassa aderida ao agregado. Por outro lado, o potencial de captura de CO_2 do AGRC produzido com o CP V ARI é maior devido ao maior teor de hidróxido de cálcio em sua matriz, dado o maior teor de clínquer contido.

Vale ressaltar que os agregados reciclados utilizados neste estudo foram produzidos em laboratório e não apresentam pré-carbonatação. Os agregados advindos de usinas de reciclagem de RCD podem apresentar pré-carbonatação devido à exposição ao CO_2 ambiental durante a vida útil, dependendo das condições de exposição e de contorno e da

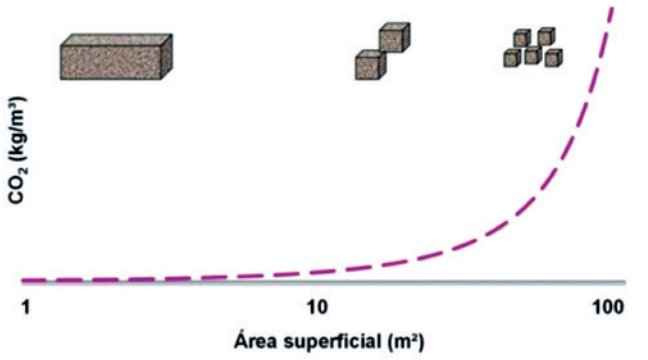


FIGURA 6
Captura de CO_2 em função da área superficial do elemento
Fonte: Félix e Possan (2018)

relação m^2/m^3 da estrutura de origem do concreto. Contudo, conforme indicado por Felix e Possan (2018), o maior potencial de captura de CO_2 em matrizes à base de cimento ocorrerá na fase de demolição, se conduzida a produção de agregados reciclados, onde a área superficial que será exposta ao CO_2 é elevada exponencialmente (Figura 6).

Como exemplo, considerando uma viga de dimensões 25 x 40 x 500 cm, a área superficial é de 6,7 m^2 e, em 50 anos, resultará em um volume carbonatado de aproximadamente 0,15 m^3 (para uma espessura de carbonatação de 35 mm e três faces do elemento exposto ao CO_2 sem revestimento ou pintura). Como o volume de concreto empregado para o elemento é de 0,50 m^3, se removida a camada de concreto pré-carbonatada durante a vida útil, 70% do material está disponível para ação com CO_2 na fase de agregado reciclado de concreto, em que a elevação da área superficial é mais favorável à fixação do carbono.

Logo, este estudo indica os valores de potencial de captura, ou seja, o máximo valor possível de ser obtido em agregados reciclados de concreto, que é válido para as condições de contorno utilizados no experimento. Para extrapolações, é obrigatória a consideração da pré-carbonatação do RCD assim como a composição físico-química e mineralógica do material e as condições de processo de tratamento com CO_2.

Atenção especial para o tipo de agregado reciclado, pois no resíduo misto a captura de carbono é muito reduzida e infelizmente a maior parte das unidades de reciclagem de RCD não processam separadamente os resíduos mistos dos de concreto.

3. POTENCIAL DE CAPTURA DE CO_2 NO CENÁRIO NACIONAL

Para simular a potencial captura de CO_2 no cenário nacional, considerou-se os dados disponíveis no Relatório de Pesquisa Setorial ABRECON 2022 (ABRECON, 2024), com estimativa de geração brasileira de RCD em 107 milhões de toneladas no ano. Esse indicador não inclui o solo de escavação e considera uma mediana de geração de RCD de 0,5 ton/(habitante.ano). A geração de RCD varia em função da densidade populacional e é gerada de forma diferenciada em cada região do país, sendo tipicamente recebido nas usinas o misto, composto por mistura de produtos cimentícios e cerâmicos. Considerando o índice de reciclagem do RCD em agregados reciclados (AR) de 17% e que 60% dos agregados reciclados produzidos são agregados graúdos (Ø>4,75 mm) (CONTRERAS *et al.*, 2016), na Tabela 3 é apresentada a produção anual de AGRC no Brasil.

TABELA 3
Produção anual de AGRC no Brasil

Região	Produção anual de RCD (toneladas)		Índice de reciclagem (%)	Parcela de agregados graúdos (%)	Produção anual de AGRC (toneladas)
	Total	Concreto			
Norte	9.453.481	311.965	17	60	31.820
Nordeste	28.833.921	2.596.783			264.872
Centro-Oeste	8.353.668	733.034			74.770
Sudeste	44.816.456	4.029.448			411.004
Sul	15.201.294	1.185.701			120.941
Total	106.658.820	8.856.931	–	–	903.407

Fonte: ABRECON (2024); CONTRERAS *et al.* (2016)

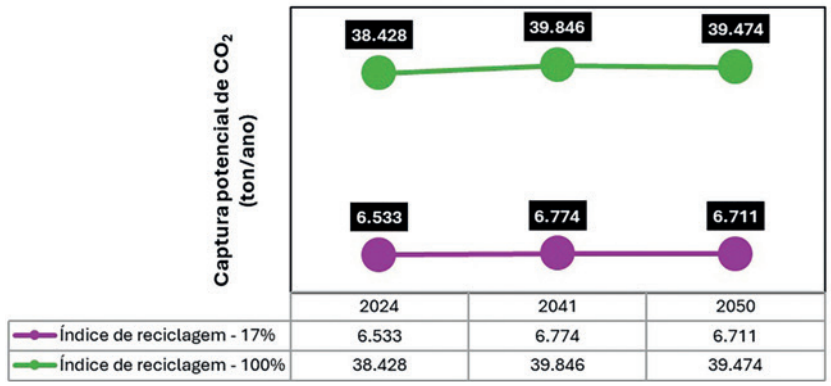


FIGURA 7
Potencial de captura de CO_2 de acordo com a projeção de crescimento populacional até 2050
Fonte: Autores (2024)

Com base na população atual (212.583.750 hab.) e na projeção de crescimento populacional do Brasil para o ano de 2050 (218.369.418 hab.) (IBGE, 2024), foi realizada a estimativa do potencial de captura de CO_2 dos AGRC em 2050, considerando: (i) a relação de produção de AGRC por habitante; (ii) o índice de reciclagem atual (17%) e o ideal (100%); e iii) o valor potencial de captura de CO_2 pelos AGRC (Figura 5b) considerando a média obtida entre os dois AGRC (~17 $kgCO_2$/ton). Esta análise incluiu também o ano de 2041, quando a população do Brasil deverá alcançar o seu maior número (220.425.299 hab.), e está apresentada no gráfico da Figura 7.

Considerando as metas de redução das emissões globais de CO_2 para alcançar o Net Zero até 2050, o mercado brasileiro de agregados graúdos reciclados de concreto tem o potencial de contribuir, em média, com a captura de 39,5 $ktCO_2$/ano, a partir do aprimoramento da mineralização do CO_2 como forma de obter a carbonatação completa do material.

Diante deste valor e do volume de resíduo de concreto produzido anualmente, o mercado de agregados reciclados pode ser avaliado como uma possibilidade de atuação no mercado de carbono, onde empresas com dificuldade para reduzir suas emissões de CO_2 compram créditos de carbono de empresas mais sustentáveis, como forma de incentivo econômico para diminuir o impacto ambiental das indústrias.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo avaliou-se a estimativa do potencial de captura de CO_2 em agregados graúdos reciclados de concreto, considerando a produção anual de resíduos no Brasil. Constatou-se que o aumento do índice de reciclagem dos resíduos de construção e demolição associado à mineralização completa das partículas com CO_2 pode elevar a contribuição dos agregados reciclados às metas globais de Net Zero, com adicional relevância ao mercado de carbono.

Verificou-se que a composição dos concretos que dá origem aos agregados graúdos reciclados tem influência no potencial e na captura efetiva de CO_2 após o processo de mineralização. Parâmetros como a porosidade da matriz cimentícia e a composição química do cimento influenciam na difusão de CO_2 e na quantidade de produtos de hidratação, como o hidróxido de cálcio, disponível para reagir e capturar CO_2. Neste caso, as melhores condições de processamento para a mineralização podem variar conforme as características do concreto antigo.

A fração fina (Ø < 4,75 mm) e pós (Ø < 0,15 mm), devido à maior área superficial das partículas e maior teor de materiais cimentícios residuais, também possuem potencial de captura de CO_2, e devem ser levados em consideração como forma de avaliar a contribuição do setor na redução das emissões de CO_2 da indústria da construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) pelo suporte laboratorial, ao Instituto Federal do Paraná (IFPR) e ao CNPq pelo fomento à pesquisa (processos 308511/2022-0 e 407060/2021-90).

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - ABRECON. Pesquisa Setorial Abrecon 2022. 2024. Disponível em: <https://abrecon.org.br/pesquisa>.

[2] BRASIL, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES – MCTI. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 6.ed. 2022. Disponível em:<https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4966>.

[3] CASSEL, V. S. Tratamento com uso de CO_2 de agregados graúdos reciclados de concretos controlados: propriedades microestruturais e captura de CO_2. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

[4] CONTRERAS, M. *et al.* Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). Construction and Building Material, v. 123, p. 594–600, 2016.

[5] FELIX, E. F. POSSAN, E. Balanço das emissões e da captura de CO_2 em estruturas de concreto: simulação em função do consumo e tipo de cimento. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. 2018. http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952018000100008

[6] GLOBAL CCS INSTITUTE. Global Status of CCS 2023, 2023. Disponível em: <https://status23.globalccsinstitute.com/>.

[7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Projeções da População. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>.

[8] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2022. Mitigation of climate change. Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

[9] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.

[10] MASCOLO, Rafael. Avaliação do espaçador da armadura como ponto de entrada de agentes agressivos: estudo da influência na durabilidade do concreto armado. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

[11] POON, C. S. et al. Total recycling of concrete waste using accelerated carbonation: A review. Cement and Concrete Research, v. 173, p. 107284, 2023.

[12] XUAN, D.; ZHAN, B.; POON, C. S. Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites, v. 65, p. 67–74, 2016.

Jornadas Setoriais para um futuro de baixo carbono na construção civil brasileira

CLARICE DEGANI – Dir. Exec. (clarice.degani@cbcs.org.br) ; **JHONATHAN F. T. DE SOUZA** – https://orcid.org/0000-0003-1238-1544 ; **CAROLINA STRABELLI SONVEZZO** – https://orcid.org/0000-0001-8506-7041 — **CBCS**

HELOÍSA C. F. CORDON – Profª. Dra. – https://orcid.org/0000-0002-8086-1331 — **Escola de Engenharia Mauá**

LIDIANE S. OLIVEIRA – https://orcid.org/0000-0001-9334-8003 ; **VANDERLEY M. JOHN** – Prof. Dr. – https://orcid.org/0000-0002-0588-8382 — **USP**

KATIA R. G. PUNHAGUI – Profª. Dra. – https://orcid.org/0000-0002-4956-3440 — **UNILA**

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é fundamental para o progresso socioeconômico de um país, especialmente em territórios em desenvolvimento, que carecem de obras em infraestrutura e habitação, como o Brasil. Contudo, esse setor está entre os grandes responsáveis pelos impactos ambientais, devido às altas emissões de dióxido de carbono (CO_2) e ao elevado consumo de recursos naturais e energéticos; com destaque ao cimento, que é o material de construção mais usado no mundo e cuja produção representou de 7% a 8% das emissões antropogênicas de CO_2 no mundo em 2020 (GCCA, 2023).

Para reduzir tais emissões, medidas podem ser tomadas em diferentes etapas da cadeia produtiva. As Avaliações do Ciclo de Vida (ACV) dos produtos da construção permitem identificar e mensurar impactos ambientais de modo a orientar a definição de estratégias de mitigação, as quais podem ser aplicadas tanto nos próprios processos fabris quanto na seleção de fornecedores menos carbono-intensivos.

Nesse sentido, são fundamentais a correta medição e a padronização na comunicação das emissões pelas empresas para que os consumidores estejam devidamente informados. A concepção de estratégias de mitigação assertivas necessita de dados reais e representativos dos processos produtivos da construção brasileira. A falta de informações primárias, robustas e nacionais fragiliza a tomada de decisão, deixando o setor sem encaminhamento claro para ações mais efetivas.

No Brasil, uma minoria de empresas, representada basicamente por grandes corporações, é capaz de apresentar as Declarações Ambientais de Produto (DAPs ou, em inglês, EPDs). Tal fato se deve à complexidade da elaboração de inventários de gases de efeito estufa, que demanda inclusive a contratação de consultorias especializadas, onerando e dificultando o processo de emissão das declarações. Para garantir o amplo acesso e autonomia da indústria brasileira, foi lançado em 2022 o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (Sidac) (MME; CBCS, 2022), que simplifica esse processo, mantendo a base científica-metodológica da ACV.

O Sidac é uma ferramenta online gratuita, padronizada e de uso relativamente simples para estimar a pegada ambiental dos materiais de construção. Hoje o sistema contém um banco de dados nacional de emissões de CO_2 e consumo de energia primária dos principais produtos utilizados na construção civil brasileira (BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2022). Através do Sidac, as empresas podem emitir Declarações de Desempenho Ambiental de Produtos (dDAPs) de uma maneira mais acessível a pequenos e médios fabricantes. Os indicadores apresentados pelo Sidac consideram os fluxos mais relevantes da cadeia produtiva da construção e por ela já controlados, calculados a partir de dados primários representativos sob um método transparente (BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2023).

