www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/e83d2424

Execução de vigas pré-moldadas protendidas no viaduto de vilhena

Construction of Pre-stressed Precast Beams for the Vilhena Viaduct

Gesildo Brito Pereira
Claudio Roberto Oliveira Pereira (Orientador)

RESUMO

Este trabalho analisa a execução das vigas pré-moldadas de concreto protendido do viaduto da interseção das rodovias BR-364 e BR-435, em Vilhena/RO. O objetivo foi descrever o processo executivo das vigas e comparar os procedimentos observados em campo com as recomendações da literatura técnica, das normas brasileiras e do projeto executivo. A pesquisa é um estudo de caso, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, apoiado em pesquisa bibliográfica e documental. Os dados foram obtidos pelo acompanhamento da obra entre julho de 2024 e janeiro de 2025, com registro fotográfico, consulta ao projeto e análise dos relatórios de controle tecnológico do concreto. O viaduto tem vão de 38 m, vencido por cinco vigas em "I" com 39 m de comprimento, protendidas com pós-tração por quatro cabos de 15 cordoalhas e moldadas no próprio canteiro, com concreto de fck 40 MPa. A execução foi descrita em nove etapas: montagem do local, montagem da ferragem, montagem das bainhas, montagem das fôrmas, concretagem, desforma, cabeamento e protensão, preenchimento com calda e graute, e transporte e içamento. O concreto atendeu à resistência especificada, com resistência característica estimada de 44,3 MPa e 45,2 MPa nas vigas ensaiadas, e a protensão foi executada por empresa especializada, com o concreto em idade muito superior à mínima exigida. A fabricação das vigas no canteiro permitiu que a mesma equipe conduzisse todas as etapas e simplificou o transporte e o içamento, realizados com uma carreta e dois guindastes. Conclui-se que a execução esteve, de modo geral, de acordo com as recomendações técnicas, e que o principal ponto de atenção está na mão de obra, que exige acompanhamento e controle constantes no canteiro.

Palavras-chave: Içamento; Engenharia Civil; Concreto; Vigas protendidas; Pré-moldados.

ABSTRACT

This paper analyzes the construction of the precast prestressed concrete beams of the viaduct at the intersection of highways BR-364 and BR-435, in Vilhena, Rondônia, Brazil. The objective was to describe the construction process of the beams and to compare the procedures observed on site with the recommendations of the technical literature, Brazilian standards and the design project. The research is a qualitative, descriptive case study, supported by bibliographic and documentary research. Data were collected by monitoring the work between July 2024 and January 2025, through photographic records, review of the design project and analysis of the concrete quality control reports. The viaduct has a 38 m span, covered by five 39 m long I-beams, post-tensioned with four tendons of 15 strands each and cast on the construction site with 40 MPa concrete. Construction was described in nine stages: site preparation, reinforcement assembly, duct installation, formwork assembly, concreting, form removal, strand installation and prestressing, grouting, and transport and lifting. The concrete met the specified strength, with estimated characteristic strengths of 44.3 MPa and 45.2 MPa in the tested beams, and prestressing was carried out by a specialized company, with the concrete at an age well above the required minimum. Casting the beams on site allowed the same team to carry out all stages and simplified transport and lifting, performed with one trailer and two cranes. It is concluded that the construction was generally in accordance with technical recommendations, and that the main point of attention is the workforce, which requires constant supervision and control on site.

Keywords: Lifting; Civil Engineering; Concrete; Prestressed beams; Precast concrete.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da infraestrutura viária tem impulsionado a busca por soluções estruturais mais eficientes, seguras e economicamente viáveis. Nesse contexto, as estruturas em concreto protendido vêm ganhando destaque na engenharia civil devido à sua capacidade de vencer grandes vãos, reduzir deformações e proporcionar maior durabilidade aos elementos estruturais. Entre essas soluções, as vigas pré-moldadas protendidas apresentam vantagens significativas por permitirem maior controle de qualidade na fabricação, otimização do processo construtivo e redução do tempo de execução das obras.

A utilização de vigas pré-moldadas protendidas em obras de arte especiais, como pontes e viadutos, exige um planejamento criterioso envolvendo projeto estrutural, seleção adequada dos materiais, fabricação das peças, transporte, içamento e montagem em campo. O emprego da tecnologia da protensão permite melhorar o comportamento do concreto frente aos esforços de tração e flexão, reduzindo a ocorrência de fissuras e aumentando a capacidade resistente das estruturas.

O presente trabalho aborda a execução de vigas pré-moldadas protendidas utilizadas no Viaduto de Vilhena, localizado no município de Vilhena, no estado de Rondônia, analisando os conceitos relacionados à protensão, os materiais empregados, os procedimentos executivos e os aspectos técnicos envolvidos na implantação dessas estruturas.

A execução de vigas protendidas em canteiro, fora de um ambiente industrial, depende diretamente do controle exercido pela equipe de obra. Alves e Santos (2020) apontam a fase de execução como a principal origem de manifestações patológicas em estruturas de concreto e associam a fissuração de elementos pré-moldados protendidos à falta de rigor no controle de qualidade durante a fabricação. Diante disso, este trabalho busca responder à seguinte questão: como foram executadas as vigas pré-moldadas protendidas do viaduto de Vilhena/RO e em que medida os procedimentos adotados atendem às recomendações técnicas?

O objetivo geral é analisar o processo executivo das vigas pré-moldadas protendidas com pós-tração do viaduto da BR-364 em Vilhena/RO, comparando os procedimentos observados em campo com as recomendações da literatura técnica e das normas brasileiras. Como objetivos específicos, buscou-se: a) caracterizar a obra e o projeto das vigas; b) descrever as etapas de produção das vigas no canteiro; c) identificar os procedimentos de

manuseio, transporte e montagem; e d) comparar os procedimentos observados com a literatura e as normas, apontando conformidades e pontos de atenção.

A relevância do estudo está no registro de uma obra de arte especial executada no interior de Rondônia, região com pouca documentação técnica publicada sobre o tema, e na sistematização de práticas que podem servir de referência para obras semelhantes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Conceito de Estruturas de Vigas Pré-Moldadas Protendidas

Segundo Pfeil (1988), as vigas protendidas são elementos de concreto em que cabos de aço são submetidos a tensão, induzindo forças internas que contrabalançam as cargas externas e aumentam a resistência à tração e à flexão. Essas estruturas podem ser classificadas como pré-tracionadas ou pós-tracionadas, de acordo com o método de protensão empregado.

No viaduto de Vilhena, o método de protensão empregado é a pós-tração. Nesse caso, as cordoalhas são posicionadas em bainhas no interior do concreto e, após o endurecimento e o alcance da resistência mínima, são tracionadas por macacos hidráulicos apoiados na própria peça e ancoradas nas extremidades do elemento Pfeil (1988).

O objetivo de fazer peças protendidas é impedir ou limitar a fissuração do concreto. Segundo Pfeil (1988), o concreto possui comportamento diferente quando submetido à tração e à compressão, e esse comportamento pode ser melhorado com a aplicação de uma compressão prévia nas regiões onde ocorrem tensões de tração. Com a protensão, é possível reduzir ou até eliminar a fissuração, melhorando o desempenho da viga.

2.2 Vantagens de Vigas Pré-Moldadas Protendidas

De acordo com Leonhardt (1983), as vantagens de elementos protendidos são as seguintes:

a) como são utilizados materiais de alta resistência (aço e concreto), o concreto protendido permite vencer vãos maiores com estruturas esbeltas, resultando em menor peso próprio do que as de concreto armado;

b) a protensão melhora as condições de utilização, reduzindo o surgimento de fissuras nas peças de concreto. Quando surgem fissuras, as aberturas são limitadas com segurança a um valor não prejudicial, resultando em maior durabilidade;

c) as deformações permanecem pequenas, porque a estrutura, sob as cargas de utilização – mesmo com protensão parcial –, permanece praticamente na fase inicial do carregamento, caracterizada pelo comportamento elástico;

d) esses elementos apresentam elevada resistência à fadiga, pois a amplitude de oscilação das tensões no aço é pequena, ficando muito abaixo da resistência à fadiga;

e) reduz o consumo de materiais e o tempo de construção e exige menos mão de obra, com melhor qualidade em comparação com as estruturas de concreto armado;

f) as estruturas protendidas suportam sobrecargas eventuais, e as fissuras que surgem nessa condição tendem a se fechar após a retirada da carga [conferir no livro do Leonhardt o limite citado como "0,01% do limite de alongamento", que parece incorreto];

g) durante o transporte das peças, a protensão reduz a fissuração.

