

Método de construção acelerada de pontes e viadutos: conceitos e aplicações

DANIEL DE LIMA ARAÚJO – Prof. – (dlaraujo@ufg.br)

GLEYSER DINIZ LINHARES – Grad.

MATHEUS VIEIRA ASSUNÇÃO – Grad. | ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – UFG

RESUMO

NESTE ARTIGO É APRESENTADA A METODOLOGIA ABC (*ACCELERATED BRIDGE CONSTRUCTION*, TRADUZIDO DO INGLÊS COMO CONSTRUÇÃO ACELERADA DE PONTE), SENDO DESCRITOS OS CONCEITOS E AS PRINCIPAIS ABORDAGENS E TÉCNICAS UTILIZADAS. ATUALMENTE, ESSA METODOLOGIA É AMPLAMENTE UTILIZADA NA CONSTRUÇÃO DE PONTES E VIADUTOS NOS ESTADOS UNIDOS, SENDO A *FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA)* UMA DAS PRINCIPAIS AUTORIDADES QUE DISPONIBILIZA VASTA GAMA DE MATERIAIS E ESTUDOS SOBRE A METODOLOGIA ABC. UM BREVE LEVANTAMENTO DA TIPOLOGIA DAS PONTES E VIADUTOS NO BRASIL SOB A RESPONSABILIDADE DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DNIT) TAMBÉM É APRESENTADA. TENDO EM VISTA QUE QUASE METADE DAS PONTES E VIADUTOS SOB RESPONSABILIDADE DO DNIT SÃO CONSTRUÍDAS EM CONCRETO MOLDADO NO LOCAL E, DESSAS ESTRUTURAS, CERCA DE 90% TÊM EXTENSÃO DE ATÉ 50 METROS, A METODOLOGIA ABC POSSUI UM AMPLO CAMPO DE APLICAÇÃO AO PROJETO DE PONTES E VIADUTOS NO BRASIL.

PALAVRAS-CHAVE: METODOLOGIA ABC, PONTES, VIADUTOS, PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO, CONSTRUÇÃO RÁPIDA.

1. INTRODUÇÃO

Ponte é o nome que se dá a toda obra elevada que tem o objetivo de vencer obstáculos líquidos, como rios, lagos, vales, braços de mares, entre outros, que impedem a continuidade da via. Quando esse obstáculo não é líquido, a obra recebe o nome de viaduto. Essas subdivisões estão englobadas em um conjunto geral denominado de “Obras de Arte Especiais”.

Na Tabela 1 é mostrada a distribuição das pontes rodoviárias federais no Brasil,

sob jurisdição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, em função do sistema construtivo e do material utilizado na construção, levantada na literatura. Observa-se que cerca de 44% das pontes e viadutos desse inventário foram executados em concreto armado moldado no local e, dessas estruturas, a maior parte possui o sistema estrutural baseado em vigas contínuas. Tal metodologia implica grandes movimentações de terra, grande tempo de construção e grandes gastos com estruturas auxiliares. Além disso, cerca de 90% das pontes e viadutos executados em concreto armado moldado no local tem extensão de até 50 m.

Este artigo tem por objetivo apresentar os conceitos do método de Construção Acelerada de Pontes (*Accelerated Bridge Construction – ABC*), apresentando os seus princípios e benefícios.

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ABC

A metodologia ABC (*Accelerated Bridge Construction*), ou Construção Acelerada de Pontes, tem se tornado sistema padrão em todas as etapas da construção das pontes e viadutos nos Estados Unidos da América nos últimos 30 anos [1]. Devido às suas vantagens competitivas, essa metodologia tem também sido aplicada em outros países da América do Norte, tendo resultado na publicação de diversos manuais de aplicação da metodologia ABC [2]. Os benefícios de se utilizar essa metodologia vão muito além da construção da obra em si, pois há benefícios a curto e longo prazo que devem ser levados em consideração quando da decisão do emprego de

um método de Construção Acelerada de Pontes [3].