Apesar do Sidac promover a democratização das informações ambientais dos produtos de construção, é preciso capacitar os agentes do setor tanto para a inserção de dados no sistema quanto para a sua utilização como fonte informações. Para isso foram concebidas as Jornadas Setoriais de Baixo Carbono, uma iniciativa do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para sensibilizar, engajar e capacitar os agentes da cadeia produtiva da construção para atuar na economia de baixo carbono; além de estabelecer *benchmarks* setoriais fundamentais relativos ao consumo de energia primária e emissão de CO_2.

2. O QUE SÃO AS JORNADAS SETORIAIS DE BAIXO CARBONO?

As Jornadas visam preparar os agentes dos setores da cadeia produtiva da construção civil brasileira para permanecerem competitivos no novo cenário de economia de baixo carbono e consideram:

a) Capacitação de fabricantes para realização de inventários simplificados do

ciclo de vida de produtos da construção e emissão de dDAPs;

b) Desenvolvimento de ferramentas customizadas para facilitar a coleta de dados nas fábricas e a realização dos inventários;

c) Desenvolvimento de *benchmarks* setoriais;

d) Apoio na elaboração de metas e estratégias de descarbonização.

Os atores-chave das Jornadas são as empresas de materiais e componentes da construção: cimenteiras, siderúrgicas, centrais dosadoras de concreto, fabricantes de componentes como blocos cerâmicos e de concreto, elementos pré-fabricados, vidros, madeira, entre outros, impulsionados por suas entidades. Durante as Jornadas, os participantes aprendem e contribuem para a redução de consumos de insumos de produção e emissões de carbono por meio de análises, sob diversas perspectivas, dos indicadores elaborados ao longo do processo de *benchmark* setorial.

As Jornadas estão associadas ao Sidac por utilizar sua base de dados genéricos e método de cálculo dos indicadores, e por facilitar a submissão dos inventários necessários ao processo de emissão de dDAPs. Entretanto, elas vão além, uma vez que promovem um processo de aprendizagem contínua e coletiva, realizando estudos detalhados de cada setor e contribuindo para a elaboração de estratégias e metas de descarbonização da construção no Brasil.

3. ETAPAS DAS JORNADAS SETORIAIS

As etapas das Jornadas estão ilustradas na Figura 1. Sua rota é evolutiva, variando conforme as características dos produtos e o grau de maturidade do setor em termos de conscientização ambiental, economia de baixo carbono, análise de ciclo de vida, controle de consumos e emissões, e gestão de informações.

3.1 Conscientização do setor

A conscientização do setor é o primeiro passo para o início das Jornadas. Nessa fase, é essencial que as empresas tomem conhecimento da relação entre suas atividades e o aquecimento global. A mitigação das emissões depende da participação consciente e engajada de empresas que colaborem com subsídios para o desenvolvimento de estratégias assertivas e factíveis de implementação.

A formação de um conjunto de empresas, estimuladas pelas entidades representativas do setor, conforma-se como o cenário mais interessante para as Jornadas. A partir desse cenário, se viabiliza a obtenção de dados primários reais e representativos do segmento produtivo, além da realização do *benchmark* setorial, que irá ressaltar os desempenhos entre os fabricantes. Para auxiliar nessa etapa, são elaborados materiais de divulgação e apresentações que sinalizam conceitos, objetivos e etapas das Jornadas Setoriais.

3.2 Mobilização do setor

O sucesso de uma Jornada está vinculado à mobilização do setor envolvido. A atuação das associações setoriais é fundamental nessa tratativa, conduzindo e liderando a aproximação do CBCS com as empresas fabricantes associadas.

São realizadas reuniões com empresas e entidades para apresentação da Jornada e definição do plano de trabalho, bem como visitas às plantas fabris e consultas a especialistas do setor para maior entendimento de cada processo produtivo, finalizando com a formalização das adesões. Além disso, a equipe de execução da Jornada também deve contar com a participação de profissionais que tenham conhecimento ou experiência específica no setor e, nesse sentido, a necessidade de formação de pessoas deve ser rigorosamente avaliada para que possa ser planejada na etapa seguinte.

3.3 Preparação e formação de pessoas

Nesta etapa, são realizadas visitas às unidades fabris para ampliar o entendimento das pessoas envolvidas sobre o ciclo de vida produtivo e para que possam realizar o mapeamento dos fluxos de entradas e saídas, além de verificar a necessidade de dados primários e genéricos não inclusos no Sidac (BELIZARIO-SILVA *et al.*, 2022). Nessa fase, pode ser verificada a necessidade de realizar o inventário por etapas, identificando fluxos mais relevantes, facilitando a verificação inicial da consistência dos dados primários, como o balanço de massas. Com base nos dados fornecidos, poderá ser necessária a elaboração de questionários complementares para refinamento.

Uma vez definidos os dados necessários do inventário, é elaborada e fornecida aos fabricantes participantes da Jornada uma Ferramenta de Apoio customizada, de fácil entendimento e preenchimento para a coleta dos dados. Os objetivos dessa Ferramenta são: (i) coletar e avaliar a consistência dos dados fornecidos pelos fabricantes, (ii) compilar os dados elaborando

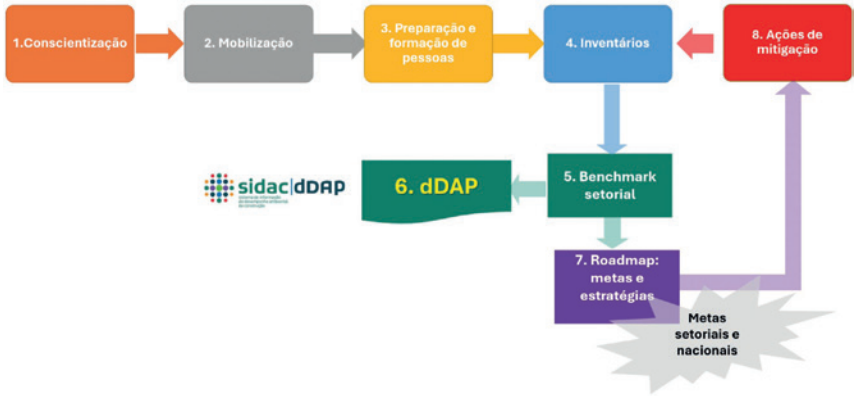


FIGURA 1
As etapas das Jornadas Setoriais de baixo carbono
Fonte: Os autores

estatísticas para análises que fundamentarão os *benchmarks* e, (iii) preparar os dados coletados nas fábricas para serem inseridos no Sidac pelas empresas, servindo como uma interface entre a linguagem dos fabricantes e o Sidac.

A Ferramenta de Apoio é validada pelas entidades participantes da Jornada com o objetivo de evitar inconsistências no momento do preenchimento pelas empresas, como erros de interpretação e/ou unidade de medida. Para isso, são fornecidos materiais de apoio e realizados treinamentos para as empresas e consultores das entidades, visando o preenchimento da Ferramenta e reforçando a capacitação dos profissionais de cada setor.

Além disso, é disponibilizado um *help desk* durante a etapa de coleta de dados de forma a minimizar dificuldades e agilizar a validação do inventário. Após o treinamento, existe uma etapa intermediária de teste da Ferramenta com algumas empresas antes do seu envio a todos os fabricantes. A intenção é identificar melhorias no processo de coleta de dados, verificar a necessidade de solicitação de informações adicionais, evitar erros ou incompatibilidades, simplificar a experiência do usuário, reduzindo falhas, inconsistências, dúvidas e retrabalhos.

Por se tratar e uma iniciativa bastante enriquecedora para todos os envolvidos, a divulgação da Jornada em feiras e eventos técnico-científicos do setor e de parceiros é estimulada.

3.4 Inventários

Após a validação e revisões necessárias, a Ferramenta de Apoio é enviada aos fabricantes para o seu efetivo preenchimento, sendo fundamental fixar um prazo para devolução do inventário. A cada envio, é realizada uma verificação dos dados e caso seja encontrada alguma inconsistência, o fabricante é contatado para correção e novo envio. Estando o inventário validado, a equipe executora, coordenada pelo CBCS, realiza os cálculos necessários para a configuração dos *benchmarks* que viabilizam as análises de desempenho ambiental dos produtos. Durante este processo, estratégias de amostragem para a realização de auditorias são definidas a partir da observação das informações recebidas e de como os inventários foram sendo absorvidos e compreendidos pelos participantes das Jornadas. As auditorias são realizadas por auditores de terceira parte, capacitados e selecionados de acordo com requisitos pré-estabelecidos conforme a especificidade de cada setor.

3.5 *Benchmarks* setoriais: divulgação e análises pelas empresas

Configurados os *benchmarks* do setor e realizadas as análises de desempenho das empresas participantes, os resultados são apresentados em reunião simultaneamente para todas as empresas participantes. As informações de consumo de insumos materiais, de energia e de emissões de CO_2 são apresentados por faixas de referência, constituídas pelos valores entre os mínimos e máximos obtidos. Conforme as particularidades de cada setor, o consumo de outros insumos, como a água, e a emissão de outros elementos, como resíduos, podem ser incluídos.

A apresentação dos resultados do *benchmark* setorial informa para cada empresa, de forma oculta por códigos, o seu comparativo com as demais, possibilitando identificar ineficiências no uso de recursos e oportunidades de melhorias de processos e produtos. Essas informações são essenciais para traçar rotas de mitigação, possibilitando inclusive estimar o potencial de redução das emissões de CO_2 e do consumo energia.

É importante ressaltar que a confidencialidade dos dados é assegurada durante todo o processo, incluindo a assinatura de termos de confidencialidade entre todos os envolvidos.

3.6 Emissão das dDAPs

Após a ação de *benchmarks* setorial, as empresas participantes estão capacitadas, instrumentalizadas e assim aptas para emitirem dDAPs dos seus produtos através do Sidac, caso desejem.

3.7 *Roadmap*: metas e estratégias

Os *benchmarks* setoriais são fotografias do setor e as suas referências para que possam elaborar *roadmaps* de descarbonização, definindo ações e metas evolutivas, setoriais e nacionais, também compatíveis com as demandas da sociedade e a sua prosperidade econômica. Uma vez implementadas tais ações, um novo *benchmark* poderá ser realizado.

3.8 Ações de mitigação

As ações de mitigação e descarbonização elaboradas com base no *roadmap*serão definidas de maneira particular para cada setor. Além disso, devem ter objetivos e prazos claros e bem definidos em cada continuidade de Jornada Setorial posterior.

4. INCUMBÊNCIA DOS INTERVENIENTES E EXPERIÊNCIA DA JORNADA

Nas Jornadas Setoriais, o CBCS configura-se como o coordenador geral da ação, sendo responsável pela formalização, gestão da informação e recursos financeiros, execução das etapas (conforme destalhado nos itens anteriores), publicação científica e institucional. As entidades têm papel fundamental na conscientização e na reunião das empresas para a consolidação dos grupos de trabalho que percorrerão as Jornadas. As empresas participantes são responsáveis pelo levantamento de seus dados de produção, auxiliados pela equipe executora do CBCS.

O setor de blocos de concreto teve seu primeiro *benchmark* setorial divulgado em 2014 com a publicação do relatório referente ao Projeto ACV Modular (JOHN *et al.*, 2016). O projeto foi realizado pelo CBCS em parceria com a Escola Politécnica da USP, a Associação BlocoBrasil e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Seu desenvolvimento pode ser considerado um piloto das Jornadas Setoriais, já que todo o aprendizado adquirido foi considerado na elaboração da metodologia aqui apresentada.

Em janeiro de 2024, o CBCS em parceria com a Associação BlocoBrasil, a ABCP, o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento/Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do

Estado de SP(Sinaprocim/Simprocim), iniciou os trabalhos, agora sob o método das Jornadas Setoriais de Baixo Carbono, contando com a participação de 26 empresas fabricantes de blocos, pisos e guias de concreto.

5. CONCLUSÕES

O artigo apresentou o conceito e a metodologia das Jornadas Setoriais de Baixo Carbono. As discussões realizadas com diferentes agentes e setores da cadeia produtiva da construção civil têm revelado que, além da conscientização sobre os impactos ambientais e as possibilidades de mitigação por meio de estratégias aplicadas aos processos produtivos, aos produtos e até mesmo à seleção de fornecedores, ainda é preciso formar as pessoas para que sejam capazes de realizar o mapeamento, a quantificação, a comunicação e a compreensão dos indicadores ambientais a eles relacionados para que as estratégias de mitigação sejam elaboradas.

