

CONCRETO PROTENDIDO EM MARINGÁ-PR: PERCEPÇÕES DE PROFISSIONAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL SOBRE SUA APLICAÇÃO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E PREDIAIS

PRESTRESSED CONCRETE IN MARINGÁ-PR: PERCEPTIONS OF CIVIL
CONSTRUCTION PROFESSIONALS ABOUT ITS APPLICATION IN RESIDENTIAL AND
BUILDINGS CONSTRUCTIONS

PAULO HIPÓLITO MONTEIRO NETO¹, WILLYAN MACHADO GIUFRIDA^{2*}, BÁRBARA CAROLINE PEREIRA DA SILVA³

1. Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional (FEITEP); 2. Professor Doutor, Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional (FEITEP); 3. Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional (FEITEP).

* Avenida Paranaíba, 1164, Zona 06, Maringá, Brasil. CEP: 87070-130. coordenacaoquimica@feitep.edu.br

Recebido em 01/09/2021. Aceito para publicação em 17/03/2022

RESUMO

O concreto protendido é uma evolução técnica do concreto armado, apresentando diversas vantagens. Entretanto, nota-se, por meio de observações e diálogos, que não há uma aplicação ampla desse procedimento nas construções residenciais e prediais realizadas na cidade de Maringá-PR. Dentre os objetivos do trabalho está esclarecer as concepções dos profissionais, bem como as análises de viabilidade e aplicação relacionados ao uso efetivo do concreto protendido, bem como averiguar as dificuldades, necessidades e perspectivas dos profissionais relativas ao tema. Mediante uma pesquisa de campo, foram coletadas informações relacionadas à aplicabilidade dessa técnica, por meio de entrevistas junto a empresas que atuam no mercado da construção civil, em Maringá-PR; além de um levantamento teórico pertinente ao assunto. Um dos resultados foi a constatação de que a técnica é preferencialmente aplicada como solução em situações pontuais do projeto estrutural, relacionadas, principalmente, a vigas com vãos livres grandes e diminuição do volume de elementos estruturais, visando maior conforto sensorial e estético. Contudo, gradativamente, a utilização da protensão tem sido encarada, também, como uma forma de repensar e modernizar conceitos na elaboração de projetos estruturais. Isso impacta os empreendimentos de forma sistêmica, considerando a possibilidade de eliminar vigas, pilares e elementos de fundação; reduzindo os custos de um empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Protensão, armadura ativa, cordoalhas, estruturas em concreto.

ABSTRACT

The prestressed concrete is a technical evolution of reinforced concrete, presenting several advantages. However, it can be observed, through some observations and dialogues, that there isn't a wide application of this procedure in the

residential and building constructions in the city of Maringá-PR. Through field research, informations related to the applicability of this technique was collected, by interviews with companies that work in the civil construction market, in Maringá-PR; besides a theoretical survey pertinent to the subject. Among the objectives of the work, we highlight clarifications about conceptions, applications and feasibility analysis related to the effective use of the prestressed concrete, as well as to ascertain the difficulties, needs and perspectives of professionals related to the theme. It was found that the technique is preferably applied as a solution in specific situations of structural design, to heal technical and architectural demands, related, mainly, to greater free spans and decrease of the volume of structural elements, aiming for greater sensorial and aesthetic comfort. However, gradually, the use of protension has also been considered as a way to rethink and modernize concepts in the elaboration of structural projects, impacting the enterprises in a more systemic way, considering the possibility of removing beams, pillars and foundation elements, reducing the costs of an enterprise.

KEYWORDS: Prestressed concrete, prestressing, active armor, concrete structures.

1. INTRODUÇÃO

A combinação de concreto à base de cimento Portland com barras de aço, para a formação de elementos estruturais de uma edificação, é considerada, por estudantes e profissionais, como uma das revoluções tecnológicas mais importantes na área da construção civil. Por conta da interação dos seus e de suas propriedades mecânicas, o concreto se tornou uma alternativa à pedra natural, com a vantagem de ser mais fácil de ser moldado.

Embora possua uma boa resistência à compressão, o concreto tem baixa resistência à tração, (que seria,

aproximadamente, um décimo da resistência à compressão)^{1,2}. Essa particularidade impede que uma estrutura apenas em concreto possa ter grandes vãos e alturas. Essas tensões surgem da combinação dos carregamentos, (como o peso próprio e as cargas decorrentes do uso da edificação). Então, para aumentar a resistência dos elementos, iniciou-se a utilização do aço, (combinado ao concreto), que possui resistências elevadas, para melhor absorver os esforços solicitantes de tração. Eis aqui um fator fundamental para o desenvolvimento da construção civil no século XX: o desenvolvimento do concreto armado¹. Ainda segundo Adão e Hemerly (2010)¹, a quase perfeita aderência entre o aço e o concreto, bem como a proximidade dos coeficientes de dilatação dos dois materiais, permitiram o uso eficaz da combinação desses materiais. O fato de o concreto envolver o aço também é importante, de forma a proporcionar a necessária proteção ao metal contra os efeitos da corrosão, decorrente da exposição ao ambiente.

Contudo, o aparecimento de fissuras foi um fator de retardo para a utilização do concreto armado, pois, era considerado prejudicial à estrutural. Sabe-se, atualmente, que as fissuras são apenas capilares, uma vez que as barras de aço utilizadas sejam bem distribuídas e de diâmetro não superior ao necessário; e que tais fissuras não representam perigo de corrosão para a armadura. Segundo Leonhardt e Mönnig (2008)³, Matthias Koenen propôs, em meados do ano de 1907, que as barras de aço fossem tracionadas previamente, provocando, posteriormente, tensões de compressão elevadas no concreto, a fim de evitar a fissuração decorrente de flexão. Essa evolução do concreto armado foi denominada como concreto protendido.