2.3 Desvantagens de Vigas Pré-Moldadas Protendidas

Segundo Castro (2011), uma das principais desvantagens é a falta de mão de obra especializada. A pouca divulgação dessa tecnologia gera carência de profissionais qualificados nas áreas de projeto, cálculo estrutural e execução.

De acordo com Carvalho (2012), o concreto protendido requer maior controle tecnológico que o concreto armado, cuidados especiais de proteção contra a corrosão dos aços de alta resistência e maior precisão na colocação dos cabos.

Durante a execução das peças, são necessários equipamentos específicos e pessoal especializado para controlar os esforços aplicados e os alongamentos dos cabos (VERÍSSIMO; CÉSAR JR., 1998).

2.4 Vigas Pré-Moldadas Protendidas para o Viaduto de Vilhena

Vigas pré-moldadas protendidas combinadas com laje concretada no local estão entre as soluções mais utilizadas em pontes e viadutos com vãos de até cerca de 40 m (GONDIM, 2016). No viaduto de Vilhena, o projeto adotou vigas pré-moldadas com pós-tração, de seção transversal em "I", com 39,00 m de comprimento e vão de 38,00 m entre os eixos dos apoios (Figuras 3 a 7), portanto próximo do limite superior dessa faixa.

2.5 Materiais para Execução do Concreto

Segundo Neville (1997), o concreto e o aço influenciam diretamente a resistência, às deformações e o comportamento de uma peça. Em relação ao concreto, devem ser consideradas as mudanças que dependem do tempo, como as deformações instantâneas e, particularmente, a retração e a fluência, que exercem grande influência sobre a perda de protensão no aço e sobre as deformações e flechas da estrutura ao longo do tempo.

2.6 Composição do Concreto

Mehta e Monteiro (2014) apontam que o concreto é composto por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita ou pedra), podendo conter adições e aditivos químicos para melhorar ou modificar suas propriedades. São exemplos de adições a cinza volante, a pozolana e a sílica ativa. O concreto também pode conter outros materiais, como pigmentos, fibras e agregados especiais.

De acordo com Neville (1997) e Mehta e Monteiro (2014), os agregados são materiais granulares e inertes que constituem as argamassas e concretos. Eles têm grande impacto no concreto por representarem cerca de 70 a 80% da sua composição e por influenciarem várias de suas propriedades. No comércio, as britas são encontradas com a seguinte numeração e dimensão máxima: brita 0 (pedrisco) – 9,5 mm; brita 1 – 19 mm; brita 2 – 38 mm.

Bauer (2000) afirma que antigamente era comum o uso de britas 1 e 2 na confecção de concretos, mas que atualmente as obras utilizam, em geral, apenas a brita 1 como agregado graúdo. Na escolha dos agregados, deve-se considerar a reação álcali-agregado, que afeta o comportamento e a durabilidade do concreto e exige análises prévias para ser evitada.

2.7 Resistência à Compressão

Helene e Andrade (2007) relatam que, no concreto protendido, a resistência característica à compressão (fck) costuma ficar entre 40 e 50 MPa, o que resulta em estruturas com menor peso próprio e permite vencer vãos maiores. Nas peças pré-fabricadas, costumam ser utilizados concretos com resistências superiores a 50 MPa, que permitem aplicar a protensão em menores idades. Concretos de resistência elevada são desejáveis por diversos motivos:

a) a força de protensão pode gerar tensões iniciais significativamente altas na estrutura;

b) a redução das seções transversais diminui o peso próprio, fator determinante para a viabilidade de grandes vãos e de componentes pré-fabricados;
c) possuem maior módulo de elasticidade (Ec), o que reduz as deformações instantâneas, a fluência e a retração, resultando em flechas menores e em menores perdas de protensão;
d) são mais impermeáveis, diminuindo a possibilidade de corrosão do aço de protensão, que, por permanecer sob tensões muito elevadas, é mais suscetível a ela.

2.8 Resistência à Tração

Segundo Helene e Andrade (2007), a resistência do concreto à tração é importante para avaliar a fissuração (momento de primeira fissura e abertura de fissuras), para o dimensionamento de vigas à força cortante e para a aderência entre o concreto e a armadura. Essa resistência varia entre 8 e 15% da resistência à compressão.

2.9 Massa Específica do Concreto

A NBR 6118 (ABNT, 2023) indica que a massa específica dos concretos comuns é de cerca de 2.400 kg/m³. Quando a massa específica real não é conhecida, adota-se 2.400 kg/m³ para o concreto simples e 2.500 kg/m³ para o concreto armado. Se a massa específica do concreto for conhecida, acrescentam-se 100 a 150 kg/m³ para obter a do concreto armado. A norma se aplica a concretos com massa específica entre 2.000 e 2.800 kg/m³, após secagem em estufa.

2.10 Peças Protendidas Pré-Fabricadas

Isaia (2011) afirma que é comum o uso do cimento CP V ARI (alta resistência inicial) em peças protendidas pré-moldadas, o que permite aplicar a protensão em menor tempo após a concretagem. Esse cimento proporciona, com um dia de idade, cerca de 50% da resistência obtida aos 28 dias, e cerca de 80% aos três dias. O concreto autoadensável também vem sendo usado nas fábricas de pré-moldados, pois facilita o preenchimento da fôrma, dispensa o adensamento, reduz a mão de obra e melhora o acabamento das peças.

Segundo Isaia (2011), na fabricação de peças pré-moldadas de concreto protendido, a cura deve ser monitorada para garantir a qualidade exigida pelos concretos de maior resistência. A cura térmica a vapor é frequente na fabricação de pré-moldados e, combinada

ao cimento ARI, permite alcançar em 24 h cerca de 70% da resistência que seria obtida aos 28 dias com cura normal.

2.11 Cordoalhas

A NBR 7483 (ABNT, 2021) estabelece os requisitos para fabricação, encomenda, fornecimento e recebimento de cordoalhas de aço de alta resistência de três e sete fios, destinadas a armaduras de protensão, que podem ser engraxadas ou não. Os diâmetros nominais especificados para cordoalhas de sete fios são de 9,5, 12,7 e 15,2 mm, nas categorias CP-190 e CP-210, em que os números indicam a resistência característica mínima à tração (fptk), em kN/cm² (ou kgf/mm²), e CP indica concreto protendido. As cordoalhas são produzidas na condição de relaxação baixa (RB), e o módulo de elasticidade (Ep) indicado é de 200 GPa.

2.12 Bainha

A bainha é um tubo, rígido ou flexível, dentro do qual a armadura de protensão é colocada, com a função de isolá-la do concreto e permitir sua movimentação durante a protensão Bastos (2025, p. 20) Para criar aderência entre o concreto e a armadura de protensão, a bainha é preenchida com calda de cimento, o que caracteriza a pós-tração com aderência posterior. As bainhas são fabricadas em aço galvanizado ou plástico, com espessura de 0,2 a 0,4 mm e diâmetros de 35 a 150 mm, e possuem superfície ondulada em hélice, que permite emendas com luvas rosqueadas, aumenta a rigidez e melhora a aderência com o concreto e a calda de cimento.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo de caso, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, apoiado em pesquisa bibliográfica e documental. As etapas seguidas estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autor (2026)

Após a definição do tema e dos objetivos, foi feito o levantamento bibliográfico em livros, artigos, trabalhos acadêmicos e normas técnicas sobre concreto protendido e elementos pré-moldados, que deu origem à revisão da literatura. Em seguida, foi definida a área de estudo, o viaduto de Vilhena, e realizado o acompanhamento das etapas de execução das vigas em campo, com registro fotográfico e anotações técnicas. Por fim, os procedimentos observados foram comparados com a literatura e as normas, o que permitiu interpretar os resultados e elaborar as conclusões.