Os desafios enfrentados na primeira Jornada em curso com o setor de blocos e pavimentos de concreto tem contribuído para aprimorar a metodologia em suas próximas edições. Há, portanto, um grande potencial de aprendizado e melhorias no setor da construção civil rumo descarbonização, e as Jornadas Setoriais de Baixo Carbono exercem esse papel de forma colaborativa e propositiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a parceria e apoio da Associação BlocoBrasil, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento (Sinaprocim), do Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de São Paulo (Sinprocim), e de todas as empresas participantes.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BELIZARIO-SILVA, F. *et al.* Sidac: Uma ferramenta simples para gestão do desempenho ambiental da construção brasileira. 2022.

[2] BELIZARIO-SILVA, F. *et al.* The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO_2 of Brazilian construction products. Journal of Cleaner Production, v. 421, p. 138461, out. 2023.

[3] GCCA. Cement Industry Net Zero Progress Report. London: Global Cement and Concrete Association, 2023.

[4] JOHN, V. *et al.* Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto Avaliação de Ciclo de Vida Modular. Brasil: CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2016.

[5] MME; CBCS. Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, 2022. Disponível em: <https://sidac.org.br>

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras

Elaborada pelo *CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*, a Prática Recomendada *"Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras"* indica métodos de ensaios para o controle da qualidade do CRF utilizado em estruturas de concreto reforçado com fibras e estruturas de concreto reforçado com fibras em conjunto com armaduras.

A Prática Recomendada aplica-se tanto a estruturas de placas apoiadas em meio elástico quanto a estruturas sem interação com o meio elástico.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-30-5
Edição: 1ª edição
Formato: eletrônico
Páginas: 31
Acabamento: digital
Ano da publicação: 2017
Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Patrocínio

Discussão sobre recomendações adicionais na ABNT NBR 6118:2023 para **projeto de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade (respingos de maré)**

JOSÉ DO PATROCÍNIO FIGUEIRÔA – Prof. – https://orcid.org/0009-0008-7218-3500 (patrofigueiroa@gmail.com) — **UFPE**

RESUMO

O presente artigo é fruto do entusiasmo e admiração pela leitura do livro do professor norueguês Odd E. Gjørv, descrito e analisado mais adiante, cujos conhecimentos representam um passo muito grande para o enfrentamento de problemas de ataque por corrosão severa por cloretos de partes da estrutura sujeitas a respingos de maré. Nos últimos anos, no exercício da atividade de projeto de estruturas de pontes, apareceram casos de ataque por corrosão severa em trechos de elementos de apoio, tipo tubulão ou estaca de grande diâmetro, em várias obras.

Esses casos acontecem, repetidamente, quando as pontes estão situadas atravessando um rio a poucos quilômetros de distância do mar, de tal forma que os elementos afetados estão sujeitos a respingo de maré.

Além da implicação direta na segurança da obra, o processo de deterioração acentuada cobra uma intervenção de recuperação de custo muito elevado. É preciso considerar que é provável que apareçam muitas pontes ao longo da costa brasileira, em situação semelhante, condenadas a sofrer as mesmas consequências. Vê-se que, em geral, apesar de os projetos terem sido feitos dentro dos parâmetros recomendados pela nossa ABNT NBR 6118, carecem de tratamentos e informações adicionais com relação à difusividade de cloretos como: a influência do tipo de cimento, do cobrimento e a da temperatura de cura e do entorno da obra.

Palavras-chave: cimento com adições minerais, concreto sujeito à respingos de maré, ataque por corrosão severa por cloretos.

1. INTRODUÇÃO

Os ensinamentos apresentados em Gjørv (2015) representam um enorme avanço para o entendimento do papel de cada componente na previsão da durabilidade das obras futuras, em ambiente de severa agressividade.

Fica demonstrado, de forma qualitativa e quantitativa, a importância do tipo de cimento usado na composição do concreto, a importância do cobrimento e a importância da temperatura no ambiente no entorno da obra, com relação à difusividade de cloretos.

Fica evidenciado, também, que um parâmetro importante como a resistência à compressão do concreto que vai ser utilizado na ponte, com parte de sua estrutura sujeita à variação de maré, não é suficiente na previsão de vida útil, porque, nesse caso, a preocupação mais relevante deveria ser a resistência do concreto à penetração de cloretos.

Essa mudança de conceito deverá gerar, em futuro próximo, discussões importantes e necessárias visando promover adequações no texto da ABNT NBR 6118.

Todos esses novos ensinamentos teóricos e práticos foram embasados em extenso programa de pesquisas, conduzido pelo professor Odd E. Gjørv da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, em parceria com a Universidade Tecnológica de Nanyang Singapura.

O programa foi implantado no início dos anos 1960, para investigar o desempenho de estruturas de concreto no mar do Norte, relacionado com a vida útil dessas obras.

Entre 1962 e 1968, foram pesquisadas 219 estruturas em situação de severa agressividade.

2. RELATOS SOBRE PESQUISAS FEITAS EM LABORATÓRIO

A seguir, vamos apresentar resultados de pesquisas em laboratório, importantíssimos no sentido de mostrar, quantitativamente, as influências do tipo de cimento utilizado, bem como da temperatura de cura, na resistência do concreto à penetração de cloretos.

2.1 Pesquisas sobre a influência do tipo de cimento na resistência à penetração de cloretos

Foram considerados 4 tipos de cimento:

- **GGBS1** – Similar ao CP II-E-40 (34 % de escória) no Brasil.
- **GGBS2** – Similar ao CP III-40 (70 % de escória) no Brasil.
- **HPC** – Similar ao CP V no Brasil – Cimento Portland puro.
- **PFA** – Similar ao cimento CP II-Z-40 (18 % de cinzas volantes) no Brasil.

O gráfico da Figura 1 mostra a resistência à penetração de cloretos para uma mesma composição do concreto, com relação água/aglomerante 0,45, usando os 4 tipos de cimento.

Observa-se, no gráfico, que os dois

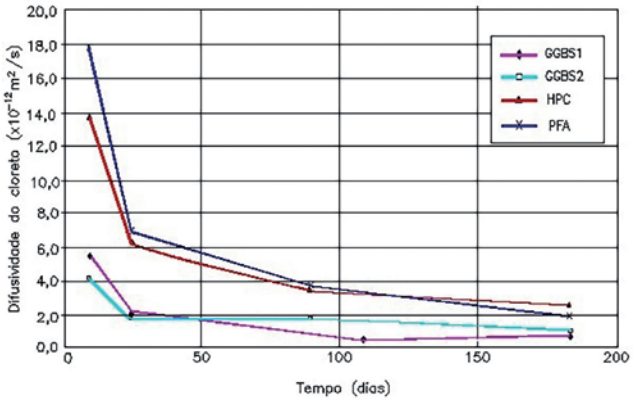


FIGURA 1
Efeito do tipo de cimento na resistência do concreto à penetração de cloretos, com a relação água/aglomerante de 0,45
Fonte: Gjørv (2015)

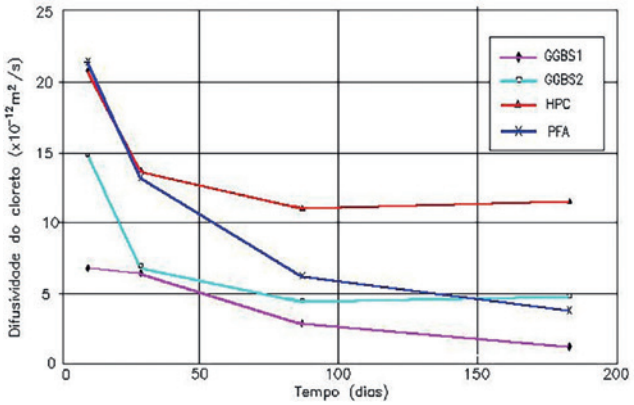


FIGURA 2
Efeito do tipo de cimento na resistência do concreto à penetração de cloretos, com a relação água/aglomerante de 0,38
Fonte: Gjørv (2015)

cimentos com escória (GGBS1 e GGBS2) apresentam menor difusividade de cloretos.

Isso acontece porque a escória moída, ao ser hidratada funciona como um novo aglomerante, tornando mais difícil a penetração de cloretos.

A Figura 2 mostra o desempenho dos mesmos cimentos com relação água/aglomerante de 0,38.

Ensaios feitos por Thomas, Bremner, Scott (2011) mostraram que, quando a relação água/aglomerante foi reduzida de 0,50 para 0,40, a difusividade do cloreto usando cimento Portland puro foi reduzida por um fator de 2 a 3, enquanto pode ser reduzida por um fator até 20 vezes, quando é feita adição de materiais cimentícios (escória, cinzas volantes ou sílica ativa).

Outras experiências feitas por Bijen, (1998) mostraram que, com os mesmos cimentos anteriores e baixando a relação água/aglomerante de 0,45 para 0,35, a difusividade de cloreto pode ser reduzida por um fator de até 50 vezes.

2.2 Pesquisas sobre a influência da temperatura na resistência à penetração de cloretos

A Figura 3 mostra o efeito da temperatura de cura na difusividade de cloretos para 4 tipos de cimento.

Observa-se que, tanto o cimento com escória (GGBS), como o cimento com cinzas volantes (PFA), apresentam menor difusividade de cloretos porque os aditivos (escória ou cinzas volantes), funcionam como um novo aglomerante, aumentando a resistência do concreto à penetração de cloretos.

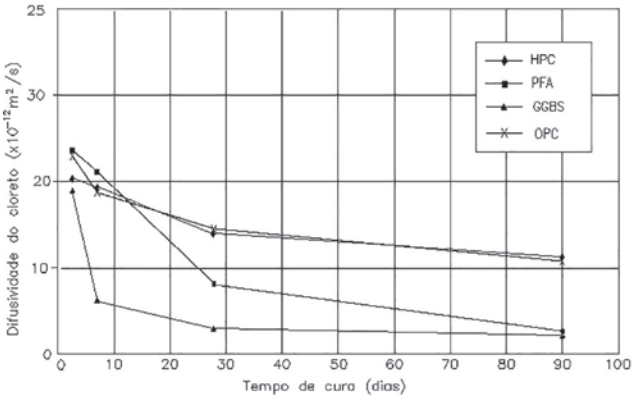


FIGURA 3
Efeito do tipo de cimento na resistência do concreto contra a penetração do cloreto, numa temperatura de cura de 20° C
Fonte: Gjørv (2015)

- **GGBS** – Similar ao CP III-40 (70 % de escória) no Brasil.
- **HPC** – Cimento Portland puro Similar ao CP V no Brasil.
- **OPC** – Cimento Portland puro Similar ao CP I no Brasil.
- **PFA** – Similar ao cimento CP II-Z-40 (18 % de cinzas volantes) no Brasil.

3. MODELO MATEMÁTICO (ESTATÍSTICO) PARA NOVOS PROJETOS DE DURABILIDADE

Gjørv (2015) faz referência a um modelo matemático, criado por Collepardi, Marcialis e Turriziani (1970), para estimar o tempo necessário para os cloretos atingirem as armaduras, atravessando o cobrimento, de certa quantidade de concreto, em determinado ambiente.

Mais tarde, concluiu-se que o método não servia para estimar a vida útil das estruturas.

O próximo passo foi observar que os parâmetros de entrada para calcular a taxa de penetração de cloretos através do cobrimento mostravam muita dispersão e variabilidade.

Observando que muitas normas atuais adotam um critério estatístico que estabelece um teto de 10 % de probabilidade de falha no ELS (enfoque de vida útil), também foi adotado um teto superior de 10 % de probabilidade para

o começo da corrosão, como base para projetos de durabilidade.

Foi feita, então, uma combinação do modelo inicial com o cálculo probabilístico, para poder avaliar a probabilidade de um volume crítico de cloretos atingir a armadura durante a vida útil da estrutura, em determinado ambiente.

4. APLICAÇÃO DOS NOVOS CONHECIMENTOS A UMA ESTRUTURA PORTUÁRIA DE CONCRETO

Foram produzidas 4 composições de concreto, usando 4 tipos de cimento comercial.

Todas as composições de concreto tiveram 390 kg/m³ de cimento com 39 kg/m³ de sílica ativa (relação água/aglomerante 0,38).

Todas as misturas atendiam aos requisitos das normas europeias para uma vida útil de 100 anos.

Os 4 tipos de cimento foram:

- **Tipo 1** – cimento Portland puro de alto desempenho (CEM I 52,5 LA)
- **Tipo 2** – cimento Portland composto com 20 % de cinzas volantes (CEM II/A V 42,5 R)
- **Tipo 3** – cimento de escória (34 %) – (CEM II/B-S 42,5 R NA)
- **Tipo 4** – cimento de escória (70 %) – (CEM III/B 42,5 LH HS)

4.1 Efeito da qualidade do cimento na probabilidade de corrosão

Nas Figuras 4, 5 e 6, vemos a previsão de vida útil para as 4 composições do concreto com os 4 tipos de cimento.

Fica evidente a enorme diferença na previsão de vida útil, em função da especificação do tipo de cimento.

Partindo da condição de que a máxima probabilidade de corrosão aceita é de 10 %, e observando o cruzamento das curvas para os diversos cimentos com a linha dos 10% de probabilidade, temos a previsão de vida útil para cada caso, conforme mostrado na Figura 4: Exemplo 1 - temperatura média (10° C).