Uma definição simples para concreto protendido é: “um concreto armado com armaduras ‘previamente tensionadas’”³; ou seja, produz-se de um estado de tensão na constituição de um elemento estrutural⁴. Infe-re-se, assim, seguindo as definições da NBR 6118/2014⁵, que concreto armado se refere ao concreto que possui, em sua constituição, uma armadura passiva. Por sua vez, o concreto protendido é a designação de um concreto no qual existe uma armadura ativa, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento⁵. Bastos (2018)⁶ destaca que o tensionamento prévio do aço, em deformação elástica, terá como consequência a compressão da seção transversal da peça, pela tendência natural do aço, nessas condições, de retornar à sua forma e tamanho originais (ou seja, antes do tensionamento). Dessa forma, as tensões de tração decorrentes do uso da estrutura (isto é, após a aplicação de cargas permanentes e variáveis) seriam amenizadas, diminuindo os efeitos da baixa resistência do concreto à tração.

As primeiras tentativas práticas não tiveram êxito, porque ainda não se tinha noção sobre a perda e protensão, devido à retração e deformação lenta do concreto (o que seria reconhecido por Koenen e Mörsh

por volta de 1912). Em 1919, o alemão K. Wettstein utilizou cordas de aço para piano (que tem alta resistência) na fabricação de painéis de concreto; o que contribui para que, em 1923, o americano R. H. Dill reconhecesse a necessidade de utilizar aços de alta resistência para superar as perdas de protensão, por meio do aumento das tensões prévias na armadura^{3,4}.

Veríssimo e César Júnior (1998)⁴ e Leonhardt e Mönnig (2008)³ concordam em dar destaque aos trabalhos do francês Eugene Freyssinet, como os de maior importância no desenvolvimento da tecnologia do concreto protendido, no início do século XX. Em 1928, Freyssinet apresentou resultados mais consistentes em relação aos estudos e ensaios sobre concreto protendido; especialmente por deduzir que, para que a protensão das armaduras de aço tenha efeito duradouro, seriam necessárias elevadas tensões, (o que seria possível somente com a aplicação de aços de alta resistência). Assim, o estudioso francês desenvolveu processos, equipamentos e materiais que influenciaram expressivamente no aprimoramento da tecnologia do concreto protendido, bem como na disseminação do seu uso na construção civil.

Veríssimo e César Júnior (1998)⁴ constatavam, no final da década de 1990, que o concreto protendido já havia se consagrado como uma técnica construtiva relevante no Brasil. Isso pode ser notado pela grande quantidade e variedade de obras em que o concreto protendido foi utilizado (pontes, silos, edifícios, etc.). Entretanto, essa situação foi fruto de um processo que começou no final da década de 1940 (ou seja, aproximadamente duas décadas após a publicação dos trabalhos de Eugene Freyssinet, na França, em 1928).

Bastos (2018)⁶ informa que o concreto a ser utilizado em elementos com protensão precisa ter uma resistência maior que o concreto usado em elementos sem protensão, devido aos valores elevados das solicitações advindas da protensão; além disso, o concreto de maior resistência auxilia na redução das dimensões e do peso próprio dos elementos. Em relação às armaduras ativas, Fusco (1995)⁷ afirma, que não somente o aço deve ter características aprimoradas (em especial, relativas à resistência à tração), mas, também, a concepção e a execução das armaduras ativas requerem maiores cuidados e responsabilidades, tanto no manuseio e no posicionamento das cordoalhas¹, bem como na operação dos equipamentos, como o macaco hidráulico².

Vantagens e desvantagens do concreto protendido

Bastos (2014)⁸ apresenta como uma vantagem do concreto protendido a utilização de materiais de maior resistência (exemplo: resistência à compressão de 85

¹ Cabos de aço que são tensionados (protendidos), formando a armadura ativa do elemento estrutural.

² Equipamento utilizado para tensionar (protender) as cordoalhas, esticando-as, após o posicionamento das mesmas, conforme procedimentos específicos.

MPa para concreto e aços com resistência característica de escoamento à tração de 2100 MPa). Além disso, a protensão faz com que toda a seção transversal resista às tensões, proporcionando uma utilização otimizada dos materiais e, também, melhora a resistência aos esforços cortantes. Assim, é possível construir elementos estruturais mais leves e mais esbeltos, com menos ou nenhuma fissura visível a olho nu, favorecendo estaticamente a construção.

Buchaim (2007)², contribui expondo que o concreto protendido apresenta maior resistência à fadiga do aço, por conta da pequena oscilação da sua tensão, derivada da pouca fissuração das peças de concreto. Alia-se a isso o fato de a armadura ter melhor disposição na seção transversal, visto que a alta resistência do aço diminui sua área na seção. Por gerar elementos mais leves e esbeltos, o uso do concreto protendido pode diminuir custos com pilares e fundações, devido a possibilidade de reduzir o uso de materiais na formação desses elementos. Ademais, majora a resistência às tensões por força cortante e por torção. Os itens citados permitem, então, técnicas construtivas que podem representar vantagens econômicas e operacionais, como a pré-fabricação de elementos estruturais, por exemplo.

Veríssimo e César Júnior (1998)⁴ chamam a atenção para a possibilidade de aceleração do processo de produção, pois, com pouco tempo de cura, um concreto com alta resistência à compressão alcança condições suficientes para suportar a protensão. Soma-se a isso o fato de que vigas e lajes em concreto protendido, sendo mais leves, podem vencer vãos maiores, se comparadas às vigas e lajes em concreto armado. Outra observação importante desse autor é que, por causa da considerável diminuição das fissuras, há uma proteção ainda melhor contra a corrosão do aço.

Contudo, Hanai (2005)⁹ solicita precaução, quando escreve sobre a tentação de concluir que o concreto protendido será sempre a melhor opção, em relação ao concreto armado. Isso, porque, existem algumas considerações que precisam ser apreciadas, antes de se decidir pelo concreto protendido na concepção de projetos estruturais. Uma das considerações se refere à disponibilidade de tecnologias, recursos, materiais e profissionais com conhecimento para a elaboração de projetos e execução de obras em concreto protendido. Outra questão importante é avaliar se o concreto protendido é, de fato, uma alternativa favorável em cada situação específica (não seria vantajoso, por exemplo, em casos de pilares e fundações em que existe pequena excentricidade nos esforços de compressão). Portanto, cada caso deve ser analisado em particular, antes de se decidir pelo uso ou não do concreto protendido.