3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto à abordagem, a pesquisa é qualitativa, pois busca compreender e descrever um processo construtivo a partir da observação, sem tratamento estatístico dos dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos objetivos, é descritiva. Para Gil (2019), a pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de determinado fenômeno, podendo estabelecer relações entre variáveis. Prodanov e Freitas (2013) acrescentam que, nesse tipo de pesquisa, os fatos são registrados e analisados sem interferência do pesquisador, e Andrade (2010) destaca que ela envolve observação, registro, análise e classificação dos fenômenos estudados. No presente trabalho, o caráter descritivo se aplica ao registro das etapas de execução das vigas, da produção no canteiro até o transporte e a montagem.

Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso, que, segundo Gil (2002), consiste no estudo profundo de um ou de poucos objetos, permitindo seu conhecimento amplo e detalhado. O estudo foi complementado por pesquisa bibliográfica, baseada em material já publicado, e por pesquisa documental, baseada no projeto executivo das vigas e nos registros da obra (GIL, 2002).

3.2 Área de Estudo

O objeto de estudo é o viaduto da interseção das rodovias BR-364/RO e BR-435/RO, denominado no projeto executivo “viaduto de acesso à RO-399”, localizado no município de Vilhena/RO, entre os km 26,50 e 27,90 da BR-364. A obra é objeto do Contrato nº 686/2023, firmado entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio da Superintendência Regional em Rondônia, e a empresa MADECON Engenharia e Participações Ltda. (BRASIL, 2026), com início em 4 de dezembro de 2023 (Ordem de

Serviço nº 19/2023). A supervisão da obra, incluindo o controle tecnológico do concreto, é feita pela CAVA Engenharia de Infraestrutura Ltda. (CAVA, 2024a). O projeto executivo foi elaborado pela Consol Engenheiros Consultores, para o trem-tipo classe 45 tf da NBR 7188 e classe de agressividade ambiental II (DNIT, 2023). O acompanhamento deste estudo compreendeu o período de julho de 2024, início da produção das vigas, a janeiro de 2025, quando ocorreu a montagem sobre os apoios.

3.3 Procedimentos Metodológicos

A coleta de dados foi feita por meio do acompanhamento da execução das vigas entre julho de 2024 e janeiro de 2025, da produção no canteiro (julho a setembro) à protensão e injeção (novembro) e à montagem no viaduto (janeiro). O autor integrou a equipe da obra no período estudado, exercendo a função de Mestre de Obras, o que permitiu o acompanhamento diário das atividades no canteiro. As etapas foram registradas em fotografias com data e coordenadas geográficas, complementadas por anotações técnicas e pela consulta ao projeto executivo das vigas e aos relatórios de protensão e laudos de rompimento de corpos de prova.

Na análise, as fotografias foram organizadas por etapa construtiva, na sequência adotada na seção 4 (montagem do local, ferragem, bainhas, fôrmas, concretagem, desforma, cabeamento e protensão, preenchimento com calda de cimento e graute, transporte e içamento) e as informações coletadas foram sistematizadas em um fluxograma executivo (Figura 2), com as entradas, atividades, inspeções e saídas de cada fase, da preparação das fôrmas à montagem das vigas no viaduto. Em seguida, os procedimentos observados em cada etapa foram comparados com as recomendações da literatura e das normas técnicas, e o resultado dessa comparação foi reunido no Quadro 1, apresentado na seção de Resultados.

Figura 2 – Fluxograma executivo das vigas pré-moldadas protendidas



Fonte: Autor (2026)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da obra e da viga

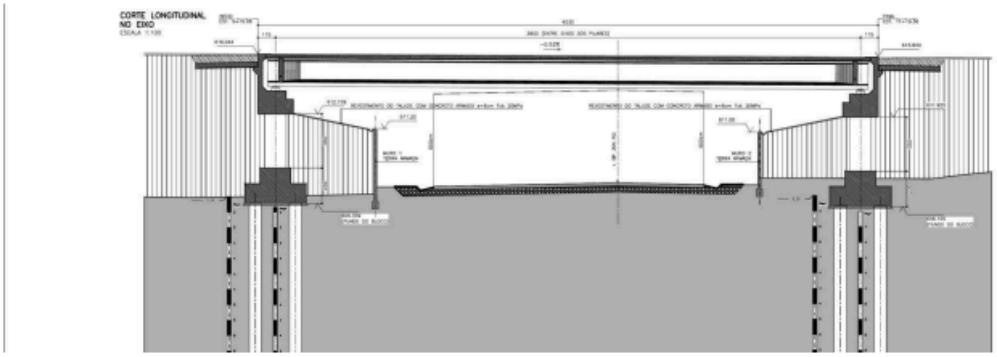
O viaduto tem extensão total de 40,30 m e vão único de 38,00 m entre os eixos dos pilares, com gabarito vertical de 6,00 m sobre a pista da BR-364 (Figura 3). O tabuleiro tem 11,30 m de largura, distribuídos em duas faixas de rolamento de 3,50 m, duas faixas de segurança de 1,00 m, um passeio de 1,50 m e duas barreiras de 0,40 m, e é formado por cinco vigas pré-moldadas espaçadas de 2,20 m, pré-lajes, laje de concreto moldada no local e revestimento asfáltico de 7 cm (Figura 4). As vigas apoiam-se, por meio de aparelhos de neoprene fretado de 500 × 300 × 41 mm, em travessas sobre os pilares P1 a P4, que descarregam em dois blocos sobre dez estacas escavadas de 80 cm de diâmetro cada (DNIT, 2023).

Cada viga tem 39,00 m de comprimento e seção transversal em "I" com 1,80 m de altura, mesa superior de 1,20 m de largura e 12 cm de espessura, alma de 22 cm e talão inferior de 70 cm (Figura 5). Nas extremidades, a alma é alargada para 70 cm, formando o bloco de ancoragem dos cabos, como se observa em uma viga já desformada (Figura 7). O projeto especifica concreto com fck de 40 MPa e fator água/cimento máximo de 0,50 para as vigas, as pré-lajes e a laje moldada no local, para a classe de agressividade ambiental II (DNIT, 2023).

A armadura ativa é composta por quatro cabos (C1 a C4), cada um com 15 cordoalhas de 12,7 mm, categoria CP-190 RB, alojados em bainhas com diâmetro interno de 70 mm e com ancoragens ativas nas duas extremidades, totalizando oito ancoragens por viga (Figura 6). A força inicial de protensão é de 207,30 tf por cabo. Cada viga consome 1.900,7 kg de aço de protensão e 3.786,0 kg de armadura passiva CA-50; para as cinco vigas, os totais são de 9.503,5 kg e 18.921,0 kg, respectivamente (DNIT, 2023).