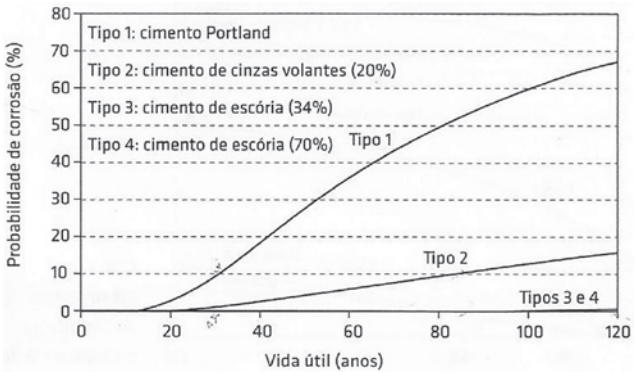


FIGURA 4
Efeito do tipo de cimento na probabilidade de corrosão (10° C)
Fonte: Gjørv (2015)

Temos:

- **Cimento Portland puro** – vida útil 30 anos
- **Cimento com cinzas volantes** – vida útil 80 anos.
- **Cimento de escória 34 % ou 70 %** – vida útil acima de 120 anos

Figura 5: Exemplo 2 - temperatura média (20° C).

Temos:

- **Cimento Portland** – vida útil 14 anos
- **Cimento com cinzas volantes** – vida útil 30 anos.
- **Cimento de escória 34 % ou 70 %** – vida útil acima de 120 anos

Figura 6: Exemplo 3 - temperatura média (30°C).

Temos:

- **Cimento Portland** – vida útil 4 anos
- **Cimento com cinzas volantes** – vida útil 12 anos
- **Cimento de escória 34 %** – vida útil 70 anos
- **Cimento de escória 70 %** – vida útil 75 anos

4.2 Efeito do cobrimento na probabilidade de corrosão

Para estruturas de concreto com elementos sujeitos a severa agressividade, como variação de maré, a orientação por

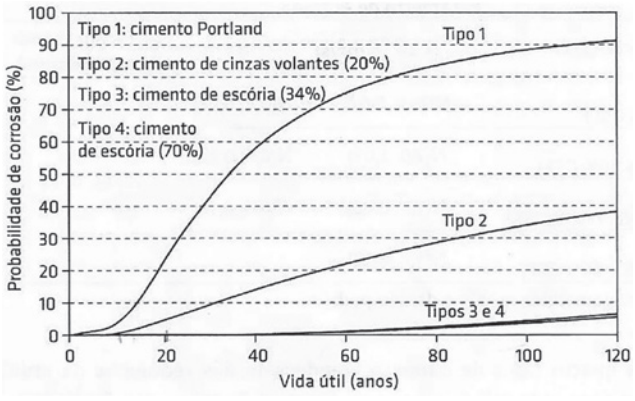


FIGURA 5
Efeito do tipo de cimento na probabilidade de corrosão (20° C)
Fonte: Gjørv (2015)

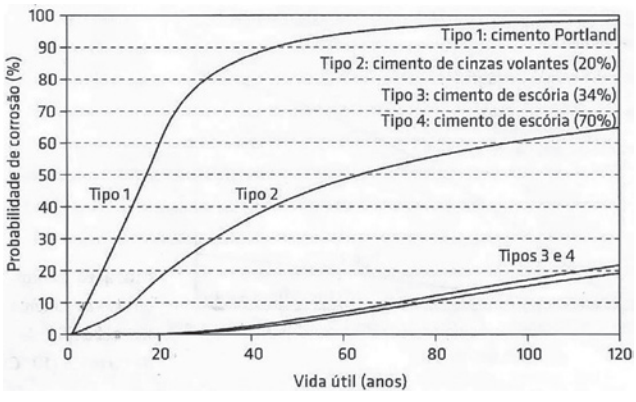


FIGURA 6
Efeito do tipo de cimento na probabilidade de corrosão (30° C)
Fonte: Gjørv (2015)

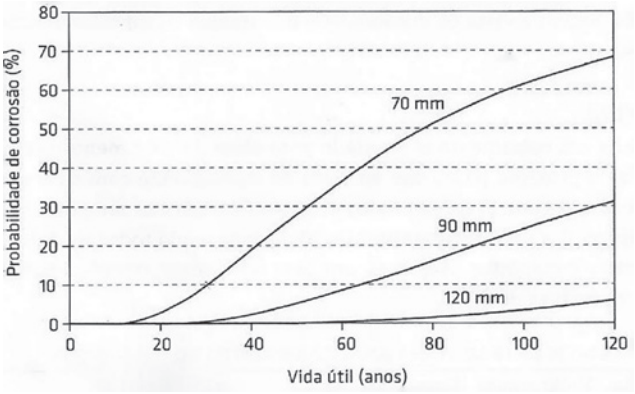


FIGURA 7
Efeito do cobrimento na probabilidade de corrosão
Fonte: Gjørv (2015)

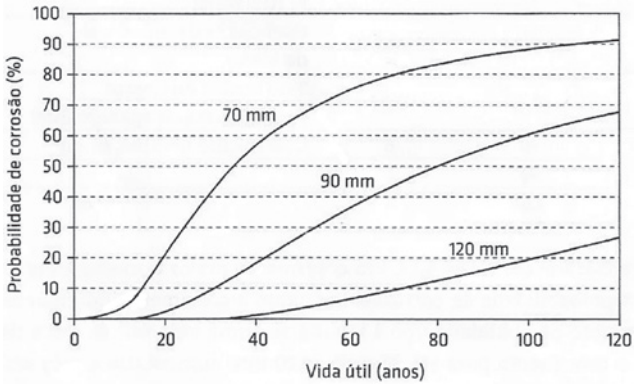


FIGURA 8
Efeito do cobrimento na probabilidade de corrosão
Fonte: Gjørv (2015)

parte dos novos conhecimentos, é usar cobrimentos mínimos de 70 mm e para evitar fissuras no cobrimento uma das orientações é usar concreto reforçado com fibras sintéticas.

Foi utilizado o mesmo concreto com cimento Tipo 1 (cimento Portland puro) para diferentes cobrimentos.

As Figuras 7 e 8 mostram que, mesmo usando 70 mm de cobrimento, a vida útil das estruturas em ambiente de severa agressividade, quando se usa um concreto com cimento Portland puro, fica muito prejudicada.

Figura 7: Exemplo 1 - temperatura media no entorno da obra (10° C)

Temos:

- **Cobrimento 70 mm** – vida útil 30 anos
- **Cobrimento 90 mm** – vida útil 65 anos
- **Cobrimento 120 mm** – vida útil acima 120 anos

Figura 8: Exemplo 2 - temperatura média no entorno da obra (20° C)

Temos:

- Cobrimento 70 mm – vida útil 14 anos
- Cobrimento 90 mm – vida útil 30 anos.
- Cobrimento 120 mm – vida útil 70 anos

Observando o cruzamento da linha da probabilidade de 10% com as curvas correspondentes aos diversos cobrimentos, temos as previsões da vida útil mostradas para os dois gráficos.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Descrição do modelo da estrutura da ponte

Trata-se de uma ponte que foi projetada em 2001e inaugurada em 2004, com 14 vãos de 41 m, atravessando um rio em um lugar distante 6 km do mar.

As Figuras 9 e 10 mostram um corte longitudinal esquemático e a seção transversal.

O sistema construtivo utilizou vigas pré-moldadas em concreto protendido executadas em canteiro numa cabeceira da obra e colocadas na ponte através do

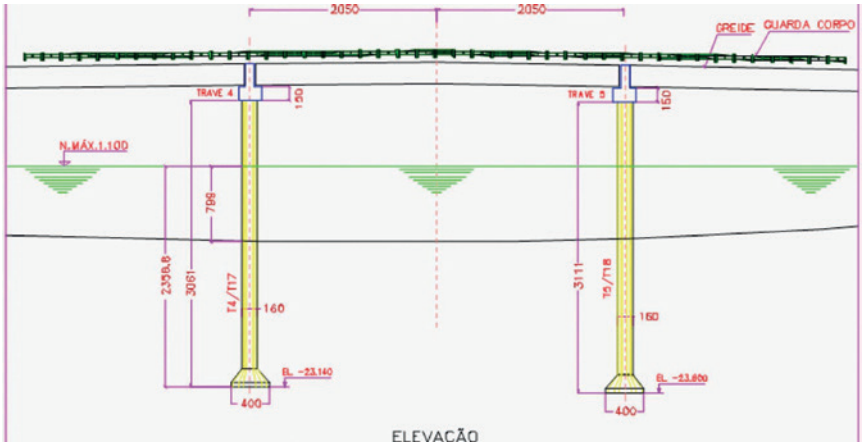


FIGURA 9
Longitudinal esquemático
Fonte: O Autor

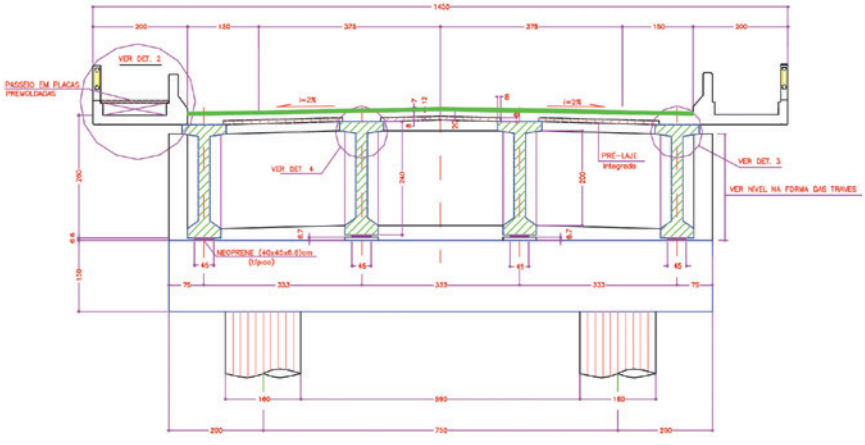


FIGURA 10
Seção transversal
Fonte: O Autor

FOTO 1
Vista geral da obra
Fonte: O Autor

FOTO 2
Detalhe ampliado mostrando desplacamento e corrosão acentuada
Fonte: O Autor

FOTO 3
Amostra do trecho afetado (zona de variação de maré)
Fonte: O Autor

sistema de treliça lançadeira, com uso posterior de pré-lajes.

A fundação foi em tubulão (ø 1,60 m), funcionando também como pilar com travessa superior ligando dois a dois tubulões, para apoio das vigas.

Na época (2001), o projeto seguiu as especificações da norma ABNT NBR 6118:1980, numa fase em que ainda não existiam as definições de Classes de Agressividade Ambiental.

5.2 Problemas relatados em 2017

No ano de 2017, foi feita uma vistoria na obra, com a informação sobre o aparecimento de problemas graves nos tubulões, após 13 anos de construção.

A Foto 1 mostra a boa qualidade do concreto da estrutura, em comparação com os tubulões no trecho de variação de maré.

A Foto 2 mostra o resultado do ataque severo de cloretos, no concreto dos tubulões no trecho de variação de maré.

A Foto 3 mostra o trecho de variação de maré bem definido.

Fica evidente que houve um ataque severo no trecho de variação da maré, com desplacamento do concreto do cobrimento e corrosão acentuada da armadura.

Foi feito um Relatório (O Autor) sobre as causas do problema, cujas principais ponderações foram as seguintes:

- O problema aconteceu em consequência de ataque severo por cloretos (alta concentração por conta da proximidade do mar), no trecho de variação de maré, que fica muito bem definido na superfície do tubulão.
- Mesmo aplicando os critérios da norma ABNT NBR 6118:2003, e, de acordo com Gjørv (2015), para esse tipo de situação o risco de redução da vida útil continua.
- A situação era gravíssima e era necessário adotar um planejamento urgente e emergencial, com encamisamento dos tubulões.

5.3 Exercício para aplicação dos novos conhecimentos ao Estudo de Caso, usando a ABNT NBR 6118:2023

Será feita previsão de vida útil usando concreto com 40 MPa e cobrimento 50 mm, conforme a norma, admitindo

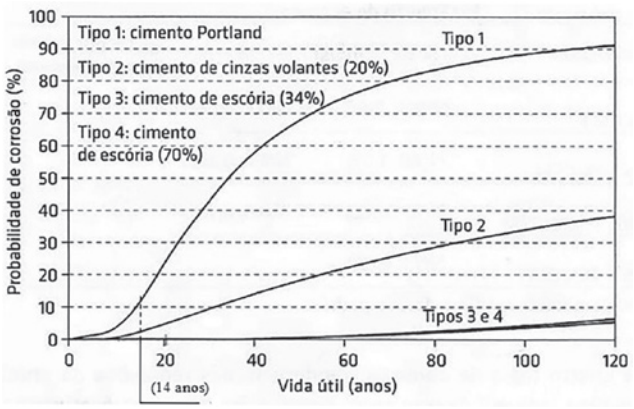


FIGURA 11
Efeito do tipo do cimento na probabilidade de corrosão (20° C)
Fonte: Gjørv (2015)

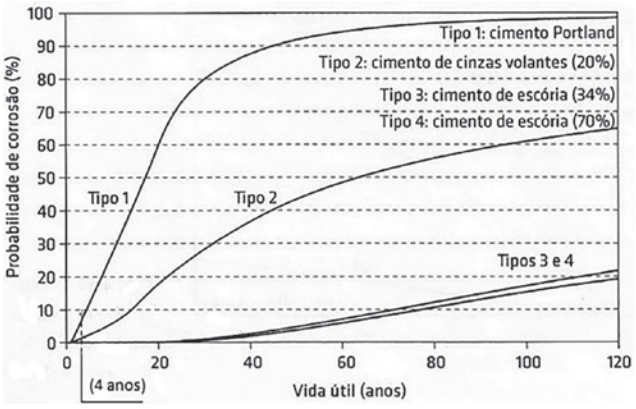


FIGURA 12
Efeito do tipo do cimento na probabilidade de corrosão (30° C)
Fonte: Gjørv (2015)

que o cimento utilizado seja Tipo 1 (a norma não especifica o cimento).