Buchaim (2007)² menciona, também, alguns itens, que merecem atenção na análise de casos em que existe a intenção de uso do concreto protendido. Faz-se necessário ter ciência de que a maior esbelteza dos elementos aumenta o risco de vibração por cargas móveis em pontes e lajes de garagens, por exemplo.

Além disso, na execução da protensão do aço, in loco, a mão-de-obra necessita ser especializada, com domínio das técnicas e procedimentos operacionais. Na elaboração dos projetos com concreto protendido, é preciso ter maior atenção aos Estados Limites de Serviço, além de clareza conceitual quanto às ações da protensão nos elementos, ao conceber projetos estruturais.

Tipos ou sistemas de protensão

De acordo com Leonhardt (1983)¹⁰, existem duas formas de fazer a protensão do concreto: a) pré-tensão: quando a armadura ativa é tracionada antes do endurecimento do concreto; b) pós-tensão: quando o tracionamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento adequado do concreto.

Com base nessas duas formas de protensão, a NBR 6118/2014⁵ e alguns dos autores pesquisados^{2,4,8}, apresentam três tipos de protensão, que são: protensão com aderência inicial ou concreto com armadura ativa pré-tracionada; protensão com aderência posterior ou concreto com armadura ativa pós-tracionada; e protensão sem aderência ou concreto com armadura ativa pós-tracionada sem aderência. Nessas definições, além do momento da protensão (antes ou após o endurecimento do concreto), existe a diferenciação quanto à aderência entre o aço e o concreto. Dessa forma, essa divisão pode ser representada pela Figura 1:

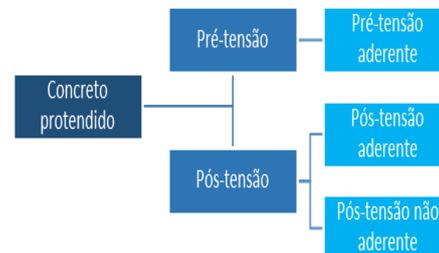


Figura 1. Divisão dos tipos de concreto protendido. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018)

Graus ou níveis de protensão

Hanai (2005)⁹ ressalta que é possível estipular os valores de intensidade e excentricidades das forças de protensão, de acordo com os estados limites de serviço (ou de utilização); tendo em vista que a protensão é aplicada no intuito de limitar ou impedir a fissuração, em condições de uso. Então, apresenta três questões relativas a esse assunto: até em que nível essas forças de protensão devem ser aplicadas? Em que casos a fissuração deve ser impedida? Em quais situações a fissuração pode ser apenas limitada?⁹. As respostas a essas questões estão relacionadas aos requisitos determinados para o uso de uma estrutura, que nortearão os critérios de projeto segundo os quais a protensão deve ser aplicada. Esses requisitos estão ligados, especialmente, às exigências de durabilidade e proteção da armadura.

O item 13.4 da NBR 6118/2014⁵ trata justamente sobre o controle de fissuração e proteção de armaduras.

Segundo tal item, é inevitável o aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado. Contudo, um controle da abertura dessas fissuras pode ser realizado, visando um bom desempenho quanto à proteção das armaduras aos efeitos da corrosão (que podem ser mais nocivas às armaduras ativas, pela possibilidade de corrosão sob tensão), bem como diminuir o desconforto sensorial dos usuários. A tabela 13.4 da NBR 6118/2014⁵ apresenta os valores limites de abertura máxima característica das fissuras (w_k), relacionando-os aos Estados Limites de Serviço (ELS), que precisam ser analisados e comparados com esses limites. Os valores limites de abertura máxima característica das fissuras (w_k) também são vinculados às classes de agressividade ambiental (CAA), apresentadas a tabela 6.1 da NBR 6118/2014⁵.

Apresentados os parâmetros acima, para melhor contextualização, reproduzimos a tabela 13.4 da NBR 6118/2014 abaixo, na Tabela 1. São apresentados os seguintes níveis de protensão: completa ou total, limitada e parcial.

Tabela 1. Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I e CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).
 NOTAS
 1) As definições de ELS-W ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.
 2) Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.
 3) No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: 2014⁵

Bastos (2018)⁶, faz as seguintes observações a respeito dos níveis de protensão, que ajudam a entender melhor a Tabela 1: na protensão completa não são

admitidas tensões normais de tração (apenas se ocorrerem nas combinações raras de ações de serviço, até o surgimento de fissuras); na protensão limitada podem existir tensões normais de tração, desde que não surjam fissuras (apenas em combinações raras de ações de serviço é que o surgimento de fissuras é tolerado, sendo que as mesmas seriam fechadas após cessar essa combinação de ações); na protensão parcial, além de serem admitidas as tensões normais de tração, são toleradas a ocorrência de fissuras de até 0,2 mm de abertura. Acrescenta-se que, em estruturas de concreto armado, as fissuras podem chegar até 0,4 mm de abertura, dependendo da classe de agressividade ambiental, sem importância significativa para a corrosão das armaduras passivas, para a durabilidade e a segurança da estrutura⁵.

Leonhardt (1983)¹⁰, contudo, adverte que “é errôneo pensar que uma protensão total conduz a um melhor comportamento estrutural do que uma protensão parcial ou limitada; o contrário, porém, pode ser o caso”. Segundo esse autor, a protensão total é realmente necessária em situações em que o aparecimento de fissuras deva ser impedido, como em paredes de reservatórios, por exemplo.

Assim, pela relevância acadêmica e prática do assunto, decidiu-se pela realização de um levantamento de dados sobre a utilização do concreto protendido junto a algumas construtoras e projetistas estruturais que atuam em Maringá-PR. O objetivo foi ter uma melhor noção de como o concreto protendido tem sido visto e efetivamente inserido no mercado de construção civil nesse Município; especialmente no que tange à análise de viabilidade do uso dessa técnica em obras residenciais e prediais, bem como detectar perspectivas futuras dos profissionais quanto ao tema. Uma das motivações (e, portanto, um dos objetivos) desta pesquisa é servir como uma fonte de informações que possa auxiliar os profissionais da engenharia civil a analisar a possibilidade de utilização do concreto protendido na concepção de projetos.