Mas por que utilizar a metodologia ABC? O sistema construtivo de pontes e viadutos em concreto moldado no local é um dos sistemas construtivos mais simples e utilizados. Tal metodologia implica grandes movimentações de terra e grande tempo de construção. Entretanto, isso não é um grande problema quando se está implantando uma nova via de tráfego. Contudo, quando a malha rodoviária ou urbana está consolidada e há trechos em que são necessários reparos, alterações ou expansão das obras de arte, o método tradicional com concreto moldado no local passa a não ser mais viável, uma vez que demandará muito tempo de construção e, conseqüentemente, interrupção prolongada da via. Isso implica a necessidade de alteração do tráfego ou construção de uma ponte temporária, de modo a permitir a liberação parcial do tráfego enquanto a obra é executada. Essas são soluções que têm impacto negativo no processo geral de construção.

A metodologia ABC empregada com elementos pré-fabricados de concreto garante vários benefícios em relação ao sistema convencional em concreto moldado no local, tais como:

- 1) Redução do impacto sofrido pelo usuário da via: construções ou reparos em pontes e viadutos tem um impacto negativo para os usuários de uma via de tráfego. Atrasos causados por congestionamentos e riscos de acidentes são alguns fatores que impactam negativamente os usuários

TABELA 1

SISTEMAS ESTRUTURAIS E MATERIAIS DAS PONTES E VIADUTOS BRASILEIROS

Estrutura	Sistema e material	Quantidade (Unid.)	Porcentagem
Ponte	Arco inferior de concreto armado	18	0,33%
	Arco inferior de concreto protendido	1	0,02%
	Arco inferior metálico	3	0,06%
	Estaiada com vigamento de concreto protendido	2	0,04%
	Estaiada com vigamento metálico	1	0,02%
	Laje de concreto armado	471	8,70%
	Laje de concreto protendido	5	0,09%
	Mista (viga metálica e laje de concreto)	185	3,42%
	Não informado	864	15,96%
	Treliça metálica	4	0,07%
	Viga caixão de concreto armado	148	2,73%
	Viga caixão de concreto protendido	145	2,68%
	Viga de concreto armado	2907	53,69%
	Viga de concreto protendido	650	12,01%
	Viga e laje metálicas	5	0,09%
	Madeira	5	0,09%
	Total	5414	100%
Viaduto	Arco de alvenaria de pedra	1	0,05%
	Arco inferior de concreto armado	12	0,55%
	Arco inferior metálico	2	0,09%
	Arco superior metálico	8	0,37%
	Estaiada com vigamento de concreto protendido	1	0,05%
	Laje de concreto armado	315	14,46%
	Laje de concreto protendido	5	0,23%
	Mista (viga metálica e laje de concreto)	42	1,93%
	Não informado	544	24,98%
	Viga caixão de concreto armado	203	9,32%
	Viga caixão de concreto protendido	119	5,46%
	Viga de concreto armado	455	20,89%
	Viga de concreto protendido	469	21,53%
	Viga e laje metálicas	2	0,09%
	Total	2178	100%

FONTE: ADAPTADO DE DNIT [4]

das rodovias, por exemplo; de acordo com o manual da *Federal Highway Administration — FHWA*, o tempo de impacto no fluxo de tráfego de uma via é chamado de “*Mobility Impact Time*” e é dividido em 5 níveis: nível 1, com impacto de 1h a 24h; nível 2, com impacto em até 3 dias; nível 3, com impacto até 2 semanas; nível 4, com impacto até 3 meses; e nível 5, com impacto de 3 meses a anos [5]. O objetivo da metodologia ABC está em elevar ao menos 1 nível quando comparado com o método tradicional de construção. Como o usuário

possui um impacto direto na sua receita, esse impacto deve ser contabilizado durante a etapa de planejamento, uma vez que é esse mesmo usuário que paga os impostos que irão financiar a construção;

- 2) Melhoria da segurança do trabalhador e do motorista: construções e reparos na via de tráfego existente podem causar distrações nos motoristas, o que afeta a sua segurança; atrelado a isso, há o fato de o trabalhador desempenhar suas atividades junto a uma via com tráfego ativo - com a redução do tempo de construção ou reparo da

obra, esses impactos negativos podem ser minimizados;