A observação importante é que os gráficos de previsão de vida útil mostrados em Gjørv (2015), são para cobrimento de 70 mm, enquanto os cobrimentos usados na obra foram de 50 mm, portanto nessa aproximação, a previsão de vida útil encontrada será maior que a da obra.

O livro mostra a previsão de vida útil para 20° C e 30° C de temperatura média anual, no entorno da obra.

Portanto, deveremos fazer nova aproximação porque, no caso em estudo, a média pode ser considerada como 25° C aproximadamente.

Teríamos: vida útil de 14 anos para cimento Tipo 1 (Figura 11).

No caso da Figura 12, teríamos: vida útil 4 anos.

Ou seja, a vida útil (média) seria, aproximadamente, 9 anos (para cobrimento de 70 mm).

Para 50 mm de cobrimento seria menor ainda, o que parece estar coerente com a situação do Estudo de Caso. (Execução dos tubulões 2003 – problema apresentado em 2017, podendo ter começado bem antes).

6. CONCLUSÕES

As análises resumidas dos principais tópicos de Gjørv (2015), apresentadas ao longo do artigo, mostram que estamos diante de uma verdadeira mudança de procedimentos , em relação ao enfrentamento das dificuldades inerentes ao projeto e à execução de estruturas de concreto situadas em ambientes de severa agressividade, principalmente nos casos mais comuns de pontes com elementos de apoio sujeitos a refluxo de maré, bastante comuns ao longo da costa brasileira.

A principal mudança de paradigma é que, tomando o exemplo do ataque por respingos de maré, escolhemos um concreto de 40 MPa e um cobrimento de 50 mm, conforme a ABNT NBR 6118:2023; no entanto, a partir dos novos conhecimentos constantes no livro, é possível ver que, fabricando um concreto de 40 MPa, utilizando cimento sem adições, como escória de alto-forno, cinzas volantes etc, o primeiro concreto vai apresentar uma resistência à penetração de cloretos muito menor que o concreto com cimento com adições.

O exercício apresentado para o nosso Estudo de Caso mostra uma expectativa de vida útil muito baixa, inaceitável, para o concreto com cimento sem adições.

Sabe-se que é possível atender aos atuais critérios da norma, em relação à resistência do concreto (40 MPa) e cobrimento (50 mm), usando cimento sem adições.

Portanto, enquanto não houver referência adicional ao tipo de cimento, na ABNT NBR 6118:2023, corremos o risco de continuar projetando e construindo obras em situação semelhante ao nosso Estudo de Caso, com baixa expectativa de vida útil.

A continuação dessa falta de recomendação adicional pode acarretar sérios problemas de intervenção cara, apuração de responsabilidades e desgastes para o Setor Público, projetistas e construtores.

A principal razão para a elaboração desse artigo é alimentar uma discussão equilibrada e urgente envolvendo os colegas das áreas de projeto e tecnologia de concreto, no sentido de aprofundar as análises a respeito dos novos conhecimentos e viabilizar adequações nos textos normativos, visando uma melhoria na expectativa de vida útil nas futuras estruturas a serem executadas em situação de severa agressividade.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118:2023 Projeto de Estruturas de Concreto.
[2] Bijen, J.M. Blast Furnace Slag for Durable Marine Structures. VNC/BetonPrisma, Hertogenbosch, 1998.
[3] Collepardi, M., Marcialis, A., and Turriziani, R. Kinetics of Penetration of Chloride Ions in Concrete, l'Industria Italiana del Cemento, 4, 157-164, 1970.
[4] Gjørv, O.E. Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments, Trondheim, Norway, 2008.
[5] Gjørv, O.E.- Projeto da Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambientes de Severa Agressividade.
[6] Tradução: Leda Maria M. D. Beck. Supervisão técnica: Enio Pazini e Paulo Helene, Oficina de Textos, São Paulo, 2015.
[7] Thomas, M. D. A., Bremner, T., and Scott, A.C.N. Actual and Modeled Performance in a Tidel Zone. Concrete International, 33(11), 23-28, 2011.

Potencial de uso da Declaração Ambiental de Produto (DAP): **um caso real sob a perspectiva técnica, ambiental e mercadológica aplicada ao concreto**

IGOR FERRAZ TORRES – Gerente Técnico Nacional – https://orcid.org/0000-0003-3187-9575 (igorferraz86@gmail.com) ;
FERNANDO CÂNDIDO – Key Account Manager Ready Mix ; **SAMANTHA AFONSO** – Product Sustainability — **Sika Brasil S/A**
JORGE ESQUEDA – Gerente de Especificaciones Ventas — **Sika Mexicana S.A.**
GUILHERME CHAVES GOMES – Especialista em tecnologia do concreto e mineração ; **WESLEY DA SILVA** – Coordenador Técnico ;
MATHEUS HENRIQUE CANDIDO MONTENEGRO – Coordenador Técnico — **Concreserv**

RESUMO

Diante das inúmeras catástrofes climáticas e da grande parcela da responsabilidade do impacto ambiental atribuída à indústria da construção civil, é cada vez mais crescente a exigência do mercado por construções efetivamente sustentáveis. Nesse contexto, neste trabalho será apresentado um caso real da aplicação dos conceitos de avaliação do ciclo de vida (ACV) e declaração ambiental de produto (DAP) em concreto usinado, fruto de uma parceria desenvolvida entre um dos maiores grupos concreteiros do país (Concreserv) e o seu fornecedor de aditivos químicos (Sika). Até onde é de conhecimento dos autores, tal trabalho é inédito no que envolve membros da cadeia (produtor de aditivos e concreto) e reforça a criação de um benchmark fundamental para análises comparativas de ecoeficiência entre diferentes composições de concretos para um mesmo desempenho, permitindo ao consumidor a comparação da pegada ambiental de cada concreto proveniente de fontes distintas do mercado.

Palavras-chave: avaliação de ciclo de vida (ACV), declaração ambiental de produto (DAP), certificação, sustentabilidade, concreto usinado.

1. INTRODUÇÃO

Não é de hoje que as mudanças climáticas têm sido alertadas e que poderão ocorrer como consequência da falta de ação e omissão da humanidade em termos de providências quanto ao seu impacto no meio ambiente. Prova disso é a frequente enxurrada de notícias cotidianas sobre as catástrofes globais e eventos climáticos extremos. Segundo os cientistas da World Weather Attribution, se o mundo continuar a queimar combustíveis fósseis, a probabilidade da ocorrência de eventos pluviométricos devastadores aumentará de 15% a 25%. Como exemplo local, no Brasil ocorreram 12 eventos climáticos extremos somente em 2023, segundo dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (*GREEN BUILDING COUNCIL*, 2024).

A corrente crise ambiental está atrelada a um desenvolvimento predatório, com meios de produção incoerentes com a capacidade de regeneração do planeta e consequentes impactos associados (TIMM e PASSUELLO, 2021). Para ciência, o setor da construção civil é um dos mais poluentes do mundo, sendo responsável por 34% da demanda mundial de energia e 37% das emissões globais totais de carbono, gerando assim impactos consideráveis ao meio (UNEP, 2024). É de amplo conhecimento que o cimento Portland, bem como o concreto, são os materiais artificiais mais consumidos no mundo, tidos como grandes vilões do meio ambiente por gerarem quantidades significativas de gás carbônico, um dos principais causadores do efeito estufa.

A mineração de bens da construção civil, como a argila, calcário, agregados e principalmente a areia causam grandes impactos ao meio ambiente. Já em 2014, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente publicou um relatório intitulado "Areia, mais rara do que se pensa" (UNEP, 2014), que concluiu que a mineração de areia excede em muito as taxas de renovação natural e que a quantidade minerada está aumentando exponencialmente, ocasionando a escassez de areia de alta qualidade, sendo um desafio na indústria da construção. Contudo, atenção merece ser dada aos agregados, vide que para cada tonelada de cimento, a indústria da construção necessita de cerca de seis a sete vezes mais toneladas de areia e brita para produção de concreto (USGS, 2013).

Nesse contexto, é através da necessidade de otimização do uso de materiais, processos, uso e manutenção das edificações no que tange à sustentabilidade, respaldada pelo tripé econômico, social e ambiental, que surge a Análise do Ciclo de Vida (ACV), do inglês *Life Cycle Assessment* (LCA). Entre diversas metodologias, essas são normatizadas e adequadas para avaliação e quantificação dos impactos ambientais de materiais mapeados do berço (extração

das matérias primas da natureza) ao túmulo (disposição do produto final).

Assim, existe a necessidade da avaliação dos impactos ambientais causados pelo ciclo de vida do concreto, para o então estabelecimento de estratégias de diminuição de impactos ambientais em cada fase de seu ciclo de vida, corroborando com a possibilidade e conciliação de práticas sustentáveis com objetivos econômicos.

Países desenvolvidos já utilizam a ACV como critério de importação baseado na ISO 14040 (ABNT, 2014). Tendo em vista isso, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) inseriu o Brasil na Plataforma Internacional do Ciclo de Vida, buscando a manutenção de sua competitividade mundial (CAMPOS, 2012). Constantemente há os casos de *Greenwashing*, expressão em inglês que representa a venda de produtos com o rótulo de sustentáveis, porém apenas uma etapa do seu ciclo de vida é sustentável, ignorando-se os demais impactos ambientais causados pelo produto como um todo. Portanto, uma tomada de decisão adequada na seleção de fornecedor ou de produto baseado em critérios ambientais requer uma análise multidimensional como a propiciada pela análise do ciclo de vida (JOHN, 2011).

É evidenciada a importância da ACV para a escolha de produtos, como base de comparação entre produtos utilizados para uma mesma função por iguais períodos. Além disso, a ACV é fundamental para elaboração das chamadas Declarações Ambientais de Produtos (DAP), do inglês *Enviromental Product Declaration* (EPD), documentos que descrevem quantitativamente os impactos ambientais dos produtos e que hoje já acompanham tendenciosamente a documentação técnica de qualquer material (JOHN, 2011).

O fato é que o crescimento populacional e a urbanização têm impulsionado o mercado de construções sustentáveis, o que demanda materiais com menor impacto ambiental e devidamente certificados em prol da melhoria das construções em termos de sustentabilidade. Prova disto é a considerável evolução dos números de certificações verdes no Brasil, cujo crescimento foi de 45% em 2019 e 28% em 2020, nas certificações LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), *GBC Zero Energy*, GBC Casa & Condomínio e *Life* (GBC, 2022). Tais certificações estão correlacionadas a ACV e DAP, sendo créditos e requisitos essenciais para pontuação na obtenção de tais certificações, incentivando assim a divulgação e otimização dos produtos da construção com as Declarações Ambientais dos Produtos. A ideia é incentivar a utilização de materiais cujas informações sobre o ciclo de vida estejam disponíveis, possibilitando que equipes de projeto priorizem, para a seleção de produtos, aqueles fabricantes já verificados e que apresentam menores impactos ambientais do ciclo de vida.

Importante salientar que recentemente foi criada a plataforma SIDAC, Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, a qual permite calcular indicadores de desempenho ambiental de produtos de construção com base em dados brasileiros e nos conceitos da ACV. Conceitualmente, a primeira versão do SIDAC busca a simplificação e o apoio na tomada de decisão do dia a dia de fabricantes e construtores no que tange à pegada ambiental de cada produto, contemplando os indicadores prioritários de demanda de energia primária e emissão de CO_2, do berço ao portão da fábrica (SIDAC, 2024).

É nesse enredo que foi desenvolvido um trabalho conjunto entre a Sika, fabricante de aditivos, e a Concreserv, um dos maiores grupos concreteiros do Brasil, na avaliação de ciclo de vida e declarações ambientais de produtos da linha de concretos especiais AXIA, cuja metodologia e resultados serão mostrados nos tópicos a seguir. Tal ação é de suma importância para o posicionamento estratégico e competitividade desse grupo concreteiro, permitindo-o fornecer concretos especiais para um grupo seleto de empreendimentos que já prezam e buscam concretos provenientes de fornecedores formalmente acreditados para cumprimento de créditos e certificações sustentáveis.

2. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS DO PROJETO

Comprometido com o sucesso do cliente e com a crescente demanda por certificações de edificações sustentáveis, a Concreserv estabeleceu um plano de trabalho para tal sob o suporte direto da Sika, tanto das áreas técnicas de aditivos quanto de sustentabilidade. Em resumo, o projeto teve como objetivo registrar as declarações ambientais de 4 produtos do portfólio que compõe a linha comercial AXIA. São eles: AXIA FCK 35 MPA B01 S160; AXIA FCK 40 MPA B01 S160; AXIA FCK 50 MPA B01 S160 e AXIA FCK 80 MPA B01 S160, válidos para as unidades da Grande São Paulo.

Tais DAPs do tipo III foram verificadas e publicadas de acordo com a ISO 14025 (ABNT, 2015) por um verificador terceiro independente (EPD Hub Limited), com escopo *Cradle to Gate* (Berço ao Portão), com módulos C1-C4 e D, revisando resultados, documentos e conformidade com as normas de referência ISO 14025, ISO 14040 (ABNT, 2014) e ISO 14044 (ABNT, 2014), seguindo o processo, as listas de verificação do operador do programa para tais Declarações Ambientais de Produtos, as Avaliações dos Ciclos de Vida usados nestas DAPs e, por fim, os dados de fundo digital. Estas DAPs abrangem os módulos do ciclo de vida listados na Tabela 1.

TABELA 1
Módulos de ciclo de vida considerados para as DAPs da linha AXIA

Product stage			Assembly stage		Use stage							End of life stage				Beyond the system boundaries		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
x	x	x	x	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	x	x	MNR	x	MNR		
Raw materials	Transport	Manufacturing	Transport	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstr./demol.	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse	Recovery	Recycling

Legenda: MND – Módulo Não Declarado; MNR – Módulo Não Relevante

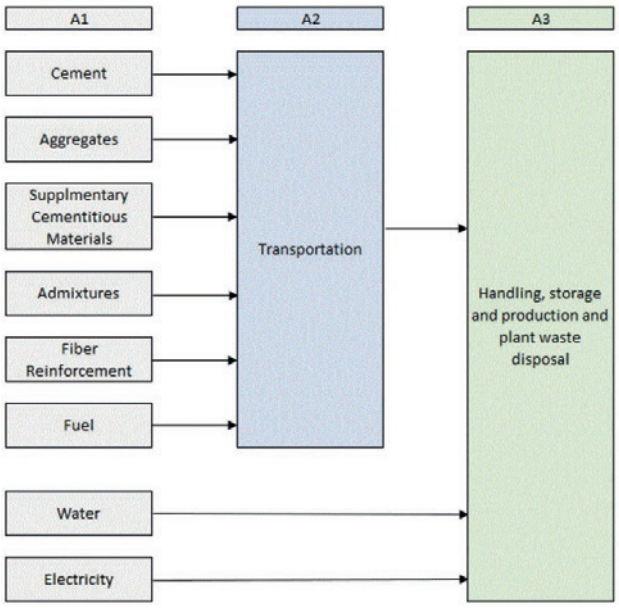


FIGURA 1
Fluxo do processo produtivo dos concretos da Concreserv linha AXIA para desenvolvimento das DAPs

Especialmente nos módulos A1-A3 que envolvem a etapa de fabricação, os impactos ambientais considerados para o estágio do produto abrangem a fabricação de matérias-primas usadas na produção, bem como materiais auxiliares. Além disso, os combustíveis usados por máquinas e o manuseio de resíduos formados nos processos de produção nas instalações de fabricação são também incluídos neste estágio.

Os produtos são feitos de areia e agregados artificiais (extraídos de formações rochosas naturais e reduzidos a tamanhos utilizáveis, por britagem mecânica em pedreira local, com areia a 180 km de distância e agregados artificiais a 22 km de distância), cimento (fabricado localmente, com 317 km de distância), aditivos químicos (provenientes da Sika Brasil) e água (obtida diretamente da rede de abastecimento local). Os ingredientes são transportados de sua fonte para a unidade de produção e armazenados em silo, baias e tanques.

Na planta de concreto, cada matéria-prima é pesada automaticamente e é alimentada seguindo a receita do concreto inserida em seu sistema mestre, para o qual extrai os pesos necessários de cimento, agregados, água e aditivos. Os agregados são a matéria-prima de maior volume e, portanto, são continuamente alimentados em seus silos de armazenamento por meio da operação de um carregador frontal que os transporta de seus respectivos compartimentos de armazenamento para uma correia transportadora que alimenta cada silo. A umidade dos agregados é controlada periodicamente para ajustar a quantidade de água incorporada à mistura. Uma vez que os componentes do concreto são carregados, eles são alimentados no balão giratório montado no chassi do caminhão betoneira, procedendo a mistura. Um fluxo resumo dos módulos A1-A3 relativos ao processo produtivo é mostrado na Figura 1.

Os impactos de transporte (módulos A4-A5) ocorridos da entrega dos produtos finais ao canteiro de obras (A4) cobrem emissões diretas de escapamento de combustível, impactos ambientais da produção de combustível, bem como emissões de infraestrutura relacionadas. São considerados o tipo de combustível e o consumo do veículo usado para transporte, caminhão betoneira, agregados ou caminhão de cimento. A distância entre a usina e o canteiro de obras é assumida como 50 km (média declarada). A montagem não é coberta nestas DAPs (módulo A5).

No fim da vida útil, os componentes feitos de concreto serão desconstruídos e coletados como resíduos de construção separados. Em elementos de concreto armado, o concreto e o aço de reforço são separados antes do processamento posterior. Máquinas de construção, operando com óleo diesel, são usadas para demolição de edifícios. O consumo de energia de um processo de demolição é em média 0,07 MJ/kg de concreto com base no EUR 29123 Modelo Europeu para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de edifícios (C1). Os pedaços de concreto britados são transportados com caminhões para a planta de tratamento de resíduos de construção mais próxima. Nestas DAPs, foi considerada uma distância de 50 km entre os canteiros de obras e as plantas de tratamento de resíduos (C2). Embora o concreto possa ser geralmente reciclado e reutilizado (C3), a reciclagem não é uma prática típica no Brasil. Portanto, o módulo C3 é marcado como MNR (módulo não relevante). Em vez disso, considera-se que 100% dos resíduos de concreto acabam em aterros sanitários no Brasil (C4). Como o material não é reciclado ou reutilizado nestas DAPs, o módulo D é marcado como MNR.

É sabido que uma Declaração Ambiental de Produto é um relatório que contém informações quantitativas de impactos ambientais associados a um determinado produto ou processo, baseado na metodologia de avaliação de ciclo de vida. Como exemplo, dados de impacto ambiental do concreto AXIA F_{ck} 80 MPA B01 S160 são mostrados abaixo na Tabela 2.

TABELA 2
DAP/EPD: Dados de impacto ambiental - AXIA FCK 80,0 MPA B01 S160

ENVIRONMENTAL IMPACTS – EN 15804+A1, CML / ISO 21930

Impact category	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Global Warming Pot.	kg CO_2e	4.18E+02	2.93E+01	5.22E-01	4.48E+02	1.12E+01	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	1.53E+01	1.12E+01	MNR	1.24E+01	MNR
Ozone depletion Pot.	kg CFC-11e	1.51E-05	5.51E-06	1.29E-07	2.07E-05	2.06E-06	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	2.63E-06	2.06E-06	MNR	4.06E-06	MNR
Acidification	kg SO_2e	1.02E+00	9.64E-02	2.79E-03	1.11E+00	3.72E-02	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	1.15E-01	3.72E-02	MNR	9.02E-02	MNR
Eutrophication	kg PO_4^3e	3.46E-01	2.17E-02	6.49E-04	3.69E-01	8.48E-03	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	2.67E-02	8.48E-03	MNR	1.95E-02	MNR
POCP ("smog")	kg C_2H_4e	4.16E-02	3.78E-03	1.16E-04	4.55E-02	1.45E-03	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	2.51E-03	1.45E-03	MNR	3.78E-03	MNR
ADP-elements	kg Sbe	3.68E-02	6.74E-05	1.37E-06	3.69E-02	2.57E-05	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	7.74E-06	2.57E-05	MNR	2.87E-05	MNR
ADP-fossil	MJ	2.53E+03	4.49E+02	1.10E+01	2.99E+03	1.70E+02	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	2.09E+02	1.70E+02	MNR	3.48E+02	MNR

FIGURA 2
QR Codes para download das DAPs desenvolvidas para a Concreserv: a) AXIA F_{ck} 35 MPA B01 S160; b) AXIA F_{ck} 40 MPA B01 S160; c) AXIA FF_{ck} 50 MPA B01 S160; d) AXIA F_{ck} 80 MPA B01 S160

Números completos podem ser obtidos nos relatórios finais que estão registrados na biblioteca do site epdhub.com e podem ser baixadas através dos QR Codes mostrados na Figura 2, cujas capas são mostradas na Figura 3.

3. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ACVs e DAPs desenvolvidas neste trabalho permitirão que a Concreserv avalie, controle e reduza continuamente os impactos ambientais em suas atividades, focando sempre em melhores práticas nos serviços de concretagem sob inovações em seus processos, produtos e serviços durante todo o ciclo de vida, embasado não só em aspectos financeiros e técnicos míopes de desempenho (ex.: desempenho mecânico sob menor custo), mas também embasado na redução e otimização dos impactos ambientais. Análises de ecoeficiência poderão ser desenvolvidas para definir as estimativas ambientais dos potenciais impactos dos concretos a partir de uma perspectiva do berço ao portão. Os resultados permitem uma comparação precisa dos impactos entre diferentes alternativas avaliadas sob um mesmo desempenho técnico e incluem uma ampla gama de métricas de impacto ambiental. Diferentes misturas de concreto existentes ou planejadas poderão ser avaliadas para determinação das soluções mais ecoeficientes entre as alternativas no estudo e assim promover os resultados internamente com funcionários e parceiros para reconhecer o desejo das organizações por produtos mais sustentáveis. As informações também poderão ser usadas para informar grupos externos ao longo da cadeia de valor sobre projetos de concreto mais sustentáveis e proporcionar diferenciação na seleção de produtos de concreto para a indústria da construção. Um exemplo é mostrado abaixo na Figura 4.

Ademais, destacam-se os seguintes pontos de importância das DAPs desenvolvidas na parceria entre Sika e Concreserv:

FIGURA 3
Capas das DAPs desenvolvidas para a Concreserv

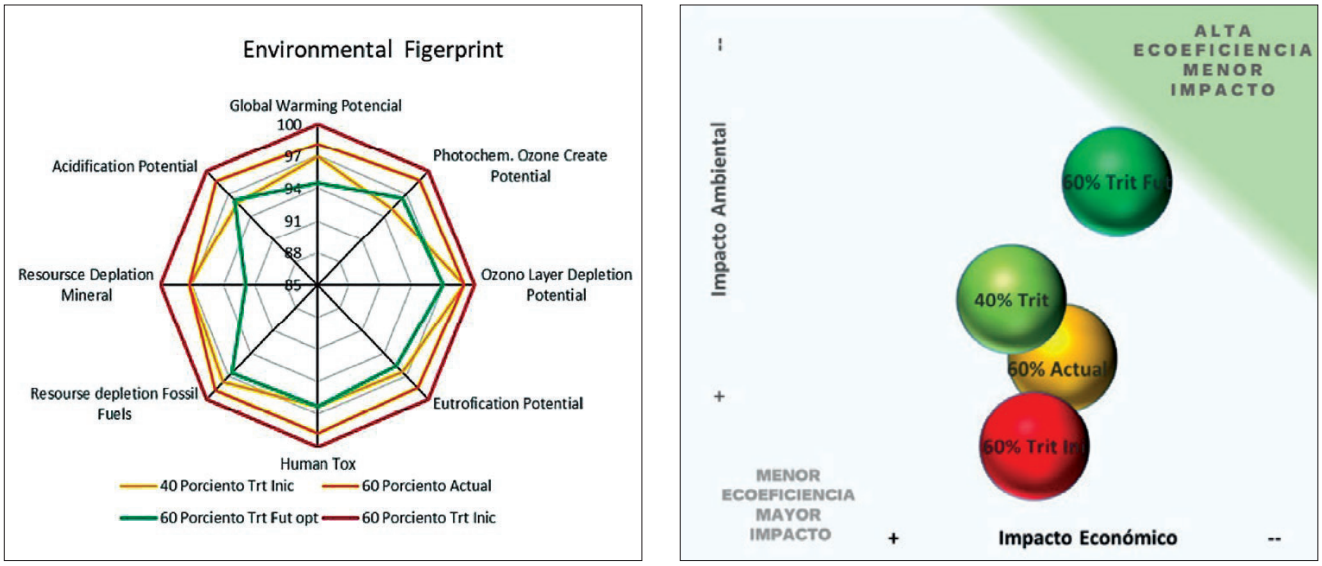


FIGURA 4
Resultados da análise de ecoeficiência para diferentes misturas de concreto sob um mesmo desempenho nos estados fresco e endurecido

- Suporte aos clientes e mercado em geral para obtenção de certificações de construções sustentáveis, amparando a tomada de decisão de clientes com a disponibilização dos impactos ambientais da linha AXIA em conformidade com as normas internacionais vigentes;
- Redução de custos de energia e materiais (simplificadamente, principais fatores de impacto ambiental) sob constante identificação dos potenciais de otimização na esfera de suprimentos (fornecedores de materiais componentes do concreto, energia, gerenciamento de resíduos etc.);
- Seriedade e transparência ambiental da linha AXIA frente ao mercado de concreto brasileiro, sendo um importante benchmark para o mercado de construções sustentáveis no Brasil;
- Promoção de planejamento estratégico e definição de prioridades para eficiência e impulso para uma nova economia sustentável que visa à transparência e ecoeficiência de produtos e serviços.
- Ações de marketing (por exemplo, na apresentação de uma reivindicação ambiental).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Eventos climáticos extremos: com o que se preocupar onde você vive? Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/eventos-climaticos-extremos-com-o-que-se-preocupar-onde-voce-vive/. Publicado em: 15 de outubro de 2024. Acessado em: 11 de novembro de 2024.