O objetivo geral foi realizar uma pesquisa de campo, junto a construtoras e projetistas estruturais com participação no mercado da engenharia civil no Município de Maringá-PR, sobre a aplicação, técnicas empregadas, análise de viabilidade e perspectivas futuras relativas ao concreto protendido. Em consequência dessa pesquisa (ou seja, os objetivos específicos), buscou-se traçar um panorama histórico do início da utilização do concreto protendido no Município de Maringá-PR, a partir dos dados coletados na pesquisa de campo; relacionar as principais aplicações do concreto protendido por projetistas estruturais e construtoras na concepção e execução de obras civis e elencar as vantagens e desvantagens, do ponto de vista técnico e econômico, da utilização do concreto protendido, vistos pelas construtoras e projetistas estruturais, a fim de entender melhor o processo de análise e decisão pelo uso ou não dessa técnica nas construções.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como forma de delimitação do presente trabalho, indica-se que a pesquisa foi realizada no segundo semestre do ano corrente (2018), na cidade de Maringá-PR, envolvendo profissionais da área da construção civil, especialmente ligados às construtoras, escritórios de projetos estruturais e prestadores de serviço especializados na protensão do concreto.

Foi aplicada a técnica da entrevista, que, conforme Severino (2007)¹¹, consiste na coleta de informações a respeito de um certo assunto, solicitadas de forma direta aos sujeitos pesquisados, onde o pesquisador almeja aprender os que eles pensam, sabem, argumentam, etc. Mais especificamente, trata-se de uma entrevista estruturada, na qual as questões são previamente estabelecidas e direcionadas pelos próprios autores do estudo, com uma articulação interna, sendo muito semelhante a um questionário, sem, contudo, ser impessoal; assim, foi possível obter respostas bem direcionadas e mais fácil categorização¹¹.

Segundo Gerhardt e Silveira (2009)¹², a amostra adotada para a realização das entrevistas pode ser classificada como ilustrativa, pois representa qualitativamente a população objeto da pesquisa (ou seja, as construtoras e projetistas estruturais da cidade de Maringá-PR); não sendo, portanto, uma amostra representativa (isto é, não retrata quantitativamente a população). O fato da amostra ser ilustrativa decorre da escolha aleatória dos participantes das entrevistas por conveniência, de acordo com a disponibilidade dos profissionais consultados em contribuir para a pesquisa^{13,14}. Aliás, dificuldades quanto à disponibilidade dos participantes fizeram com que algumas informações fossem coletadas de forma remota, mediante textos enviados por alguns participantes via e-mail, em resposta ao questionário que lhes havia sido encaminhado.

Os resultados da pesquisa de campo, realizada por meio de entrevistas, que se deram entre os dias 21 de agosto e 23 de outubro de 2018. Foram realizadas 15 (quinze) entrevistas com representantes de empresas da construção civil que atuam na cidade de Maringá-PR, que utilizam a técnica do concreto protendido em seus empreendimentos.

De posse dos dados obtidos da pesquisa e informações derivados da revisão bibliográfica e da entrevista estruturada, procedemos a análise e interpretação dos mesmos, o que, segundo Marconi e Lakatos (2017)¹³, constitui o núcleo central da pesquisa, proporcionando respostas às investigações. Na análise, maiores detalhes foram verificados pelo pesquisador, visando obter respostas às indagações prévias e estabelecer relações entre dados, informações e hipóteses; e a interpretação é a atividade na qual significados são atribuídos às respostas obtidas, vinculando-os entre si e a outros conhecimentos¹³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ressalta-se que 5 (cinco) profissionais procurados para participar da pesquisa alegaram que as obras de responsabilidade da empresa nas quais trabalham não utilizam concreto protendido; e que não há previsão de uso dessa técnica por parte das empresas. Por isso, essas empresas não participaram da pesquisa. Esse fato exemplifica mais uma limitação da amostra da pesquisa, além da indisponibilidade de alguns profissionais em contribuir para a pesquisa (conforme citado na caracterização da amostra, na seção relativa aos materiais e métodos da pesquisa).

Primeiramente, destaca-se que há uma divisão no mercado entre empresas que fazem apenas os projetos estruturais, empresas que apenas executam as obras e empresas que são especializadas na protensão do concreto, doravante denominadas genericamente neste trabalho da forma como está especificado na Tabela 2.

Tabela 2. Denominações genéricas para os grupos de empresas/profissionais participantes das entrevistas.

Denominação genérica	Descrição da atividade principal (diferenciadora)	Quantidade entrevistada
Classe A	Empresas/profissionais que realizam apenas projetos estruturais.	5
Classe B	Empresas/profissionais que apenas executam obras de construção civil de cunho imobiliário.	5
Classe C	Empresas/profissionais que são especializadas em apenas proceder a protensão do concreto, como prestadoras de serviço para terceiros.	3
Classe D	Empresas/profissionais que executa obras de construção civil de cunho imobiliário e protensão do concreto (obras próprias).	1
Classe E	Empresas/profissionais que realizam projetos estruturais e protensão do concreto como prestadoras de serviço para terceiros.	1

Fonte: elaborado pelo autor (2018). Descrição das classes: A – Projetistas estruturais; B - Empresas executoras; C - Empresas especializadas; D - Empresa executora com mão de obra própria para protensão do concreto; E – Empresa projetista e especializada.

Das empresas que participaram das entrevistas, 5 (cinco) são projetistas estruturais (classe A), 5 (cinco) são empresas executoras (classe B) e 3 (três) são empresas especializadas prestadoras de serviço (classe C). Apenas 2 (duas) empresas fazem duas dessas atividades: uma realiza projeto e protensão do concreto

(isto é, classe E, projetista e especializada); a outra executa obras e também faz a protensão em suas próprias obras (ou seja, classe D). Nenhuma das empresas produz elementos protendidos pré-moldados (ou seja, com protensão aderente). Por conta dessa divisão das atividades, as informações cedidas pelos três grupos de empresas são complementares; ou seja, as informações que um grupo não detinha eram cedidas pelos outros grupos.