- 3) Redução de impacto ambiental: a metodologia ABC pode ser utilizada, por exemplo, para reduzir em meses o tempo de execução da obra dentro ou ao redor de uma área ambientalmente sensível;
- 4) Qualidade: apesar dos rígidos controles de qualidade exigidos no processo de construção de uma ponte, é um grande desafio atingir tais graus de qualidade ao se utilizar o concreto moldado no local - isso ocorre, por exemplo, por conta do ambiente desfavorável que, muitas vezes, os trabalhadores estão submetidos e pela dificuldade de controlar a qualidade do concreto produzido no local; tais fatores reduzem consideravelmente a durabilidade da estrutura; com a utilização de elementos pré-fabricados de concreto, tais condições indesejadas podem ser reduzidas - o rígido processo de fabricação exigido pelas normas de estruturas pré-fabricadas faz com que esses elementos possuam maior resistência mecânica com menor fissuração e, conseqüentemente, maior vida útil e menores custos de manutenção ao longo do seu ciclo de vida;
- 5) Construtibilidade melhorada: reduz, ou até mesmo elimina, a quantidade de trabalhadores no local de execução da obra;
- 6) Redução de custo para a sociedade: O custo de uma obra de infraestrutura não deve ser medido apenas pelo seu custo direto de construção; outros fatores e custos indiretos devem ser levados em consideração quando da definição do sistema construtivo de uma ponte ou viaduto. O departamento de transportes de Utah, nos EUA, por exemplo, mede rotineiramente a percepção do público em geral sobre as suas construções por meio de questionários. Uma pesquisa realizada sobre um viaduto construído com a metodologia tradicional constatou que 1/3 dos entrevistados estavam satisfeitos, 1/3 não estavam satisfeitos e o restante era indiferente. Outra pesquisa sobre um viaduto executado com o uso da metodologia ABC constatou que 94% dos entrevistados avaliaram positivamente o processo construtivo como um todo,

resultando em uma percepção extremamente positiva da população para com essa metodologia de execução de obras de arte [5].

O processo de planejamento e definição do escopo do projeto de uma ponte utilizando a metodologia ABC consiste em duas fases principais. Primeiro, decidir se o ABC é apropriado para um local. A análise de uma série de variáveis, desvios prováveis, rotas de emergência e taxas de usuários das estradas, deve ser feita como parte desse processo de tomada de decisão. Uma vez tomada a opção de adotar a metodologia ABC, a segunda etapa envolve a escolha de qual tecnologia construtiva é adequada para o local da obra.

Uma justificativa importante para o uso de métodos de construção acelerada de pontes (ABC) é a dificuldade de gerenciar o tráfego. Isso porque os desvios na via de tráfego podem influenciar no custo da estrutura e na economia das cidades próximas. Usando uma abordagem ABC, a construção pode ser concluída em

questão de meses ou mesmo dias, em vez de anos.

Os projetos com a abordagem ABC bem-sucedidos demonstram a viabilidade dessa estratégia ao reduzir a escala de tempo de construção de anos para apenas alguns fins de semana. Por exemplo, o Departamento de Transporte de Massachusetts usou essa estratégia para reduzir o período de construção de um grande projeto com a metodologia ABC na Interestadual I-90, que possuía um fluxo de cem mil veículos por dia. Em apenas oito finais de semanas, foram substituídas oito pontes nessa rodovia, com uma movimentação de 242 elementos pré-fabricados. Mesmo durante os serviços de reparo das pontes, o fluxo de veículos não foi interrompido [6].

3. ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS PARA PONTES

A metodologia ABC não é um método construtivo e nem está relacionada a um único processo construtivo, mas representa um compilado de técnicas e tecnologias de cons-

trução que vem sendo desenvolvido e implementado a fim de promover uma inovação na construção de pontes e viadutos, reduzindo os impactos aos usuários das vias de tráfego.

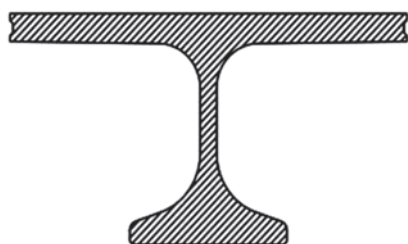
A forma mais comum de aplicar a metodologia ABC é associada com o uso de elementos pré-fabricados. Entretanto, a pré-fabricação de alguns elementos da ponte não é algo exatamente novo. As longarinas pré-fabricadas de concreto estão presentes em vários tipos de pontes e viadutos. A evolução que a metodologia ABC busca trazer reside na pré-fabricação de tabuleiros, pilares, sapatas, paredes de contenção, etc.