[2] TIMM, J. F. G.; PASSUELLO, A. C. B. Potencial de uso de declaração ambiental de produto para auxiliar em compras públicas verdes na construção civil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 263-276, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200525

[3] UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction. Global Alliance for Buildings and Construction (Global ABC), 2024. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y Acesso em: 12 de novembro de 2024.

[4] UNEP. Sand, rarer than one thinks. Global Environmental Alert Service (GEAS), 2014. Disponível em: https://na.unep.net/geas/archive/pdfs/GEAS_Mar2014_Sand_Mining.pdf Acesso em: 12 de novembro de 2024.

[5] USGS. Sand and gravel (construction) statistics, in: Kelly, T.D., Matos, G.R., (Eds.), Historical statistics for mineral and material commodities in the United States. U.S. Geological Survey Data Series 140, Reston, 2013.

[6] GBC. Anuário 2022 – Certificações LEED, GBC Brasil Casa & Condomínio e GBC Zero Energy. Green Building Council Brasil , J. J. Carol Editora. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/anuario-gbc-brasil-2022/ Acesso em: 13 de novembro de 2024.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040:2014 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014.

[8] CAMPOS, F. H. A. Análise do Ciclo de Vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, MG, 2012.

[9] JOHN, V. M. Concreto Sustentável. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Editor). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. v. 02. São Paulo: IBRACON, 2011, p. 1843-1869.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14025:2015 – Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais de Tipo III – Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044:2014 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014.

Passarela de *ultra-high performance concrete* (UHPC) para pedestres

DIEGO SCHNEIDER - ROBERTO CHRIST — Unisinos; JÉSSIKA PACHECO — PhD Engenharia

Em 2023, por iniciativa do então Presidente do IBRACON, Prof. Paulo Helene, ferrenho defensor da sustentabilidade e inovação das estruturas de concreto, a equipe do ITT Performance desenvolveu o projeto da primeira passarela em Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) do Brasil. Esta passarela foi apresentada no 64º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Florianópolis cuja bandeira foi "Concretizando a inovação e a sustentabilidade".

Em agosto de 2024, por grande empenho do Presidente atual, Eng. Julio Timerman, Paulo Helene e Jéssika Pacheco, com apoio da socióloga Cássia Felet, a passarela foi gentilmente transferida pela Cassol, para a cidade de São Paulo e instalada em uma comunidade carente, onde será amplamente utilizada (Foto 1). A passarela foi construída pela empresa Cassol Pré-Fabricados, com grande empenho do Eng. Felipe Cassol. O projeto estrutural foi elaborado pelo Prof. Diego Schneider, da Unisinos. O traço do UHPC foi desenvolvido pelo coordenador do ITT Performance (UNISINOS), Prof. Dr. Roberto Christ, que utilizou seu método de dosagem, objeto de sua tese de doutorado, para desenvolver o UHPC dessa passarela emblemática.

Foto 1: Passarela instalada sobre o córrego no bairro do Jardim Marilu, em São Paulo

1. DESCRIÇÃO

A passarela é classificada como um elemento estrutural pré-fabricado e constituída integralmente por *Ultra-high Performance Concrete* (UHPC), sendo concebida para a passagem de pedestres. A geometria utilizada para o projeto estrutural foi de um arco com apoios deslocáveis na horizontal. Normalmente, os arcos são estruturas que funcionam predominantemente à compressão, mas, para isso, os apoios não podem ter deslocamento horizontal. Devido à inexistência de apoios fixos no local, a passarela foi concebida com apoios móveis, fazendo com que existam esforços de flexão.

Contudo, devido à estrutura ser pré-fabricada, foi necessário criar uma espécie de "embalagem" para garantir o transporte seguro das peças. Isso é necessário para acomodar as peças de forma segura e evitar possíveis falhas devido à sua esbeltez. Algumas armaduras foram adicionadas a fim de evitar fissuras, principalmente nas letras, e para poder fixar os dispositivos de conexão do guarda-corpo com a passarela.

2. DADOS DA ESTRUTURA

A passarela é caracterizada pelas seguintes características técnicas:

- comprimento: 860 cm;
- largura: 200 cm;
- dimensões das vigas laterais: 31 x 10 cm;
- espessura da laje: 10 cm;
- espessura do guarda-corpo: 5 cm;
- volume total de UHPC: 2,5 m^3;
- resistência característica à compressão do UHPC = 120 MPa
- resistência característica à tração do UHPC = 20 MPa
- módulo de elasticidade do concreto = 40 GPa
- modelo estrutural: estrutura em arco, com apoios móveis (horizontal).

3. CARGAS

As cargas admitidas no projeto estrutural foram as seguintes:

- Carga permanente (g): 960 kgf cada guarda corpo e 5.145 kgf a laje com as vigas;
- Carga acidental (q): 200 kgf/m^2.

4. CÁLCULO ESTRUTURAL

Neste item serão apresentados os cálculos dos esforços e dimensionamentos dos elementos estruturais. Para a análise estrutural, foram utilizadas as prescrições da prática recomendada do IBRACON/ABECE Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) e o software de elementos finitos SCIA Engineer® v.21.

4.1 Modelo estrutural

O modelo estrutural da laje é constituído por elementos de placa com apoio verticais fixos, um apoio horizontal fixo e outro deslizante na horizontal.

4.2 Esforços

Os esforços internos utilizados para as

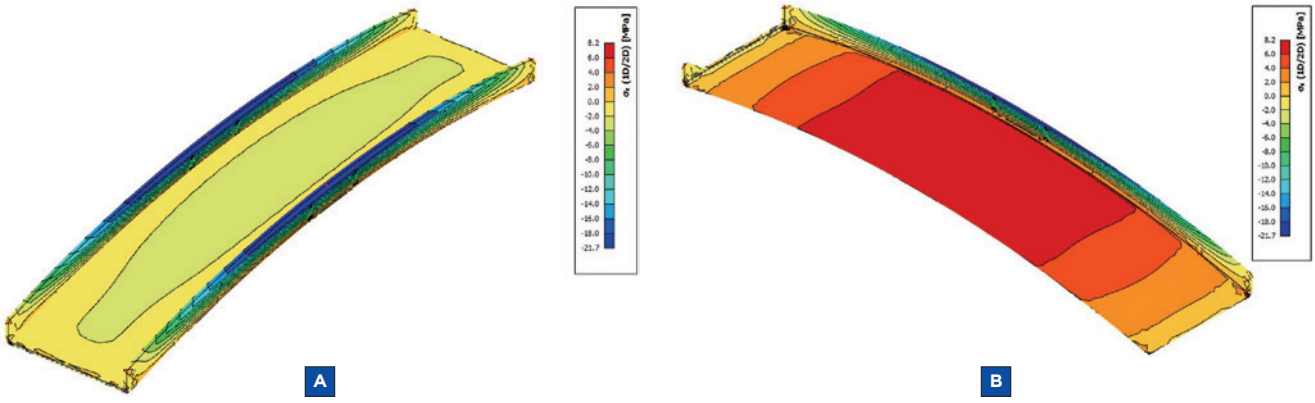


FIGURA 1
Tensões na direção x da face superior (a) e na face inferior (b)

verificações são apresentados na Figura 1, bem como as tensões de tração (vermelho) e compressão (azul) máximas na face superior (a) e na face inferior (b) da base da passarela.

4.3 Dimensionamento

Para o dimensionamento da passarela, comparou-se a tensão solicitante de cálculo com a tensão resistente de cálculo. A tensão solicitante foi extraída diretamente do cálculo conforme apresentadas na Figura 1.

A tensão resistente de cálculo foi obtida conforme abaixo:

f_{ctk} = 20 MPa

$f_{ctk,inf}$ = 20 * 0,7 = 14 MPa

f_{ctd} = 14/(1,4 * 1,2) = 8,33 MPa

5. TRAÇO DO UHPC

O desenvolvimento do traço foi obtido por meio do método de dosagem UNISINOS, desenvolvido por Christ (2019), para obter as proporções ideais entre os constituintes. O Índice de Desvio do Empacotamento da mistura (IDE) encontrado com o empacotamento dos materiais foi de 199. Na Figura 2, é apresentada a curva da mistura e a curva do empacotamento perfeito, segundo Funk e Dinger (1980).

Os insumos utilizados para confecção do UHPC são nacionais. Os materiais utilizados foram: Cimento CP V-ARI, Cimento sulfoaluminato, sílica ativa, cinza volante, areia de quartzo com granulometria específica e lavada utilizada em fundição, aditivo superplastificante e fibra de aço reta com fator de forma de 32,5. O consumo de materiais por m³ é apresentado na Tabela 1.

6. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO UHPC

O projeto estrutural da passarela utilizou como premissa valores característicos das propriedades mecânicas, sendo elas de resistência à compressão de 120 MPa, resistência à tração de 20 MPa e módulo de elasticidade de 40 GPa.

Um estudo preliminar foi realizado para obter as propriedades mecânicas do traço desenvolvido para confecção da passarela. Este estudo foi realizado no itt Performance/UNISINOS, utilizando os materiais fornecidos pela empresa de pré- fabricado Cassol. As propriedades mecânicas obtidas no traço desenvolvido estão apresentadas na Tabela 2.

7. CARACTERÍSTICAS DE DURABILIDADE DO UHPC

Os critérios de durabilidade foram adotados com base no local da instalação da passarela, a cidade de Florianópolis:

- Classe de Agressividade Ambiental: III;
- Classificação geral do tipo de ambiente: Urbano/Industrial ou Marinho;

O UHPC apresenta uma elevada durabilidade, a classe de agressividade ambiental onde a passarela será instalada requer cuidados, principalmente com relação ao ataque de cloretos. O traço desenvolvido para execução da passarela, apresenta elevada durabilidade, as características, bem como os seus valores característicos, são apresentados na Tabela 3.

Devido a essas propriedades, o UHPC apresenta elevada durabilidade. Para efeito de vida útil de projeto (VUP), com base nessas propriedades de durabilidade, considerando o ambiente onde a passarela ficará e algumas simplificações, teremos uma VUP de 300 anos. Para chegar nesta VUP, foi utilizado o modelo de previsão proposto

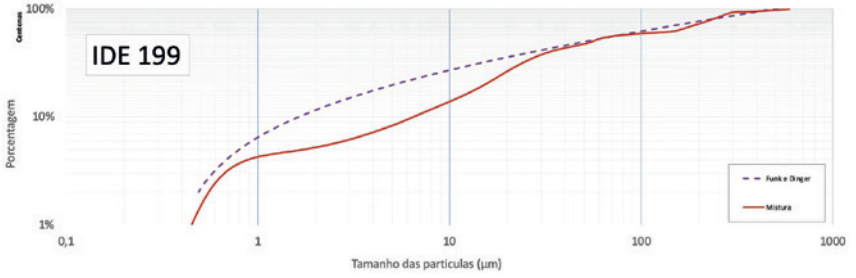


FIGURA 2
Curva de empacotamento da mistura e do empacotamento perfeito com o IDE da mistura

TABELA 1
Quantitativos dos constituintes do traço

Materiais	kg/m³
Cimento CP V-ARI	554
Cimento sulfoaluminato	62
Sílica ativa	185
Cinza volante	267
Areia quartzo 60/70	985
Água	203
Superplastificante PEC	50
Fibra metálica 0,4/13	196

TABELA 2
Propriedades mecânicas obtidas no estudo experimental

Propriedades	7 dias	28 dias	91 dias
Resistência à compressão (MPa)	55	103	138
Resistência à tração (MPa)	11	23	26
Módulo de elasticidade (GPa)	21	38	45

por Clear e Hey em 1973. Não há ainda um modelo consensuado e específico para determinar a VUP de um UHPC.

8. SUSTENTABILIDADE

Esta parte da especificação técnica referente à sustentabilidade foi desenvolvida pela Profª Edna Possan da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, uma das referências na área.