Essa divisão também explica outra constatação da pesquisa: a maioria das empresas executoras entrevistadas não tem mão de obra própria para o serviço de protensão do concreto, exceto duas (reitero que uma delas faz a protensão do concreto apenas em obras próprias). Isso porque a maioria das empresas executoras julgam ainda ser economicamente inviável se ter uma equipe própria, materiais e equipamentos para a realização do procedimento de protensão do concreto em suas obras. Em alguns casos, ocorre a seguinte situação: os profissionais que preparam e posicionam as armaduras passivas (chamados armadores) são designados a fazerem a preparação e o posicionamento das armaduras ativas também; porém, sob a supervisão de um técnico da empresa especializada e terceirizada (que fica no canteiro de obras para a realização desse serviço).

O representante da única empresa que tem mão de obra própria, capaz de fazer a execução do concreto protendido em suas próprias obras, alegou que adotou essa estratégia a fim de diminuir a dependência das empresas especializadas (terceirizadas). Em especial, pela recorrente incompatibilidade de datas e horários entre sua empresa e as prestadoras de serviços de protensão, que afeta negativamente no cronograma de alguns de seus empreendimentos.

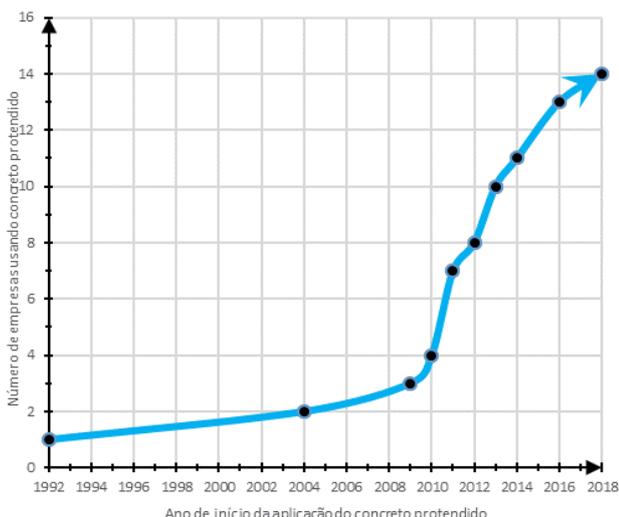


Figura 2. Evolução histórica do início da aplicação do concreto protendido. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018)

O uso do concreto protendido em obras residenciais e prediais em Maringá-PR se iniciou na década de 1990 (coincidindo com a consolidação da técnica no Brasil, conforme citado na seção 3.1 deste trabalho); o ano de

1992 foi a citação mais antiga para o início de utilização do concreto protendido, sendo do tipo protensão aderente (vigotas pré-moldadas para lajes). Porém, a maioria dos entrevistados informou que iniciou o uso do concreto protendido na década de 2010, conforme Figura 2.

A Figura 2 mostra que, a partir de 1992, transcorreu um período de doze anos até que, em 2004, outra empresa começasse a utilizar a protensão do concreto. Então, entre 2009 e 2018, ou seja, em nove anos, houve um aumento significativo no número de empresas que iniciaram aplicação do concreto protendido em seus empreendimentos; mostrando que ocorreu uma maior disseminação e, conseqüentemente, maior adesão à essa técnica em Maringá-PR nesse período. Algumas empresas executoras participantes das entrevistas informaram que as primeiras obras nas quais foi usado o concreto protendido ainda estão em andamento, demonstrando, assim, que a técnica ainda deve ter maior disseminação e utilização nos próximos anos.

Ressalta-se que uma das empresas participantes não informou a data em que iniciou a aplicação da protensão, ao responder o questionário (mesmo após nova solicitação). Porém, o representante dessa empresa informou que a protensão ainda é pouco utilizada em suas obras e em situações bem específicas.

Uma unanimidade entre os entrevistados foi a indicação da pós-tensão não aderente como sendo o tipo de protensão mais utilizada em obras residenciais e prediais. Apenas dois entrevistados citaram o uso de pré-tensão aderente (pré-moldados protendidos) nesse tipo de obra. Todos também informaram que a pós-tensão aderente é mais utilizada em outros tipos de obras de grande porte, como viadutos, pontes, etc. Quanto ao nível de protensão, as informações se organizam da forma apresentada na Figura 3.

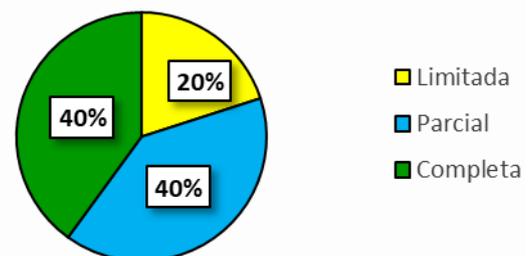


Figura 3. Distribuição dos níveis de protensão utilizados. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

Foi observado que, quanto aos níveis de protensão, os entrevistados indicaram que as mais utilizadas são a protensão completa (40% dos participantes) e a protensão parcial (40% dos participantes). Contudo, uma parcela dos entrevistados (20%) citou a protensão limitada como sendo de sua preferência. Obviamente, a escolha do nível de protensão está atrelada à cada situação específica no projeto, relacionada às verificações solicitadas (quanto à tolerância de existência de tração, fissuras no concreto, etc.).

Entretanto, percebemos, em decorrência das

informações cedidas pelos entrevistados, que a aplicação da protensão completa se dá mais por questões estéticas, no intuito de eliminar o aparecimento de fissuras; e não por demandas técnicas do projeto. Esse comportamento pode demonstrar um déficit em relação ao conhecimento da aplicação da técnica da protensão, pois, conforme já explanado, na seção 3.4 desse trabalho, a protensão limitada também pode ser utilizada, buscando eliminar o aparecimento de fissuras, mesmo admitindo a ocorrência de forças de tração no elemento.

Além disso, observando a Tabela 1, verifica-se que a Norma 6118/2014⁵ permite que a protensão parcial seja utilizada, no caso de pós-tensão, em situações em que a classe de agressividade seja considerada fraca ou moderada e a classe de ações seja frequente (onde se enquadram a maioria das situações de projetos para obras residenciais e prediais).

Durante todas as entrevistas, ideias relativas à avaliação de situações para decidir pela utilização ou não do concreto protendido, permearam as falas dos colaboradores. Isso porque todas as questões apresentadas têm por intuito, direta ou indiretamente, levantar informações que busquem esclarecer as observações e considerações realizadas para essa tomada de decisão, que envolve fatores técnicos, econômicos e, até mesmo, logísticos.