Um ponto de atenção nas estruturas pré-moldadas é a ligação entre os elementos e a formação de juntas. A verificação da resistência e durabilidade das ligações e das juntas é um assunto largamente estudado para as edificações pré-moldadas em geral. A FHWA já desenvolveu estudos específicos para as ligações entre elementos pré-fabricados de pontes. Há resultados que mostram que essas ligações são duráveis e estruturalmente resistentes para serem utilizadas em estruturas de pontes e viadutos, inclusive em regiões sujeitas a sismos moderados [7].

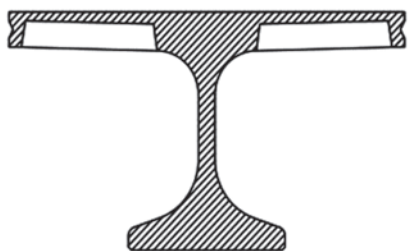
Os elementos pré-fabricados em uma ponte podem ser unitários, como uma longarina, pilar, sapata, etc., ou modulares, sendo formados por elementos unitários já interligados, como, por exemplo, um conjunto de duas vigas ligadas a um tabuleiro de concreto. Elementos modulares representam uma ótima alternativa para a metodologia ABC. Há diversos relatos de obras nos EUA bem-sucedidas utilizando essa tecnologia [8]. Entretanto, a medida em que mais elementos pré-fabricados vão sendo integrados no processo de fabricação, mais complexo se torna o processo de transporte, montagem e ligação desses módulos em seu local definitivo.

3.1 Elementos da superestrutura

Os componentes da superestrutura da ponte utilizados no processo de construção acelerada incluem a pré-fabricação de longarinas, tabuleiros ou módulos formados por mais de um elemento estrutural. As longarinas pré-fabricadas da superestrutura são frequentemente feitas de concreto protendido para possibilitar vencer grandes vãos. A durabilidade e o desempenho das



A Seção com laje maciça



B Seção com laje nervurada



FIGURA 1

LONGARINAS PRÉ-FABRICADAS EM UHPC COM MESA LARGA

FONTE: MORCOUS E TADROS (2023)

longarinas podem ser aprimorados com o emprego do concreto de alto desempenho (UHPC). Vigas em “T” com UHPC podem ser utilizadas de modo a padronizar o projeto das longarinas nas pontes e viadutos. Atuando como vigas e tabuleiros ao mesmo tempo, os sistemas de vigas adjacentes, com seção duplo em “T” ou vigas em “T” com mesas largas (Figura 1), oferecem opções para a construção mais rápida de pontes, pois eliminam a necessidade da execução da laje em concreto moldado no local [9]. O Concreto de Alto Desempenho (UHPC) também pode ser utilizado para unir os elementos pré-fabricados de pontes, permitindo ligações com menor dimensão, de mais rápida execução e com maior capacidade resistente.

Ao trabalhar em projetos rápidos, a ligação entre o tabuleiro e a longarina pode ser demorada e exigir cuidados extras na obra. Isso é mais impactante quando se utiliza o sistema de longarina pré-moldada com tabuleiro em concreto moldado no local. Tal impacto negativo no tempo de construção pode ser reduzido ao se utilizar o tabuleiro totalmente pré-moldado e ligado à laje por meio de nichos preenchidos com concreto de alto desempenho [10], conforme mostrado na Figura 2.

Nos sistemas modulares, a ligação do tabuleiro com as longarinas pode ser realizada na fábrica, eliminando, portanto, essa atividade da obra (Figura 3). Contudo, é necessário verificar se é viável transportar e instalar peças maiores e mais pesadas.



FIGURA 2

TABULEIRO FORMADO POR PAINEL PRÉ-MOLDADO

FONTE: AURIER *et al.* (2023)

A capacidade máxima dos guindastes, bem como as restrições dimensionais e de peso para transporte, deve ser considerada.

3.2 Elementos da mesoestrutura

Os pilares pré-fabricados têm sido utilizados como uma solução para agilizar o processo construtivo da mesoestrutura. Eles possuem a vantagem de se repetirem ao longo da ponte, o que pode reduzir o seu custo de produção. A ligação entre segmentos de pilares e destes com a fundação pode ser realizada com o emprego de luvas grauteadas (Figura 4). Tal modelo de conexão simula a emenda por traspasse comumente conhecida, o que a torna uma opção muito versátil, além de apresentar resistência semelhante à de um pilar moldado no local, atingindo alta ductilidade.