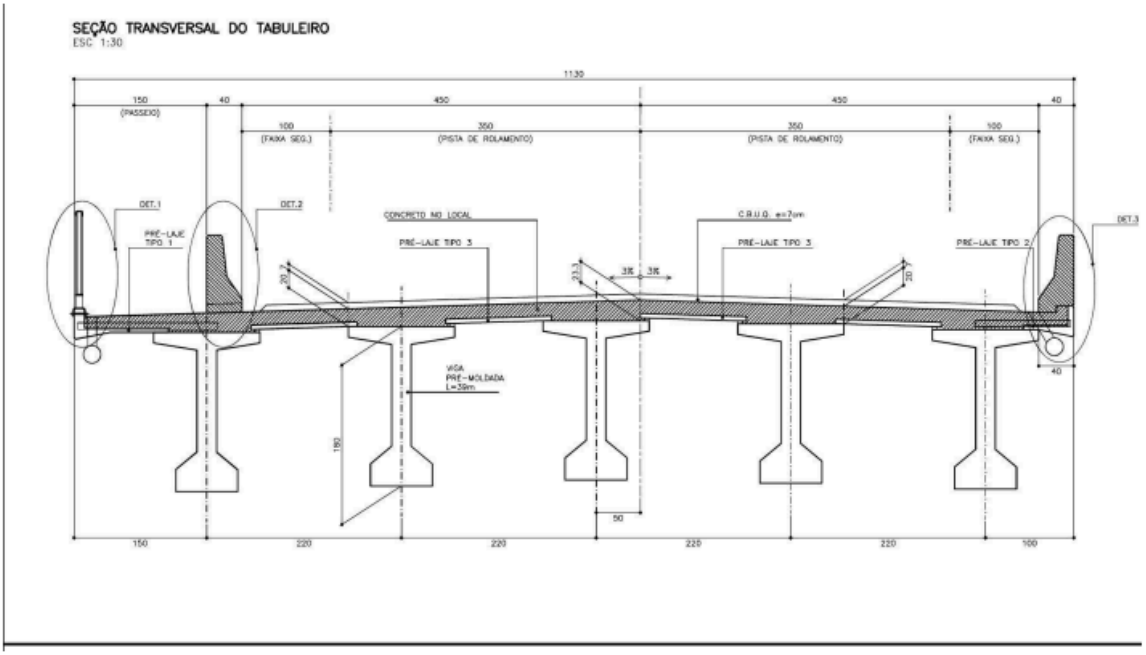
Com 39 m de comprimento, a viga está próxima do limite superior da faixa usual de vigas pré-moldadas para pontes, empregadas em vãos de até cerca de 40 m (GONDIM, 2016). Mesmo assim, o projeto adota uma alma de apenas 22 cm na região central, o que reduz o peso próprio, em acordo com as vantagens apontadas por Leonhardt (1983). A partir das dimensões da seção, estima-se um volume de concreto de cerca de 30 m³ por viga e, com peso específico de 25 kN/m³, um peso próprio da ordem de 750 kN (cerca de 75 t) Esse valor condiciona a escolha dos equipamentos de içamento discutidos no item 4.10.

Figura 3 – Corte longitudinal do viaduto no eixo



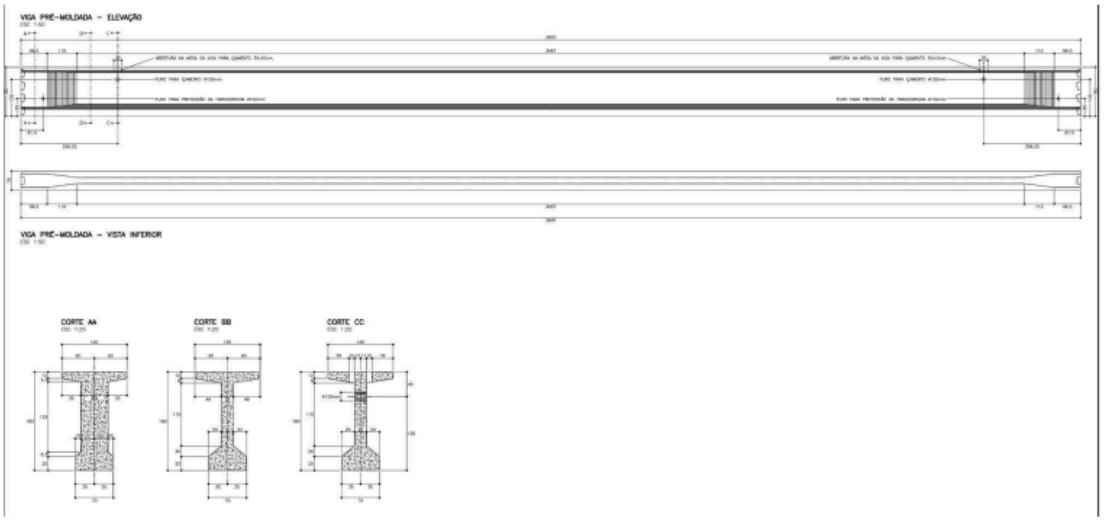
Fonte: DNIT/Consol Engenheiros Consultores – Projeto executivo de OAE, Viaduto acesso à RO-399 2023

Figura 4 – Seção transversal do tabuleiro com as cinco vigas pré-moldadas



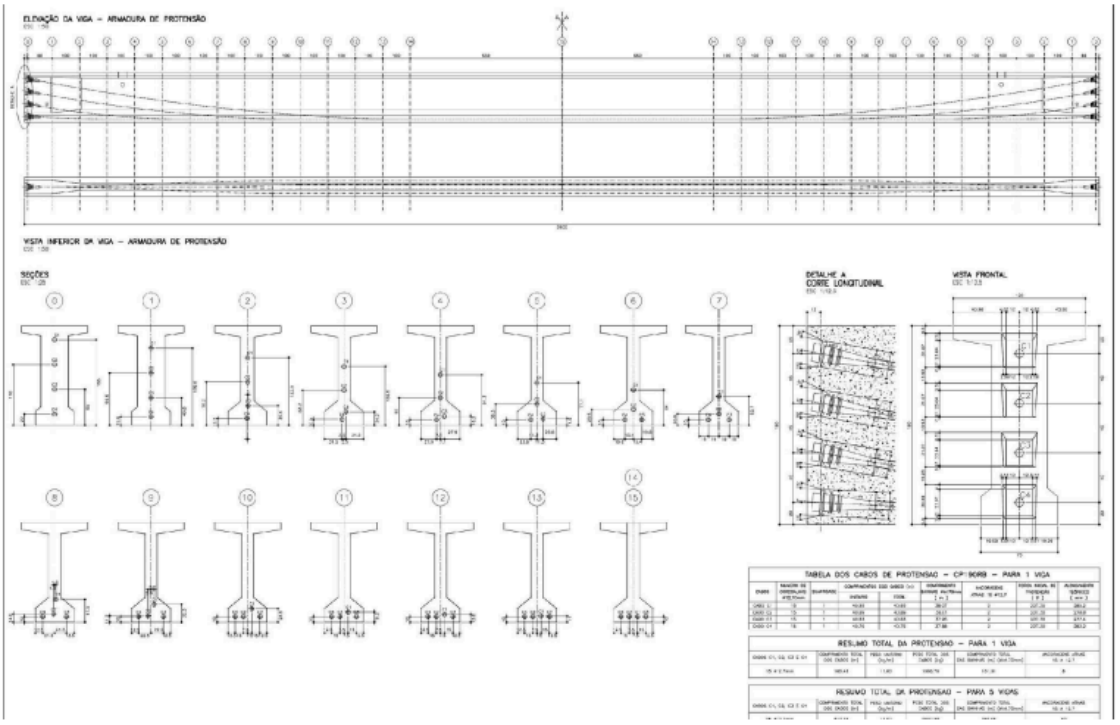
Fonte: DNIT/Consol Engenheiros Consultores – Projeto executivo de OAE, Viaduto acesso à RO-399 2023

Figura 5 – Fôrma da viga pré-moldada: elevação, vista inferior e seções



Fonte: DNIT/Consol Engenheiros Consultores – Projeto executivo de OAE, Viaduto acesso à RO-399 2023

Figura 6 – Armadura ativa da viga: traçado dos cabos, seções e tabela de protensão



Fonte: DNIT/Consol Engenheiros Consultores – Projeto executivo de OAE, Viaduto acesso à RO-399 2023

Figura 7 – Extremidade de viga desformada: seção “I”, bloco de ancoragem e saída das quatro bainhas (07/08/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.2 Montagem do local

As vigas foram moldadas em uma pista de produção montada no próprio canteiro, às margens da BR-364, e não em fábrica (Figura 8). Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2017), esse caso caracteriza elementos pré-moldados, executados fora da posição definitiva, mas sem as condições de controle de uma instalação industrial. Por isso, o controle de qualidade depende diretamente da equipe de campo, o que reforça a importância das inspeções descritas nos itens seguintes.