Todos os entrevistados afirmaram que o principal item analisado é o vão livre, pois é o que determina, em conjunto com os carregamentos, algumas características importantes dos elementos estruturais projetados, como as flechas, as dimensões da seção transversal, entre outros; refletindo em requisitos técnicos e estéticos. Algumas medidas foram citadas como parâmetro, a partir do qual são analisadas possibilidades de aplicação da protensão do concreto: considerando a menor medida informada sendo de 5 metro e a maior medida citada sendo de 8 metros; chega-se a uma média de 6,5 metros de vão livre como um bom parâmetro para que o uso da protensão seja inicialmente cogitado. Portanto, a princípio, a decisão pela utilização da protensão tem objetivo de caráter técnico, pois a intensão inicial é o melhor controle de deflexões, decorrentes dos vãos livres.

O protagonismo do vão livre nas análises em relação ao uso do concreto protendido também é corroborado pela pesquisa apresentada por Giovanaz e Fransozi (2017)¹⁵. As empresas que participaram da pesquisa foram unânimes em afirmar (ao indicar em qual situação seria mais vantajoso o uso do concreto protendido) que essa técnica é necessária para vencer grandes vãos, confirmando, assim, que esse é um item de grande importância nas avaliações.

Aliado a isso, busca-se atender algumas exigências estéticas do projeto arquitetônico, visto que elementos em concreto protendido tem seção transversal menor que elementos em concreto armado, estando ambos em mesmas condições (mesmo vão, mesma carga. etc.), reduzindo ou, até mesmo, eliminando a proeminência dos elementos estruturais nos ambientes da construção

(por exemplo: saliência de vigas em cômodos onde há maior circulação de pessoas e onde seja interessante que haja uma maior leveza visual no ambiente). Isso porque a existência da protensão em um elemento estrutural faz com que haja uma redução significativa das forças de tração, ao mesmo tempo em que a resistência à compressão do concreto é melhor usufruída; assim, os diâmetros das barras de aço da armadura passiva diminuem no dimensionamento. Dessa forma, a seção transversal do elemento pode ser reduzida, tanto pela possibilidade de acomodação das armaduras de aço em um espaço menor, quanto pela menor contribuição da inércia da peça em sua resistência.

Importante salientar que, embora o concreto protendido atualmente ainda seja visto como uma solução para situações pontuais em um projeto, aplicado a um ou outro elemento estrutural, a técnica da protensão também é concebida como um meio para modificar conceitualmente projetos estruturais como um todo. Foi mencionada, por exemplo, a intenção de eliminar pilares em determinados casos, fazendo-se uso de vigas com vão maiores (o que tem sido uma demanda arquitetônica constante atualmente).

Outro caso interessante apontado foi a utilização de lajes planas protendidas como um ponto de partida para a concepção estrutural de edificações prediais (esse tipo de laje não comumente usada em obras residenciais); possibilitando de redução de vigas e pilares na estrutura. Essas alternativas têm consequências positivas nos projetos, não somente do ponto de vista econômico, mas, também, no que tange ao nível de personalização dos imóveis, dando espaço para várias alternativas arquitetônicas, sem que elementos estruturais sejam empecilhos ou limitantes técnicos, estéticos e econômicos.

No que tange aos aspectos econômicos, há dificuldade de inferir nas entrevistas uma comparação detalhada dos custos em empreendimentos com e sem o uso do concreto protendido. Seriam necessários dados e informações muito específicas para que uma demonstração detalhada fosse realizada. Contudo, algumas informações gerais, baseadas principalmente em estimativas e na experiência dos entrevistados, ajudam a formar um conceito melhor dos reflexos econômicos envolvendo a protensão.

Foi averiguado que um projeto estrutural no qual seja aplicado concreto protendido tende a ser aproximadamente 30 % mais caro que um projeto estrutural convencional sem protensão. Essa variação oscila de acordo com a complexidade do projeto; sendo o valor máximo citado nas entrevistas de 50 %. A justificativa para essa diferença é o maior nível de dificuldade nas verificações estruturais envolvendo a protensão do concreto. Alguns softwares utilizados na feitura de projetos estruturais possuem módulos que permitem o dimensionamento e as verificações necessárias à protensão do concreto. Porém, conforme citado por um dos entrevistados, é preciso avaliar se a aquisição desse módulo do aplicativo é

economicamente viável, observando o valor do mesmo, bem como a frequência de utilização.

Outra distinção em relação aos custos advém da diferença de valores de alguns dos materiais utilizados no concreto protendido, em relação ao concreto armado convencional. Conforme averiguado nas pesquisas por meio das entrevistas (portanto, valores percebidos pelos profissionais da área, que compram em grandes quantidades e mantém parcerias comerciais), o quilo das barras de aço comumente utilizadas em armaduras passivas em obras residenciais e prediais (pela experiência dos entrevistados, barras de aço CA-50 entre 8 mm e 20 mm de espessura) tem um valor de mercado entre R\$ 4,00 a R\$ 5,00, aproximadamente. Já o quilo da cordoalha para protensão mais utilizada nas obras residenciais e prediais (pela experiência dos entrevistados, cordoalhas engraxadas e plastificadas CP 190 RB de 12,7 mm de diâmetro) são encontradas com preços que variam de R\$ 6,00 chegando até R\$ 12,00.

Esses valores variam de acordo com alguns requisitos, como, por exemplo, fabricante, processo de fabricação, disponibilidade do material na região (relacionada ao frete), quantidade do material a ser utilizada pelo comprador (mediante negociação com o vendedor), variação do valor do dólar, etc. Para melhor visualização das informações, os dados foram organizados na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação do preço do quilo da barra de aço e da cordoalha de aço engraxada.

Kg da barra (vergalhão) de aço CA-50, de 12,5 mm de diâmetro	Kg da cordoalha engraxada e plastificada CP 90 RB, de 12,7 mm (7 fios)
Entre R\$ 4,00 e R\$ 5,00	Entre R\$ 6,50 e R\$ 12,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Portanto, apenas nesse quesito, vemos que a diferença no valor do material chega a passar dos 100%. Ressalta-se que, a utilização da protensão no concreto não elimina a existência de uma armadura passiva no elemento protendido.

