



MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO DE PONTE RODOVIÁRIA

CURITIBA
2020



HANNA PAULA DE AGUIAR
LUIZ AUGUSTO PIENIZ

MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO DE PONTE RODOVIÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Pontes e Grandes Estruturas Viárias com Ênfase em Projetos, Pós-Graduação *lato sensu*, do IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Pontes e Grandes Estruturas Viárias.

Orientador: Prof. Esp. Mauer Egas.

CURITIBA
2019

AGRADECIMENTOS

Aos demais alunos da turma pela parceria e amizade.

Aos nossos familiares e amigos, em especial aos nossos companheiros pelo suporte ao longo dessa jornada.

À todos os professores do curso que contribuíram para ajudar no nosso desenvolvimento profissional, em especial ao professor Mauer Egas, pela dedicação e o auxílio prestado durante os assessoramentos.

RESUMO

Pontes são estruturas que possibilitam a superação de obstáculos. Este memorial tem por objetivo descrever a metodologia adotada para dimensionamento de uma ponte em viga em concreto protendido e concreto armado de 106,5 metros de comprimento com vigas múltiplas. No presente trabalho é descrito ainda, o projeto executivo, de maneira a fornecer as informações necessárias para a sua execução, levando em conta todos os critérios exigidos pelas normas vigentes. São detalhados os cálculos, elementos construtivos e demais itens indispensáveis ao projeto de uma obra de arte especial.

Palavras chave: Ponte, concreto protendido, concreto armado, longarinas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Seção transversal tabuleiro. Fonte: Autoria própria.	14
Figura 2. Gráfico. Fonte: Notas de Aula - Pontes de Concreto Protendido Prof. Eduardo C. S. Thomaz	14
Figura 3. Geometria longarina, seção longitudinal e transversal. Fonte: V-PRO.....	32
Figura 4. Parâmetros de entrada laje de extremidade. Fonte: TRusch.	43
Figura 5. Diagrama de momentos M_x na laje devido a carga móvel. Fonte: TRusch. .	43
Figura 6. Diagrama de momentos M_y na laje devido a carga móvel. Fonte: TRusch. .	44
Figura 7. Diagrama de momentos M_x na laje devido a carga permanente. Fonte: TRusch.	44
Figura 8. Diagrama de momentos M_y na laje devido a carga permanente. Fonte: TRusch.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de <i>input</i> V-PRO. Fonte: Autoria própria.	33
Tabela 2. Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão). Fonte: Adaptado de V-PRO.	33
Tabela 3. Propriedades geométricas seção transversal (Fase final). Fonte: Adaptado de V-PRO.	34
Tabela 4. Casos de carregamento considerado. Fonte: Adaptado de V-PRO.	34
Tabela 5. Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞ . Fonte: V-PRO.	36
Tabela 6. Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞ . Fonte: Adaptado de V-PRO.	37
Tabela 7. Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m). Fonte: Adaptado de V-PRO.	38
Tabela 8. Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN). Fonte: Adaptado de V-PRO.	39
Tabela 9. Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa). Fonte: Adaptado de V-PRO.	40
Tabela 10. Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$). Fonte: Adaptado de V-PRO.	41
Tabela 11. Verificação ELU-ATO ($-19,6$ MPa $\leq \sigma_c \leq 3,32$ MPa). Fonte: Adaptado de V-PRO.	41
Tabela 12. Armadura longitudinal. Fonte: Autoria própria.	42
Tabela 13. Armadura transversal. Fonte: Autoria própria.	42

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
SUMÁRIO	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. DESCRIÇÃO DA OAE E PRE-DIMENSIONAMENTO	13
2.1. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	16
2.1.1. SUPERESTRUTURA.....	16
2.1.2. INFRA-ESTRUTURA.....	16
2.1.3. OBRAS COMPLEMENTARES.....	17
3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARTICULARES.....	19
3.1. CRITÉRIOS DE PROJETO	19
3.2. INSTALAÇÃO DA OBRA	19
3.3. MOBILIZAÇÃO.....	19
3.4. FUNDAÇÕES.....	20
3.4.1. ESTACAS CRAVADAS	20
3.5. ESTRUTURA DE CONCRETO	21
3.5.1. GENERALIDADES	21
3.6. MATERIAIS.....	22
3.7. DOSAGEM.....	23
3.7.1. CONCRETO ARMADO	23
3.7.2. MISTURA E AMASSAMENTO	23
3.7.3. TRANSPORTE, PREPARO DA SUPERFÍCIE E LANÇAMENTO	24
3.7.4. ADENSAMENTO	24
3.7.5. CURA E PROTEÇÃO DO CONCRETO.....	25
3.8. REPAROS NO CONCRETO	25
3.9. CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	26
3.10. FORMAS	26
3.11. RETIRADA DE FORMAS E ESCORAMENTO	27
3.12. ABERTURAS, FUROS E PEÇAS EMBUTIDAS.....	27