A pista consiste em faixas de concreto executadas sobre o terreno compactado, uma para cada viga, dispostas lado a lado. Elas servem de base nivelada para a montagem da armadura e de fundo para as fôrmas laterais. Ao lado das faixas foram instaladas tendas e bancadas de apoio para a carpintaria e a armação, com estoque de madeira para fôrmas e escoras e área para as armaduras pré-montadas (Figura 9). Antes de cada nova viga, a faixa era limpa e preparada para receber a armadura, aplicação de desmoldante e marcação do eixo da viga. O viaduto localizava-se a 150 metros do canteiro de obras, onde ocorria a montagem e concretagem das vigas

O registro fotográfico da produção vai de 16 de julho a 13 de setembro de 2024 e mostra que as cinco vigas previstas em projeto foram produzidas em série. Em 16 de julho já havia uma viga desformada ao lado da fôrma da viga seguinte; em 21 e 30 de julho, armaduras com bainhas sendo montadas; em 7 e 8 de agosto, vigas já desformadas ao lado de outra armadura em montagem; em 29 de agosto, quatro vigas concluídas e a quinta ainda na fôrma (Figura 8); em 2 de setembro ocorreu a concretagem de uma nova peça, e em 13 de setembro a retirada das fôrmas entre peças vizinhas. Assim, em um mesmo dia era comum haver peças em etapas diferentes do processo, o que explica a ordem das datas nas fotografias. Concluída a moldagem das cinco vigas, as etapas seguintes foram executadas em conjunto: o cabeamento em 26 de novembro, a protensão em 27 de novembro e a injeção de calda de cimento em 29 de novembro de 2024. O transporte e o içamento ocorreram em 16 e 17 de janeiro de 2025, já no período chuvoso.

A produção ocorreu no auge do período seco da região. Em várias fotografias o céu aparece encoberto pela fumaça de queimadas, como na Figura 13c, de 1º de agosto. Tempo seco, calor e vento aceleram a evaporação da água do concreto fresco e aumentam o risco de fissuras por retração plástica, o que torna ainda mais importante a cura úmida exigida pelo projeto (item 4.6).

Figura 8 – Pista de produção com quatro vigas concluídas e a quinta em fôrma (29/08/2024)



Fonte: Autor (2024)

Figura 9 – Preparação da faixa da pista entre vigas concluídas, com tendas de apoio, estoque de madeira e armaduras ao lado (08/08/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.3 Montagem da ferragem

A armadura passiva foi montada em forma de gaiola diretamente sobre a pista, com estribos verticais ao longo de toda a viga e estribos salientes na face superior (Figura 10a). Esses estribos salientes formam a armadura de ligação com a laje do tabuleiro, que é concretada no local sobre as pré-lajes e as vigas (Figura 4), solução típica de pontes com vigas pré-moldadas (GONDIM, 2016). O projeto determina que as superfícies das vigas que ficarão em contato com o concreto moldado no local sejam deixadas rugosas, por apicoamento ou jato de água sob pressão, e limpas e umedecidas antes da concretagem da laje, para garantir a aderência entre os concretos (DNIT, 2023). Durante a montagem, a gaiola foi mantida na posição por escoras provisórias de madeira. Cada viga recebe 3.786,0 kg de aço CA-50, em barras de 8,0 a 16,0 mm (DNIT, 2023).

A Figura 10b mostra a conferência da armadura em campo: enquanto um armador trabalha no talão da viga, outro profissional acompanha o serviço com as folhas do projeto em mãos.

As notas das folhas de armação do projeto indicam cobrimento de 3 cm (DNIT, 2023). Para a classe de agressividade II, a NBR 6118 (ABNT, 2023) exige cobrimento nominal de 35 mm para vigas de concreto protendido. Esse é um ponto que merece verificação, já que Alves

e Santos (2020) associam cobrimento insuficiente ao surgimento de manifestações patológicas em elementos pré-moldados protendidos. Ao fundo das vigas foi-se utilizado espaçadores pré fabricados de concreto, posicionados a cada 2 metros, nas laterais os dispositivos utilizados foram circulares, espaçados a cada 1,5 metros.

Figura 10 – (a) Armadura passiva montada sobre a pista (08/08/2024); (b) conferência da armadura com as folhas do projeto (31/07/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.4 Montagem das bainhas

As bainhas metálicas corrugadas, com diâmetro interno de 70 mm, foram posicionadas dentro da gaiola de armadura antes do fechamento das fôrmas, uma para cada um dos quatro cabos. Na Figura 11a é possível observar o traçado curvo dos cabos: nas extremidades as bainhas ficam distribuídas ao longo da altura da viga e, em direção ao meio do vão, descem para a região do talão inferior, onde ficam agrupadas lado a lado (Figura 11b), conforme as seções de 0 a 15 do projeto (Figura 6). Na base da pista, ao lado da armadura, aparecem números pintados (Figura 11c), que correspondem a essas seções. Essa marcação transfere para o canteiro as cotas do traçado de cada cabo. Conforme Carvalho (2012), a precisão no posicionamento dos cabos é determinante, pois desvios no traçado alteram a excentricidade da força de protensão e, consequentemente, as tensões na peça. As bainhas foram fixadas com galgas de aço determinando a altura, amarradas com arame recozido, espaçadas conforme projeto.

Na extremidade da viga, as bainhas foram amarradas na posição de saída prevista em projeto e deixadas com sobra para fora da gaiola (Figuras 12a e 12b). Depois, atravessam a fôrma de cabeceira, envolvidas por armaduras em espiral (Figura 12c). Essa armadura de

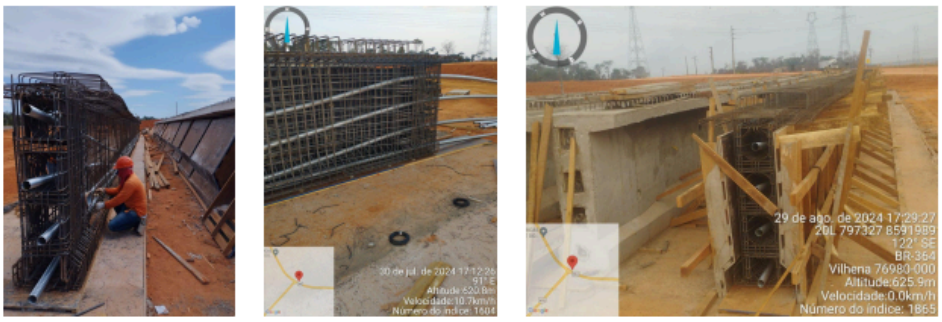
fretagem, detalhada no projeto, reforça a região de ancoragem, onde a força de protensão de cada cabo é aplicada de forma concentrada e gera tensões elevadas no concreto.

Figura 11 – (a) Bainhas com traçado curvo dentro da armadura (21/07/2024); (b) bainhas agrupadas no talão, na região central da viga (30/07/2024); (c) numeração das seções pintada na pista (31/07/2024)



Fonte: Autor (2024)

Figura 12 – (a) Amarração das bainhas na extremidade da armadura [data]; (b) saída das bainhas antes da fôrma de cabeceira (30/07/2024); (c) cabeceira com bainhas e armadura de fretagem (29/08/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.5 Montagem das fôrmas

Concluídas a armadura e as bainhas, os painéis laterais de fôrma, que já ficavam dispostos ao longo da gaiola (Figura 13a), foram erguidos e fechados. As fôrmas são de madeira, com painéis navais 18mm enrijecidos por sarrafos e travados por escoras inclinadas apoiadas na base da pista ao longo de toda a extensão da viga (Figura 13b). A parte superior foi travada por gravatas e sarrafos transversais, que garantem a largura da mesa durante a concretagem (Figura 13c). Nas extremidades, a fôrma de cabeceira tem as aberturas de saída das bainhas e forma os nichos das ancoragens (Figura 12c). Os mesmos painéis foram reaproveitados de uma viga para a seguinte. Utilizado desmoldante a cada concretagem na reutilização das formas, realizado-se conferência de prumo, alinhamento e dimensões novamente, com tempo médio de montagem das fôrmas de 7 dias corridos.