O UHPC é um concreto com propriedades mecânicas e durabilidade elevadas. Possui diversas aplicações, possibilitando a desmaterialização (redução de consumo de material) e a descarbonização (redução da pegada de CO_2 por m^2/m^3) de construção. Na Tabela 4, tem-se as emissões de CO_2 associadas à produção de uma tonelada de material.

Além da avaliação da emissão de CO_2 equivalente do traço, é importante analisarmos o indicador de produção e de eficiência do traço. Para a estrutura desenvolvida com relação ao volume de concreto utilizado e área construída, foram encontrados os valores da Tabela 5.

Considerando que o concreto produzido possui resistência à compressão aos 91 dias de 130 MPa, o Índice de Ligante – IL, que representa o consumo de cimento para produzir 1,0 MPa de resistência à compressão é de 3,4 $kgC.m^3/MPa$. O Índice de Carbono – IC – quilogramas de CO_2 para produzir 1 MPa é 7,0 $kgCO_2.m^3/MPa$.

Para uma vida útil de projeto da estrutura de 300 anos, a quantidade de material para produzir 1 m^2 de estrutura é de apenas 0,07 m^3. A pegada de carbono por m^2 de área construída é de 66,0 $kg.CO_2/m^2$.

9. CONCLUSÃO

A passarela em Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) é um marco de inovação na engenharia estrutural brasileira, comprovando a viabilidade técnica e a sustentabilidade de materiais avançados. Sua concepção alia ciência e prática para oferecer soluções mais eficientes e duráveis à construção civil, destacando-se como um exemplo de integração entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

Com uma vida útil de projeto de 300 anos, a estrutura reafirma o enorme potencial do UHPC para criar obras duráveis e eficientes. Além disso, este projeto estabelece um novo padrão no uso de materiais de alta performance, evidenciando como a descarbonização e a desmaterialização podem revolucionar o setor, promovendo sustentabilidade e elevando os padrões de qualidade na construção civil.

10. RESPONSABILIDADES

O projeto estrutural bem como as especificações do projeto são de autoria dos projetistas Eng. Civil Ms. Diego Schneider e Eng. Civil Alexandre Tem Cate Matté. As especificações dos constituintes e o desenvolvimento do traço do UHPC foram elaboradas pelo Eng. Civil Dr. Roberto Christ. A execução da estrutura ficou a cargo dos engenheiros da empresa de pré-fabricado Cassol.

TABELA 3
Características referente a durabilidade do traço utilizados

Propriedades	Valores
Massa específica	2360 kg/m^3
Absorção de água	0,040 $kg/m^2/h^{0,5}$
Coeficiente de carbonatação	0,10 mm $a^{0,5}$
Absorção à água	2%
Permeabilidade rápida ao cloreto	$1*10^{-12}$ m^2/s
Permeabilidade ao oxigênio (Kapp)	4*10-19 m^2

TABELA 4
Emissões de CO_2-eq para produção de 1 m^3 de material

Material[1]	kg/m³	kg.CO_2 eq/kg	Fonte	Total (kg/m³)
Cimento CP V ARI[2]	554	0,7488	(WBCSD, 2019)	414,83
Cimento sulfoaluminato	62	0,962	(EDP RECIPRO40, 2021)	59,64
Sílica ativa[3]	185	0,014	(RCP, NSF, 2025), (NORCHEM, 2027)	2,59
Cinza volante[3]	267	0,00185	(RCP, NSF, 2025), (EPD Emineral A/S, 2020)	0,49
Areia quartzo 60/70	985	0,01251	(SIDAC, 2023)	12,32
Água[4]	203	0	—	0,0
Superplastificante	50	1,53	(EPD EFCA, 2021)	76,5
PEC	—	—	—	—
Fibra metálica 13/0,4	200	2,023	(EDP 251/201, 2021)	404,60

[1] Escopo do Berço ao portão. Não considerado emissões de Transporte dos materiais até o local de aplicação;
[2] Emissão do Clínquer de 0,832 kg.CO_2/t, conforme NBR 16697 (ABNT, 2018) considerou-se que o cimento CP V tem 10% de substituição (gipsita e fíller);
[3] As regras de categoria de produto (PCR) reconhecem cinzas volantes, sílica ativa e escória como materiais recuperados e, portanto, os impactos ambientais atribuídos a esses materiais são limitados ao tratamento e transporte necessários para uso como insumo de material de concreto;
[4] Não computada por falta de dados nacional e internacionais sobre a pegada de carbono.

TABELA 5
Indicadores de produção e de eficiência

Indicadores de produção	
f_c aos 91 dias (MPa)	138,0
Área total construída — tabuleiro e guarda corpo (m^2)	36,8
Volume de concreto total (m^3)	2,5

Indicadores de eficiência	
Consumo de material (m^3/m^2)	0,07
Rendimento (m^2/m^3)	14,72
IL ($kgC.m^3/MPa$)	3,4
IC ($kgCO_2.m^3/MPa$)	7,0
Pegada de carbono por m^2 de área construída ($kgCO_2/m^2$)	66,0

Pesquisador brasileiro **recebe prêmio do ACI**

Pela primeira vez, em 52 anos de premiação, um brasileiro recebeu o Prêmio "Mete A. Sozen de Excelência em Pesquisa Estrutural", concedido pelo "American Concrete Institute" – ACI. Trata-se do professor da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP – Mounir Khalil El Debs.

O prêmio foi concedido por sua coautoria no artigo intitulado "Transição entre cisalhamento e punção em lajes de concreto armado: revisão e previsões com expressões de código ACI", publicado na edição de março de 2023 do "*ACI Structural Journal*".

O trabalho foi desenvolvido ao longo do doutorado e pós-doutorado de Alex de Souza, com colaboração da professora Eva Lantsoght, da Universidade Tecnológica de Delft. Nele os autores propõem uma estratégia para verificação da resistência ao cisalhamento de lajes de pontes considerando os diferentes mecanismos de ruptura. A metodologia proposta serve para avaliar se pontes projetadas para suportar veículos leves podem ser submetidas a carregamentos maiores.

Os autores apresentaram seu trabalho no *ACI Fall Convention*, realizado na Filadélfia, nos Estados Unidos, em novembro.

Instituto Eduardo Torroja **completa 90 anos**

Nascido como uma entidade privada formada por arquitetos e engenheiros, na Espanha, em 1934, para realizar pesquisas no campo da construção e dos materiais, o Instituto da Construção e da Edificação juntou-se com o Conselho Nacional Espanhol de Pesquisa (CSIC) e com o Instituto do Cimento, formando o Instituto Técnico da Construção e do Cimento, em 1949, sob a direção de Eduardo Torroja. Quando o professor Eduardo Torroja morreu, em 1961, seu nome foi incorporado à entidade, que passou a se chamar Instituto para a Ciência da Construção Eduardo Torroja.

Hoje, com 90 anos, o Instituto mantém sua missão de promover a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico no campo da construção e dos materiais. Ele desenvolve estudos e projetos nacionais e internacionais, com os setores público e privado. Além disso, presta serviços técnicos para a indústria da construção, como certificação e acreditação, transfere conhecimentos por meio de consultorias e publicações, como as revistas científicas "*Building Materiais*" e "*Construction Reports*", e coopera com a normalização técnica espanhola e europeia.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.

PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R$ 550,00

Patrocínio

GERDAU O futuro se molda · LACROSE ENGENHARIA E ENSAIOS ESPECIAIS · PENETRON · proceq · Viapol

IBRACON

Adquira o seu na Loja Virtual do IBRACON: http//lojaibracon.org.br

Congresso Brasileiro **de Túneis**

O 6º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, promovido pelo Comitê Brasileiro de Túneis e Espaços Subterrâneos, vai acontecer de 10 a 12 de março de 2025, no Espaço Frei Caneca, em São Paulo/SP.

O evento cobrirá 16 temas, que vão desde o projeto até a manutenção e operação de túneis, destacando o papel vital que as estruturas subterrâneas desempenham na promoção de um desenvolvimento mais sustentável.

O IBRACON apoia o evento, que está com inscrições abertas.

Saiba mais no site do evento:
https://6cbt.tuneis.org.br/

Projeto e Execução **de Lajes Treliçadas**

As lajes treliçadas são amplamente empregadas no Brasil há décadas nos mais diversos tipos de construções. Porém, faltava no mercado editorial um livro que tratasse do assunto com abrangência e profundidade.

O livro expõe as etapas de projeto, as teorias e os exemplos de aplicação dos conceitos relacionados aos sistemas construtivos de lajes que empregam armadura treliçada soldada por eletrofusão, abordando as principais características de cada sistema, os critérios de dimensionamento, as etapas de verificação e o detalhamento executivo.

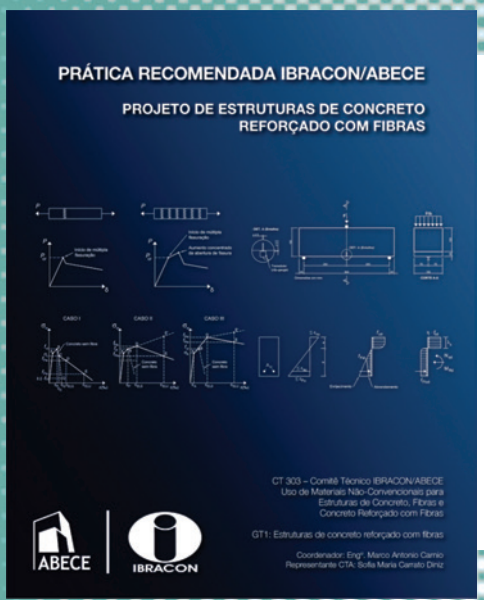
De autoria dos sócios da Küster & Sartorti, Leandro Dias Küster e Arthur Lenz Sartorti, que são professores de estruturas na Unasp, e de Itamar Vizotto, engenheiro civil atuante no desenvolvimento de mercado, sistemas estruturais, tecnologia e normas técnicas de lajes treliçadas.

O livro foi lançado no estande da Editora Oficina de Textos no 65º Congresso Brasileiro do Concreto, no dia 23 de outubro.

Mais informações:
www.ofitexto.com.br

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a *Prática Recomendada* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

Patrocínio

Belgo Bekaert Arames
ArcelorMittal
BEKAERT better together
Pode confiar
OWENS CORNING
Braskem

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8
Edição: 1ª edição
Formato: Eletrônico
Páginas: 39
Acabamento: Digital
Ano da publicação: 2016
Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Aquisição
www.ibracon.org.br
(loja virtual)

Atividades **na Regional MS**

A Regional de Mato Grosso do Sul realizou, em 12 de novembro, no auditório da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, o II Seminário de Patologia das Construções, com o tema geral "Manifestação patológica em fachadas de prédios verticais".

O Seminário contou com os palestrantes João Abdala (Soluções de reparos para fachadas verticais), Valéria Gabas (Boas práticas para minimizar manifestações patológicas em fachadas) e Matheus Leoni (Técnicas de inspeção e diagnóstico para fachadas).

O evento teve patrocínio do Grupo Plaenge, Erca, Mecfor e Tecnosil.

Já, no dia 11 de setembro, a diretora regional palestrou sobre o tema "O concreto é tudo igual?" para 150 pessoas na cidade de Chapadão do Sul.

Livro

CONCRETO: Ciência e Tecnologia

A publicação aborda os **componentes do concreto**, seu **comportamento no estado fresco e endurecido**, e abrange as **inovações na ciência do concreto**, como **dosagem, confecção e durabilidade**.

Com **2055 páginas**, divididas em **dois volumes**, o compêndio foi escrito por **65 especialistas brasileiros**, sendo voltado para pesquisadores, estudantes de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, profissionais que atuam no setor de construção civil.

ISBN / ISSN: 978-65-89675-00-6
Edição: 3ª edição
Páginas: 2055
Formato: 15,7 x 23cm
Acabamento: capa dura
Ano de Publicação: 2022

Coordenadores: Bernardo Tutikian
Fernanda Pacheco
Geraldo Isaía e
Inês Battagin

Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa
e valorização da engenharia civil

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- → Receba gratuitamente as quatro edições anuais da **revista CONCRETO & Construções**
- → Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do *American Concrete Institute (ACI)***
- → Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- → Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!

www.ibracon.org.br facebook.com/ibraconOffice twitter.com/ibraconOffice

IBRACON

66º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

CURITIBA 2025

28 a 31 de Outubro

Concreto: o material do passado, do presente e do futuro

PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- Estreite relacionamentos na Feira Brasileira da Construção em Concreto
- Associe sua marca ao maior evento técnico-científico sobre o concreto no país
- Apresente o que sua empresa vem fazendo em P&D&I no Seminário de Novas Tecnologias

PROGRAMAÇÃO

- Conferências com especialistas internacionais
- Seminários sobre temas emergentes
- Sessões técnico-científicas
- Cursos de qualificação profissional
- Concursos estudantis

IBRACON

MAIS INFORMAÇÕES

www.ibracon.org.br | ibracon_oficial | ibraconOffice | ibraconOffice | office@ibracon.org.br

Av. Queiroz Filho, 1.700 – sala 407/408 – Torre D – Villa Lobos Office Park – 05319-000 – Vila Hamburguesa – São Paulo – SP – Tel. (11) 3735-0202