Outra alternativa é o uso de protensão para realizar a ligação dos elementos que irão compor o pilar. Após o tensionamento

dos cabos, é aplicada uma argamassa de alta resistência a fim de garantir a aderência do cabo com o concreto, fornecendo a ductilidade e a resistência necessária para a ligação.

Semelhante a um pilar parede, os encontros em pontes são estruturas utilizadas para sustentar tanto a superestrutura da ponte quanto para conter o solo em suas extremidades. Esse tipo de elemento também pode ser totalmente pré-fabricado em módulos, que são conectados à fundação também utilizando luvas grauteadas (Figura 5). As juntas verticais podem ser deixadas abertas ou preenchidas com espuma expansiva, replicando uma junta de dilatação comumente presente em edificações. O tempo de construção típico para um encontro pré-moldado pode ser de apenas dois dias [5]

4. CONCLUSÃO

A metodologia ABC tem sido amplamente empregada nos projetos de pontes e



FIGURA 3

SUPERESTRUTURA MODULAR SENDO INSTALADA NA PONTE JACQUES-CARTIER

FONTE: AURIER *et al.* (2023)

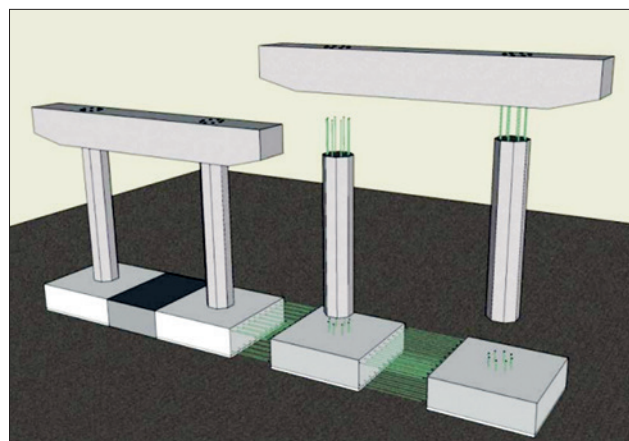


FIGURA 4

LIGAÇÃO DE PILARES PRÉ-MOLDADOS COM LUVAS GRAUTEADAS

FONTE: MICHAEL E CULMO (2011)

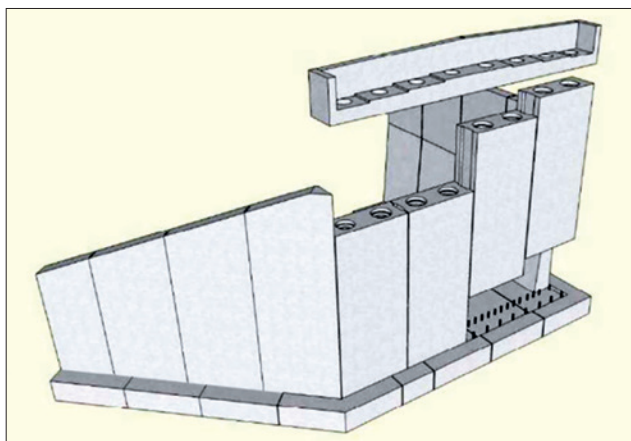


FIGURA 5

ESQUEMA DE MONTAGEM DE UM ENCONTRO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

FONTE: MICHAEL E CULMO [5]

viadutos na América do Norte, onde diversas pesquisas têm sido realizadas. Devido ao uso intensivo da pré-fabricação dos elementos estruturais da ponte (superestrutura e mesoestrutura), é possível reduzir o tempo de construção de pontes e viadutos quando comparado ao sistema convencional em concreto moldado no local. Além disso, a qualidade e a durabilidade das estruturas também são melhoradas. No Brasil, há

casos recentes de aplicação dessa metodologia, focados especialmente no uso de tabuleiros totalmente pré-fabricados [11]. Contudo, a implementação da metodologia de Construção Acelerada de Pontes (ABC) não se resume apenas em pré-fabricar os elementos estruturais de uma ponte, em especial as longarinas. Por outro lado, representa uma mudança de filosofia de projeto e construção, que começa pela agência responsável pela obra, mas envolve projetistas, construtoras e empresas de pré-fabricados de concreto. Além disso, implica o desenvolvimento de novas tecnologias de materiais de alto desempenho, de transporte e de realização de ligações entre os elementos pré-fabricados. Nesse sentido, pesquisas necessitam ser desenvolvidas no Brasil para

adaptação das tecnologias existentes em outros países para a realidade brasileira.