Figura 13 – (a) Painéis de fôrma dispostos ao lado da armadura (08/08/2024); (b) fôrmas fechadas com escoras de travamento (29/08/2024); (c) travamento superior das fôrmas, sob fumaça de queimadas (01/08/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.6 Concretagem

O concreto, especificado em projeto com fck de 40 MPa e fator água/cimento máximo de 0,50, foi fornecido por caminhões-betoneira, lançado por bombeamento, com o mangote conduzido ao longo da viga, e adensado com vibradores de imersão, enquanto outra parte da equipe fazia o acabamento da face superior (Figura 14a). Cada viga tem volume de cerca de 30 m³ de concreto, fornecido em quatro caminhões-betoneira com a capacidade de 8 m³ cada. Os relatórios de controle tecnológico da supervisora da obra, CAVA Engenharia de Infraestrutura, registram as concretagens das vigas 04 e 05, em 5 de agosto e 2 de setembro de 2024 (CAVA, 2024a; 2024b). Na viga 04, a concretagem durou cerca de cinco horas e meia, da saída do primeiro caminhão da usina, às 12h40, ao término do último, às 18h01; na viga 05, cerca de cinco horas, das 8h10 às 13h20.

Como o projeto não especifica o abatimento para as vigas, o valor solicitado à concreteira foi de 180 mm (18 cm), adequado ao bombeamento. Os abatimentos medidos no recebimento variaram de 170 a 200 mm, dentro da tolerância de ± 30 mm admitida pela NBR 7212 para essa faixa de consistência. De cada caminhão foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10 × 20 cm, dois para cada idade de ensaio (7, 14 e 28 dias), totalizando 24 corpos de prova por viga, rompidos com topos retificados. Como todos os caminhões foram amostrados, o controle corresponde à amostragem total da NBR 12655, em que o exemplar de cada caminhão é o maior valor do par de corpos de prova e a resistência característica estimada é o menor exemplar do lote (ABNT, 2023). Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Abatimento e resistência à compressão (exemplares) do concreto das vigas 04 e 05

Viga	Data	Nota fiscal	Abatimento (mm)	fc 7 dias (MPa)	fc 14 dias (MPa)	fc 28 dias (MPa)
04	05/08/2024	4922	180	45,2	48,3	46,7
04	05/08/2024	4923	170	53,3	50,5	55,4
04	05/08/2024	4924	200	47,7	59,9	44,3
04	05/08/2024	4925	185	51,1	56,0	63,5
05	02/09/2024	5224	185	29,9	33,5	45,8
05	02/09/2024	5225	180	38,3	45,6	47,9
05	02/09/2024	5227	190	38,6	46,5	48,0
05	02/09/2024	5229	185	36,9	41,3	45,2
Resistência característica estimada (menor exemplar aos 28 dias) – viga 04						**44,3**
Resistência característica estimada (menor exemplar aos 28 dias) – viga 05						**45,2**

Fonte: adaptado de CAVA (2024a; 2024b). Abatimento solicitado: 180 mm. Resistência solicitada: 40 MPa.

Aos 28 dias, todos os exemplares superaram os 40 MPa especificados: a resistência característica estimada foi de 44,3 MPa na viga 04 e de 45,2 MPa na viga 05, com médias de 52,5 MPa e 46,7 MPa, respectivamente. O concreto, portanto, atende ao projeto. Também foi atendida a condição para a protensão ($f_{ck} \geq 30$ MPa e idade mínima de 10 dias): aos 14 dias, todos os exemplares já passavam de 33 MPa, e a protensão só foi executada em novembro, com o concreto com mais de 80 dias (item 4.8).

Dois aspectos merecem registro. O primeiro é a diferença entre as vigas nas primeiras idades: aos 7 dias, a viga 04 já apresentava exemplares de 45 a 53 MPa, enquanto a viga 05 ficou entre 30 e 39 MPa. O segundo é a dispersão entre corpos de prova do mesmo caminhão: no caminhão 4924 da viga 04, os exemplares de 14 dias (59,9 MPa) superaram os de 28 dias (44,3 MPa), e no caminhão 4925 os dois corpos de prova de 28 dias diferiram em quase 18 MPa (45,6 e 63,5 MPa). Variações desse tipo costumam estar ligadas à moldagem, ao transporte ou à cura dos corpos de prova, e não necessariamente ao concreto da peça, o que reforça a importância dos cuidados de moldagem e cura dos corpos de prova previstos em norma.

Na manhã seguinte à concretagem, a superfície da viga estava sendo mantida úmida (Figura 14b), o que atende à orientação do projeto de proteger as superfícies da insolação direta e mantê-las úmidas durante todo o período de cura, para evitar fissuras por retração (DNIT, 2023). Nas condições de tempo seco descritas no item 4.2, esse cuidado é especialmente importante. O método de cura consistia em umedecer a viga a cada 2 horas. Segundo Isaia (2011), o uso de cimento de alta resistência inicial e o controle da cura permitem antecipar a protensão.

Figura 14 – (a) Lançamento do concreto por bomba e adensamento com vibrador (02/09/2024); (b) superfície da viga no dia seguinte à concretagem (03/09/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.7 Desforma

Após o endurecimento do concreto, as fôrmas laterais foram removidas e os painéis empilhados entre as vigas para reaproveitamento nas peças seguintes (Figura 15b). A Figura 15a mostra uma viga recém-desformada ao lado da fôrma da viga seguinte, ainda montada, o que confirma a produção em série. A movimentação dos painéis mais pesados, como as fôrmas de cabeceira, foi feita com caminhão equipado com guindaste articulado (Figura 16a). Os furos circulares visíveis na alma correspondem às aberturas previstas em projeto: furos de 150 mm para o içamento da viga e furos de 100 mm para a passagem dos cabos de protensão das transversinas (Figura 5). A desforma ocorreu com sete dias após a concretagem, onde o concreto estava com uma resistência média de 49,32Mpa.

Figura 15 – (a) Viga desformada ao lado da fôrma da peça seguinte (03/09/2024); (b) retirada e empilhamento dos painéis de fôrma (13/09/2024)



Fonte: Autor (2024)

4.8 Cabeamento e protensão

No sistema de pós-tração, os cabos são formados pela passagem das cordoalhas por dentro das bainhas já concretadas. Cada um dos quatro cabos da viga recebe 15 cordoalhas de 12,7 mm, CP-190 RB, com comprimento de 40,76 a 40,95 m, o que inclui a sobra necessária nas extremidades para a fixação dos macacos (DNIT, 2023). Na obra, o cabeamento foi feito em 26 de novembro de 2024, depois que as cinco vigas já estavam concretadas. A Figura 17a mostra a enfiação das cordoalhas na extremidade de uma viga: a equipe empurra o feixe pela boca da ancoragem com auxílio de uma corrente e de uma guia de madeira montada no alinhamento do cabo, e as pontas das cordoalhas são protegidas com fita para não danificar a bainha durante a passagem.

Segundo o projeto, a protensão só pode ser aplicada com o concreto atingindo resistência mínima de 30 MPa e idade mínima de 10 dias. Os cabos devem ser protendidos em ordem crescente de numeração (C1 a C4), com macacos aplicando a carga simultaneamente nas duas extremidades, até a força inicial de 207,30 tf por cabo. O controle é feito pelo alongamento, cujos valores teóricos variam de 277,4 a 282,2 mm, já somando as duas extremidades. O cálculo considerou coeficiente de atrito $\mu = 0{,}20$, coeficiente de perda por ondulação $k = 0{,}002\ m^{-1}$ e acomodação da ancoragem de 6 mm, e o projeto prevê a correção do alongamento teórico com a área e o módulo de elasticidade reais das cordoalhas fornecidas (DNIT, 2023).