Todavia, apesar desses acréscimos nos valores de alguns itens, a maioria dos entrevistados afirmou que a utilização do concreto protendido proporcionou uma economia de aproximadamente 10% na finalização do empreendimento, variando o percentual, evidentemente, de cada situação. No caso de edificações prediais com o uso de lajes planas protendidas, foi citado que a economia na parte estrutural chega a aproximadamente 25%, em relação ao uso de lajes nervuradas, por exemplo. Essa possibilidade de economia é relativa a modificações técnicas decorrentes da aplicação da protensão em determinados elementos estruturais, dentre as quais podemos citar as seguintes:

a) a aplicação da protensão tem como uma consequência a diminuição da seção transversal do elemento protendido. Isso porque a compressão causada pela armadura ativa diminui as trações no elemento, fazendo com que o concreto tenha um papel menor no auxílio

à resistência às trações residuais. Portanto, a inércia tem contribuição reduzida na rigidez da peça protendida, se comparada à uma peça em concreto armado. Assim, o volume de concreto é decrescido.

b) em alguns casos, duas vigas separadas por um pilar podem se transformar em uma única viga, com um vão maior, viabilizando a eliminação do pilar que havia sido previsto anteriormente. Essa oportunidade culmina na eliminação de uma demanda de concreto, aço e outros materiais e serviços que seriam necessários para a composição daquele pilar. Por conseguinte, não havendo ali mais a necessidade de um elemento estrutural vertical, é suprimida a existência de um elemento de fundação naquele local (como um bloco, por exemplo); reduzindo ainda mais a demanda por materiais e serviços.

c) foi citado também, por alguns entrevistados, a redução do tempo para a produção de elementos protendidos como uma vantagem econômica, podendo, em alguns casos, influenciar positivamente no cronograma geral do empreendimento (ou seja, reduzindo o tempo para a entrega final da obra). Isso em razão do fato de que a aplicação da protensão em cordoalhas engraxadas (que é a chamada protensão não aderente, apontada como o tipo comumente utilizado nas obras residenciais e prediais) pode ser executada com até 3 dias após a concretagem (dependendo do fck do concreto e do tempo necessário para que o mesmo atinja a resistência parcial adequada para a protensão das cordoalhas).

d) a aplicação da laje plana protendida, possibilita uma concepção diferenciada do projeto estrutural desde o início, refletindo na redução de vigas e pilares em locais onde, provavelmente, haveria essa necessidade, em caso de utilização de outro tipo de laje. Um dos entrevistados mencionou que espaços de 115 m² estariam livres de pilares em uma obra em andamento, fazendo com que a planta do imóvel seja muito mais flexível (o que também pode ser agregado no valor de venda do imóvel).

As informações apresentadas condizem com o que foi demonstrado por Castro (2011)¹⁶. Segundo o autor, foi feita uma comparação da aplicação de dois métodos construtivos de lajes para um mesmo projeto: utilizando a laje maciça em concreto armado apenas e, também, aplicando a laje plana protendida. “O resultado foi proporcionar uma construção limpa, leve, barata, versátil e rápida”¹⁶.

Para evidenciar os resultados de sua pesquisa de forma clara, Castro (2011)¹⁶, apresenta valores percentuais resultantes da comparação realizada em seu trabalho, indicando que o projeto com laje protendida proporcionou uma redução de 14% nos custos e de

17% no peso próprio (sem considerar as vigas), se comparado ao mesmo projeto, porém, com laje maciça convencional em concreto armado. Em contrapartida, o projeto realizado com lajes convencionais em concreto armado indicou um aumento de 61% no uso de aço e de 11% no uso de fôrmas, em contraste com o mesmo projeto com aplicação de laje protendida. Acrescenta-se a esses itens a percepção externada por um dos entrevistados, sobre a redução e, até mesmo, a eliminação de certas patologias relativamente nas estruturas, especialmente fissuras e trincas.

Ao fim das entrevistas, os participantes foram incentivados a comentar sobre suas expectativas em relação ao uso do concreto protendido em Maringá-PR, no que tange a tendências tecnológicas e mercadológicas, dificuldades a serem superadas, demandas em ascensão e sobre seus desejos pessoais em relação ao tema. Uma consonância entre os participantes foi a necessidade de ultrapassar paradigmas culturais relacionados ao concreto protendido. Todos disseram que ainda existe resistência quanto a aplicação dessa técnica, por desconfiança quanto à sua eficácia ou por uma análise limitada das questões econômicas envolvendo seu uso. Na opinião da maioria dos entrevistados, isso demonstra falta de conhecimento de uma parte considerável de pessoas do meio da construção civil, que ainda não tem boa noção técnica da protensão e, tendo tal noção, ainda existem pontos importantes que precisam ser esclarecidos, para melhor compreensão do método e de suas vantagens e desvantagens.

Um dos entrevistados ainda citou que quando a protensão começou a ser aplicado em Maringá-PR, os projetistas estruturais optaram por reforçar as estruturas, por questões de desconfiança quanto ao desempenho seguro da protensão, o que acabou por fazer com que a técnica fosse vista como muito cara e, por vezes, inviável. Além disso, ocorreram também erros na aplicação da técnica. Esses fatos contribuíram para que o concreto protendido fosse tratado na região com suspeitas quanto à sua eficácia e viabilidade.

Relacionada a essa questão cultural, está a falta de uma demanda maior pelo uso do concreto protendido, o que influencia diretamente no custo dos materiais, equipamentos e mão-de-obra, segundo os entrevistados. Para um entendimento mais acurado, destaca-se o fato de existir no Brasil apenas uma empresa que fabrica cordoalhas engraxadas para protensão: a Arcelor Mittal, em conjunto com a Belgo Bekaert Arames (uma *joint venture*), situada no Estado Minas Gerais o que também impacta no preço do frete para o transporte das cordoalhas. Portanto, a falta de uma demanda nacional maior faz com que outras empresas (como a Gerdau, por exemplo) não sejam estimuladas a fabricar esse material, o que poderia contribuir, em médio a longo prazo, na redução de preços desse tipo de cordoalha, a princípio.