Baseado nos dados coletados na literatura sobre as pontes sob responsabilidade do DNIT, observa-se que quase metade dessas pontes e viadutos foram construídas em concreto moldado no local. E destas estruturas, cerca de 90% têm extensão de até 50 metros. Apesar da metodologia ABC, como descrita, pode ser implementada em qualquer tipo de ponte e viaduto, independente do seu sistema estrutural, acredita-se que o seu emprego mais imediato pode se dar nas pontes com extensões de até 50 m, com dois vãos ou mais. Tendo em vista que este é o tipo de cerca de 40% das pontes sob responsabilidade do DNIT, pode-se concluir que o emprego de uma metodologia de Construção Acelerada de Pontes (ABC) pode ter um impacto relevante na construção das futuras pontes e viadutos no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa "Desenvolvimento e melhoria de ligações para pontes rodoviárias em concreto pré-moldado" (processo 405500/2022-0) ao qual este artigo está relacionado. ©

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AURIER, L.; HASSAN, M.; JAWORSKI, J.; GUIZANI, L. Review of Accelerated Bridge Construction Systems for Bridge Superstructures and Their Adaptability for Cold Weather. *CivilEng*, Vol. 4, pp. 83-104, 2023. <https://doi.org/10.3390/civileng4010007>.
- [2] MELLON, D.; KODSUNTIE, M.; HOLOMBO, J.; GHOSH, K.; ROWE, G. Accelerated Bridge Construction Manual. First Editions. CALTRANS, 2021. Disponível em: https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/engineering/documents/abc/ctabc-2021-06-30_a11y.pdf. Acesso em: 13 ago. 2023.
- [3] WANG, Z. Z.; SHI, B. Decision Making and Economic Analysis for Accelerated Bridge Construction. *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 423-426, pp. 2196-2201, 2013. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.423-426.2196>.
- [4] DNIT. DNITGeo - Geotecnologias Aplicadas. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo>>. Acesso em: 14 ago. 2023.
- [5] MICHAEL, P.; CULMO, P. E. Accelerated Bridge Construction: Experience in Design, Fabrication and Erection of Prefabricated Bridge Elements and Systems. Report No. FHWA-HIF-12-013. McLean: FHWA, 2011. 346 p. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/abc/docs/abcmanual.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- [6] PCI. I-90 Acceler-8 MassDOT Bundled Bridges. 2023. Disponível em: https://www.pci.org/PCI/PCI/Project_Resources/Project_Profile/Project_Profile_Details.aspx?ID=241800. Acesso em: 13 ago. 2023.
- [7] MARSH, M. L. et al. Application of Accelerated Bridge Construction Connections in Moderate-to-High Seismic Regions. NCHRP REPORT 698. WASHINGTON, D.C.: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2011.
- [8] LESSARD, A. I-84 bridges over Marion Avenue. An accelerated bridge construction success story in Southington, Conn. ASPIRE, pp. 16-19, Summer 2015. Disponível em: <https://www.aspirebridge.com/magazine/2015Summer/Project-I84Bridges.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.
- [9] MORCOUS, G.; TADROS, M. K. UHPC Decked I-Beam for Accelerated Bridge Construction. Report No. FY21-005. Lincoln: Nebraska Department of Transportation (NDOT), 2023. 100 p. Disponível em: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/67210>. Acesso em: 13 ago. 2023.
- [10] ARAÚJO, D. L. Apêndice AP14 - Tabuleiros com viga e laje pré-moldadas ligadas mediante nichos. In: Mounir Khalil El Debs. (Org.). Pontes de concreto: com ênfase na aplicação de elementos pré-moldados. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021, p. 367-385.
- [11] ABCIC. Pré-fabricado de concreto contribui para a implantação do sistema ABC no Brasil. *Industrializar em concreto*, Vol. 5, pp. 24-27, 2015. Disponível em: <https://industrializaremconcreto.com.br/Edicoes/Exibir/pre-fabricado-de-concreto-contribui-para-a-implantacao-do-sistema-abc-no-brasil?Pagina=1>. Acesso em: 07 out. 2023.