A protensão foi executada em 27 de novembro de 2024 por empresa especializada em sistemas de protensão, cujo técnico aparece identificado no uniforme (Figura 18), o que atende à exigência de pessoal especializado apontada por Castro (2011) e por Veríssimo e César Jr. (1998). Foram usados macaco hidráulico multicordoalha, posicionado com o auxílio do guindaste articulado de um caminhão, e bomba hidráulica com manômetro para leitura da pressão aplicada (Figuras 17b e 18). Na Figura 18, o técnico acompanha a operação com uma planilha em mãos, o que indica o registro das pressões e dos alongamentos de cada cabo. Como as vigas foram concretadas entre julho e setembro, o concreto tinha mais de 80 dias na data da protensão, idade muito superior ao mínimo de 10 dias do projeto obtendo xxxxFck Sendo a protensão realizada dos dois lados, de C1 a C4. A Tabela 1 compara os alongamentos previstos com os medidos.

Figura 17 – (a) Enfiação das cordoalhas nas bainhas (26/11/2024); (b) cabos com as cordoalhas instaladas e equipamento de protensão posicionado (27/11/2024)



Fonte: Acervo da obra (2024)

Figura 18 – Macaco hidráulico acoplado à ancoragem, bomba com manômetro e técnico da empresa de protensão com a planilha de controle (27/11/2024)



Fonte: Acervo da obra (2024)

4.9 Preenchimento com calda de cimento e graute

Após a protensão, duas etapas de preenchimento completam a viga: o fechamento dos nichos das ancoragens e a injeção de calda de cimento no interior das bainhas. O projeto determina que os nichos sejam obturados com argamassa graute com adição de 30% de pedrisco (DNIT, 2023), o que protege as cabeças de ancoragem e as pontas das cordoalhas e

recompõe a forma da extremidade da viga. Na obra, os nichos foram fechados com fôrmas de madeira na cabeceira, deixando mangueiras embutidas em cada um deles (Figura 20b). Essas mangueiras funcionam como pontos de entrada da calda de cimento e de saída do ar e do excesso de material, permitindo verificar o preenchimento completo de cada cabo.

A injeção foi feita em 29 de novembro de 2024, dois dias após a protensão. A calda de cimento foi preparada em um misturador elétrico instalado sobre a carroceria de um caminhão, com cimento ensacado e água medida em recipientes (Figuras 19a e 19b). Antes de seguir para a bomba de injeção, a calda de cimento passava por uma peneira, que retém grumos capazes de obstruir a bomba ou a bainha (Figura 19c). A injeção foi acompanhada pelo técnico da empresa de protensão e por profissional da equipe de engenharia da obra (Figura 20a). A calda de cimento envolve as cordoalhas e cria a aderência entre a armadura ativa e o concreto, caracterizando a pós-tração com aderência posterior (item 2.12), e protege o aço de protensão contra a corrosão, ao qual Carvalho (2012) atribui cuidados especiais por trabalhar sob tensões muito elevadas.

O cimento usado na calda de cimento é identificado na embalagem como de uso geral (Figura 19a). Esse ponto merece registro na discussão, já que a calda de cimento é a principal proteção do aço de protensão ao longo da vida útil da estrutura.

Figura 19 – (a) Cimento utilizado na calda de cimento (29/11/2024); (b) preparo da calda de cimento no misturador sobre o caminhão (29/11/2024); (c) peneiramento da calda de cimento antes da bomba de injeção (29/11/2024)



Fonte: Acervo da obra (2024)

Figura 20 – (a) Bomba de injeção acompanhada pela equipe técnica (29/11/2024); (b) nichos das ancoragens fechados com fôrma e mangueiras de injeção (29/11/2024)



Fonte: Acervo da obra (2024)

4.10 Transporte e içamento

O projeto determina que o transporte e o posicionamento dos elementos pré-moldados sejam feitos com os cuidados necessários para não danificá-los (DNIT, 2023). As vigas permaneceram armazenadas na pista de produção por cerca de quatro meses após a moldagem, até a montagem em janeiro de 2025, já no período chuvoso, com o terreno do canteiro encharcado (Figura 21). Com cerca de 75 t e 39 m de comprimento, a viga é sensível à instabilidade lateral nas fases de içamento, transporte e montagem, por ser longa e esbelta e por estar apoiada apenas em vínculos provisórios (BORGHI; LISBOA; ARAÚJO, 2019).

No canteiro, cada viga foi içada da pista por dois guindastes autopropelidos operando em conjunto, um junto a cada extremidade, e colocada sobre o conjunto de transporte, formado por cavalo mecânico e carreta traseira independente (Figura 21). Os guindastes trabalharam patolados, com as sapatas apoiadas sobre placas de distribuição, cuidado importante em solo saturado. No trajeto até o viaduto, a carreta trafegou por terreno enlameado, e na Figura 22a uma motoniveladora aparece junto ao conjunto de transporte para nivelamento do terreno no qual seria o trajeto da carreta.

O projeto prevê o içamento das vigas por dois furos de 150 mm na alma, com aberturas de 30 × 10 cm na mesa, situados a cerca de 3,56 m de cada extremidade (Figura 5). Na posição final, as vigas apoiam-se sobre aparelhos de neoprene fretado de 500 × 300 × 41 mm, com calços de graute colados sob as vigas e moldados sobre as travessas, e o posicionamento deve seguir as cotas de projeto o mais rigorosamente possível (DNIT, 2023). Após a montagem, as vigas são solidarizadas por duas transversinas de apoio protendidas, cada uma com um cabo de 6 cordoalhas de 12,7 mm e força inicial de 84,0 tf.

A montagem sobre os apoios ocorreu em 16 de janeiro de 2025, também com dois guindastes, um deles identificado com capacidade de 240 t (Figura 22b). Com o içamento dividido entre dois equipamentos, cada guindaste suporta cerca de metade do peso da viga, além dos acessórios de içamento, o que permite operar com raio e lança compatíveis com a posição dos apoios. A área de operação foi sinalizada com cones e o tráfego da BR-364 foi controlado durante as manobras. Na Figura 23 aparecem três das cinco vigas já posicionadas sobre as travessas. O içamento em conjunto, a sinalização da área e o planejamento da posição dos guindastes estão de acordo com as recomendações da ABCIC (2019).

Após o posicionamento, as vigas foram travadas lateralmente por escoras inclinadas apoiadas nas travessas (Figura 24a, de 17 de janeiro de 2025), que garantem a estabilidade até a execução das transversinas, cuja armadura já aparece montada sobre a travessa (Figura 23b). Esse travamento provisório responde diretamente ao risco de instabilidade lateral descrito por Borghi, Lisboa e Araújo (2019) para vigas pré-moldadas em fases transitórias.

Figura 21 – Içamento de viga na pista de produção com dois guindastes e conjunto de transporte posicionado [data]



Fonte: Acervo da obra (2025)

Figura 22 – (a) Viga sobre o conjunto de transporte junto ao viaduto, com os dois guindastes de montagem (16/01/2025); (b) guindaste de 240 t e sinalização da área de manobra (16/01/2025)



Fonte: Acervo da obra (2025)

Figura 23 – (a) Vista aérea da montagem, com três vigas posicionadas e duas aguardando no canteiro [data]; (b) vigas sobre as travessas, com a armadura da transversina montada [data]



Fonte: Acervo da obra (2025)

Figura 24 – (a) Travamento lateral provisório das vigas com escoras apoiadas na travessa (17/01/2025); (b) vigas montadas vistas a partir do apoio [data]



Fonte: Acervo da obra (2025)

4.11 Síntese: prática observada e literatura

O Quadro 1 reúne, na mesma sequência das etapas descritas, a comparação entre as recomendações da literatura, das normas e do projeto e os procedimentos observados na obra, respondendo ao objetivo específico (d).