Uma outra necessidade citada é a promoção de mais meios através dos quais assuntos relacionados ao concreto protendido sejam disseminados na região de

Maringá-PR, assim como ocorre em grandes centros urbanos (como na região de São Paulo-SP, por exemplo). Um maior impulsionamento e divulgação de palestras, simpósios, cursos afins e etc. seriam formas de tornar a técnica da protensão do concreto cada vez mais conhecida, tirando dúvidas, afastando preconceitos, além de fazer conhecidas novidades na área e aumentar a quantidade e a qualidade de projetistas estruturais capazes de trabalhar com o concreto protendido.

4. CONCLUSÕES

No encaço da resolução de problemas, inicialmente, relacionados às fissuras em elementos estruturais produzidos em concreto armado, a protensão de cordoalhas de aço surgiu como uma evolução técnica que, com o tempo, se mostrou eficiente como solução de outras demandas na concepção estrutural de obras de engenharia civil.

Esse tempo também foi necessário para a consolidação do concreto protendido como algo tecnicamente viável do ponto de vista mercadológico, além da disseminação da novidade pelo mundo, até sua chegada em nosso país. Um período ainda maior foi necessário para sua aplicação em edificações prediais e residenciais no Brasil. Essa perspectiva histórica da pesquisa, almejada no início dos trabalhos, deixou transparecer que, na região de Maringá-PR, ainda há a necessidade de uma maior disseminação do uso dessa técnica, pois uma utilização mais expressiva se deu na década de 2010.

Visando alcançar outro objetivo da pesquisa, foi realizada uma constatação relevante na pesquisa, averiguando que o concreto protendido, na maioria dos casos, é aplicado como uma solução técnica a uma demanda pontual em um projeto estrutural, no que concerne a um melhor controle de deflexões resultantes de maiores vãos livres na estrutura. Paralelamente a isso, encontra-se a necessidade de atender demandas arquitetônicas, nas quais seja preciso limitar também o volume de determinados elementos estruturais, para que não fiquem sobressalentes e visualmente desagradáveis em certos ambientes do imóvel; observando a possibilidade de reduzir a seção transversais de vigas, por exemplo.

Contudo, foi apurado que, gradativamente, a utilização da protensão nas obras residenciais e prediais na região tem sido encarada, também, como uma forma de repensar e modernizar conceitos na elaboração de projetos estruturais, impactando de forma mais sistêmica nos empreendimentos. A possibilidade de eliminar vigas, pilares e elementos de fundação faz com que o concreto protendido ganhe cada vez mais espaço no mercado como uma alternativa para a redução de custos de um empreendimento.

As questões apresentadas acima estão entre as vantagens decorrentes do uso do concreto protendido, às quais podemos acrescentar, também, a redução sensível de certas patologias, conforme citado por um

dos entrevistados. Todavia, foram citadas como desvantagens, entre outras, o valor relativamente alto de materiais, equipamento e mão-de-obra para a produção do concreto protendido; e, principalmente, a falta de uma demanda maior pela aplicação do concreto protendido, tanto por falta de conhecimento, quanto por uma resistência e desconfiança de profissionais e clientes.

Finalmente, ressalta-se que a pesquisa teve contribuição valiosa para uma melhor formação para alguém que almeja ser um profissional da engenharia civil; seja em relação aos conhecimentos teóricos concernentes ao tema; seja no que diz respeito à obtenção de informações advindas da experiência prática dos entrevistados. As necessidades, na região de Maringá-PR, de maior disseminação, bem como da existência de profissionais qualificados (que detenham capacidades que permitam desenvolver suas atividades lançando mão do concreto protendido), constatadas na pesquisa, tornam-se incentivos para aprofundamento teórico e prático no assunto. Trata-se de um tema que se mostra promissor para engenheiros que estejam em busca de se adequarem, cada vez mais, às tendências tecnológicas e comerciais na área da construção civil.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Adão FX, Hemerly AC. Concreto armado: novo milênio – cálculo prático e econômico. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- [2] Buchaim R. Concreto protendido: tração axial, simples e força cortante. Londrina: EDUEL, 2007.
- [3] Leonhardt F; Mönnig E. Construções de concreto: vol. 1 - princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. 2ª reimp. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- [4] Veríssimo G De S, César Júnior KML. Concreto protendido: fundamentos básicos. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1998. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>> Acesso em: 09 jun. 2018.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Norma Brasileira NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [6] Bastos PS Dos S. Concreto protendido: notas de aula. Bauru: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pBastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf>> Acesso em: 04 ago. 2018.
- [7] Fusco PB. Técnicas de armar as estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1995.
- [8] Bastos PS. dos S. Estruturas de concreto armado: notas de aula. Bauru: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2014. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pBastos/pag_concreto1.htm> Acesso em: 02 jun. 2018.
- [9] Hanai JB. de. Fundamentos do concreto protendido: e-book de apoio para o curso de engenharia civil. São Carlos: Universidade de São Paulo (USP), 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf> Acesso em: 12 abr. 2018.
- [10] Leonhardt F. Construções de concreto: vol. 5 – concreto protendido. Rio de Janeiro: Interciência, 1983.
- [11] Severino AJ. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.
- [12] Gerhardt TE, Silveira DT. (Org.). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- [13] Marconi MA, Lakatos EM. Fundamentos da metodologia científica. 8. ed. 2ª reimp. São Paulo: Atlas, 2017.
- [14] Lima Filho, LM de Araújo. Amostragem. Departamento de Estatística (DE), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), [201_]. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~luiz/Adm/Aula9.pdf>> Acesso em 15 set. 2018.
- [15] Giovanaz AH, Fransozi CBP. Estruturas de concreto protendido: estudo de caso no contexto da disciplina de Estágio Supervisionado I. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 9, n. 4, p. 309-319, out./dez. 2017. ISSN 2176-3070. Disponível em: <<http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/1672/1272>> Acesso em: 29 out. 2018.
- [16] Castro SV. Concreto Protendido: vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas. 2011. 46 f. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Maringá, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-9AEKDH?show=full>> Acesso em: 29 out. 2018.