Quadro 1 – Comparação entre as recomendações técnicas e a prática observada

Etapa	Recomendação (literatura, norma ou projeto)	Observado na obra	Situação
Montagem do local	Base nivelada e controle de qualidade em campo para pré-moldados fora de fábrica (ABNT NBR 9062)	Pista de concreto com uma faixa por viga e área de apoio para carpintaria e armação	Conforme.
Ferragem	Conferência de bitolas e espaçamentos; cobrimento de 35 mm para CAA II (ABNT NBR 6118); projeto indica 3 cm	Gaiola montada sobre a pista; conferência com as folhas do projeto.	Conforme.
Bainhas	Posicionamento conforme as seções 0 a 15 do projeto (CARVALHO, 2012; DNIT)	Bainhas Ø 70 mm com traçado curvo, seções numeradas na pista e fretagem na ancoragem	Conforme.
Fôrmas	Estanqueidade, prumo e dimensões conforme projeto (DNIT)	Fôrmas de madeira com escoras e travamento superior; marcas de juntas na alma.	Conforme.
Concretagem e cura	fck 40 MPa, a/c ≤ 0,50; controle de abatimento e corpos de prova; cura úmida protegida do sol (DNIT; ABNT NBR 12655; ISAIA, 2011)	Lançamento por bomba e vibrador de imersão; abatimento de 170 a 200 mm (solicitado 180 mm); 24 CPs por viga; fck,est de 44,3 MPa (viga 04) e 45,2 MPa (viga 05); superfície mantida úmida.	Conforme.
Desforma	Desforma com resistência adequada e sem danos à peça (DNIT)	Painéis removidos e reaproveitados; fôrmas pesadas movimentadas com guindaste articulado.	Conforme.
Cabeamento e protensão	fcj ≥ 30 MPa e idade ≥ 10 dias; ordem C1 a C4; controle de força e alongamento; pessoal especializado (DNIT; ABNT NBR 14931; CASTRO, 2011)	Cabeamento em 26/11/2024 e protensão em 27/11/2024 por empresa especializada, com macaco, bomba com manômetro e planilha de controle; concreto com mais de 80 dias	Conforme quanto à idade e à equipe.
Preenchimento	Nichos obturados com graute + 30% de pedrisco; injeção de calda de cimento nas bainhas (DNIT)	Nichos fechados com fôrma e mangueiras de injeção; calda de cimento misturada, peneirada e bombeada em 29/11/2024	Conforme.
Transporte e içamento	Cuidados no transporte; travamento contra tombamento; içamento pelos furos de 150 mm (DNIT; BORGHI; LISBOA; ARAÚJO, 2019; ABCIC, 2019)	Içamento com dois guindastes no canteiro e no viaduto (um de 240 t); carreta com eixo traseiro independente; área sinalizada; escoras de travamento após o posicionamento (16 e 17/01/2025)	Conforme.

Fonte: Autor (2026)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a execução das cinco vigas pré-moldadas protendidas do viaduto da interseção das rodovias BR-364 e BR-435, em Vilhena/RO. A caracterização da obra e do projeto mostrou vigas em "I" com 39 m de comprimento, quatro cabos de 15 cordoalhas e concreto de 40 MPa. O acompanhamento permitiu descrever todas as etapas de execução, da montagem da pista de produção ao içamento sobre os apoios, entre julho de 2024 e janeiro de 2025. Os resultados do controle tecnológico confirmaram que o concreto atendeu à resistência especificada, e a protensão foi executada por empresa especializada, com o concreto em idade muito superior à mínima exigida pelo projeto.

As vigas de concreto protendido têm como principal característica a capacidade de vencer grandes vãos com seções esbeltas. Por isso, a escolha desse sistema mostrou-se adequada ao viaduto estudado, cujo vão de 38 m está próximo do limite usual das vigas pré-moldadas para pontes.

A fabricação das vigas no próprio canteiro também se mostrou uma decisão acertada. Com a produção junto ao local de montagem, a mesma equipe técnica conduziu todas as etapas, da fabricação ao transporte e ao içamento, e a movimentação das peças exigiu apenas uma carreta e dois guindastes, em um percurso curto. Se as vigas tivessem sido produzidas em outro local, o transporte de peças com 39 m de comprimento e cerca de 75 t seria mais demorado e complexo e tenderia a elevar os custos da obra.

A comparação entre os procedimentos observados e a literatura técnica mostrou que a execução esteve, de modo geral, de acordo com as recomendações dos autores, das normas e do projeto, o que indica que a bibliografia disponível oferece base suficiente para a boa execução desse tipo de estrutura. O principal ponto de divergência está na mão de obra. Embora a literatura aponte a falta de profissionais especializados como uma desvantagem do concreto protendido (CASTRO, 2011), ela trata pouco de como essa limitação afeta o dia a dia do canteiro. Na prática, observou-se que as equipes exigem atenção e controle constantes para que os procedimentos sejam executados como previsto.

Como limitação, o estudo baseou-se no acompanhamento de uma única obra e em parte dos registros de controle, já que não foram analisados os relatórios de concretagem de todas as vigas nem os alongamentos medidos na protensão. Para trabalhos futuros, sugere-se analisar as perdas de protensão a partir dos alongamentos reais, comparar os custos da

fabricação no canteiro com os da fabricação em indústria e propor um roteiro de fiscalização para a execução de vigas pós-tracionadas em canteiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. R. M. B.; SANTOS, A. F. C. Estruturas pré-moldadas de concreto protendido: comportamento da estrutura e manifestações patológicas. **Boletim do Gerenciamento**, [Rio de Janeiro], n. 17, p. 61-72, 2020. Disponível em: https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/download/459/284. Acesso em: 23 out. 2026.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **Manual de montagem das estruturas pré-moldadas de concreto**. São Paulo: ABCIC, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: concreto dosado em central: preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7483**: cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto protendido**. Bauru: UNESP, 2025. Notas de aula. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf. Acesso em: 23 out. 2026.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 2 v.

BORGHI, Graziela Borges; LISBOA, Guilherme de Paula; ARAÚJO, Daniel de Lima. Análise da estabilidade lateral de uma viga pré-moldada de concreto para ponte em fases transitórias. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 15, n. 1, p. 151-167, jan./jun. 2019. DOI: 10.5216/reec.v15i1.49640.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Extrato do Terceiro Termo Aditivo ao Contrato nº 686/2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 jul. 2026. Seção 3.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido**: pós-tração, pré-tração, cálculo e detalhamento. São Paulo: Pini, 2012. 431 p.

CASTRO, Sérgio Vannucci de. **Concreto protendido**: vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CAVA ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA LTDA. **Ensaios de laboratório**: controle de concreto – Viga 04. Contrato nº 686/2023, BR-364/RO, km 26,50 ao km 27,90. Vilhena, ago. 2024a. Relatório técnico.

CAVA ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA LTDA. **Ensaios de laboratório**: controle de concreto – Viga 05. Contrato nº 686/2023, BR-364/RO, km 26,50 ao km 27,90. Vilhena, set. 2024b. Relatório técnico.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Projeto executivo de OAE**: viaduto acesso à RO-399. Rodovia BR-364/RO, segmento km 26,5 ao km 27,9. Elaborado por Consol Engenheiros Consultores. Rondônia, 2023. Folhas OAE-01 a OAE-25.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONDIM, J. J. **Avaliação de viga de concreto pré-moldado para pontes rodoviárias com vão entre 15 e 35 metros**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2, p. 905-944.

ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**: concreto protendido. Rio de Janeiro: Interciência, 1983. v. 5.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido**: introdução. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. v. 1.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

VERÍSSIMO, G. S.; CÉSAR JR., K. M. L. **Concreto protendido**: fundamentos básicos. Viçosa: UFV, 1998.