3.13. AÇOS PARA PROTENSÃO.....	28
3.14. ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO	28
3.14.1. AÇOS EMPREGADOS – PREPARO E ARMAZENAGEM	28
3.14.2. CORTE E MONTAGEM DAS ARMADURAS	29
3.14.3. EMENDAS	29
3.15. APARELHOS DE APOIO ELASTÔMETRO FRETADO.....	29
3.16. ARGAMASSAS	30
3.17. BARREIRAS	30
3.18. DRENOS (BUZINOTES).....	30
3.19. SINALIZAÇÃO.....	30
3.20. PAVIMENTAÇÃO.....	30
3.21. DESMOBILIZAÇÃO DA OBRA	31
3.22. OBSERVAÇÕES.....	31
4. DIMENSIONAMENTO	32
4.1. LONGARINAS.....	32
4.1.1. DADOS INICIAIS	32
4.1.2. AÇÕES CONSIDERADAS.....	34
4.1.3. COMBINAÇÕES.....	35
4.1.4. PROTENSÃO	35
4.1.5. ESFORÇOS SOLICITANTES	38
4.1.6. ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURA (ELS-F)	39
4.1.7. ESTADO LIMITE DE DESCOMPRESSÃO (ELS-D).....	40
4.1.8. ESTADO LIMITE DE ÚLTIMO NO ATO DE PROTENSÃO (ELU- ATO)	41
4.1.9. ARMADURAS	42
4.2. LAJES	42
4.3. LAJES DE APROXIMAÇÃO	45
4.4. BARREIRAS	45
4.5. TRANSVERSINAS	46
4.6. TRAVESSAS.....	46
4.7. PILARES	49
4.8. BLOCOS DE FUNDAÇÃO	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
---	-----------

1. INTRODUÇÃO

As pontes são entendidas como estruturas sujeitas à ação de cargas em movimento e que possuem a finalidade de transpor um obstáculo natural para garantir a continuidade de uma via. Neste trabalho serão apresentadas as considerações acerca das características de uma ponte projetada conforme as diretrizes repassadas.

O objetivo do presente memorial é apresentar o projeto executivo, de maneira a fornecer as informações necessárias para a sua execução, levando em conta todos os critérios exigidos pelas normas vigentes. Por se tratar de um trabalho acadêmico, serão apresentadas apenas as informações pertinentes aos itens solicitados conforme diretriz apresentada para os alunos.

Em sequência, todos os detalhes e cálculos referentes aos elementos que compõem a obra de arte especial serão descritos, de modo a permitir o entendimento do projeto.

2. DESCRIÇÃO DA OAE E PRE-DIMENSIONAMENTO

LOCAL: Capitão Leônidas Marquês – PR

TRANSPOSIÇÃO: Rio Andrada

TIPOLOGIA: Pré-moldada com 03 tramos isostáticos em concreto armado e protendido;

EXTENSÃO: 106,50m (de aba à aba)

VÃOS: 03 com 32,50m

CLASSE DA RODOVIA: II (pista simples, 2 faixas)

TREM TIPO: TB-45

GABARITO FLUVIAL: 8,00m

ENGENHEIROS RESPOSÁVEIS:

Eng. Hanna Paula de Aguiar
CREA SC: 155735-5

Eng. Luiz Augusto Pieniz
CREA SC: 43983-9

A superestrutura é formada por tabuleiro de 6 (seis) vigas múltiplas protendidas pós-tensionadas através de cordoalhas, aço CP-190-RB, comprimento de 32,10 metros e 1,90 metros de altura constante, solidarizadas e contraventadas por transversinas e lajes da pista, as primeiras protendidas e as últimas em concreto armado. Na Figura 1 é apresentada a seção transversal do tabuleiro.

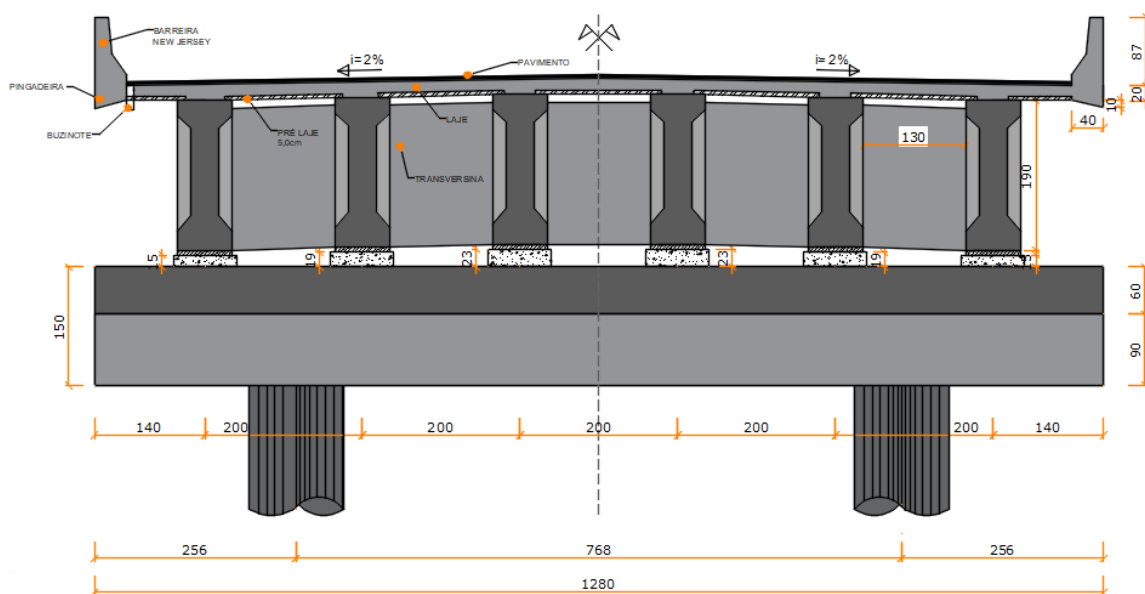


Figura 1. Seção transversal tabuleiro. Fonte: Autoria própria.

A altura pré estabelecida com 1,90m foi definida de acordo com notas de aula e por parâmetros extraídos do gráfico do Prof. Eduardo Thomaz apresentado na Figura 2.

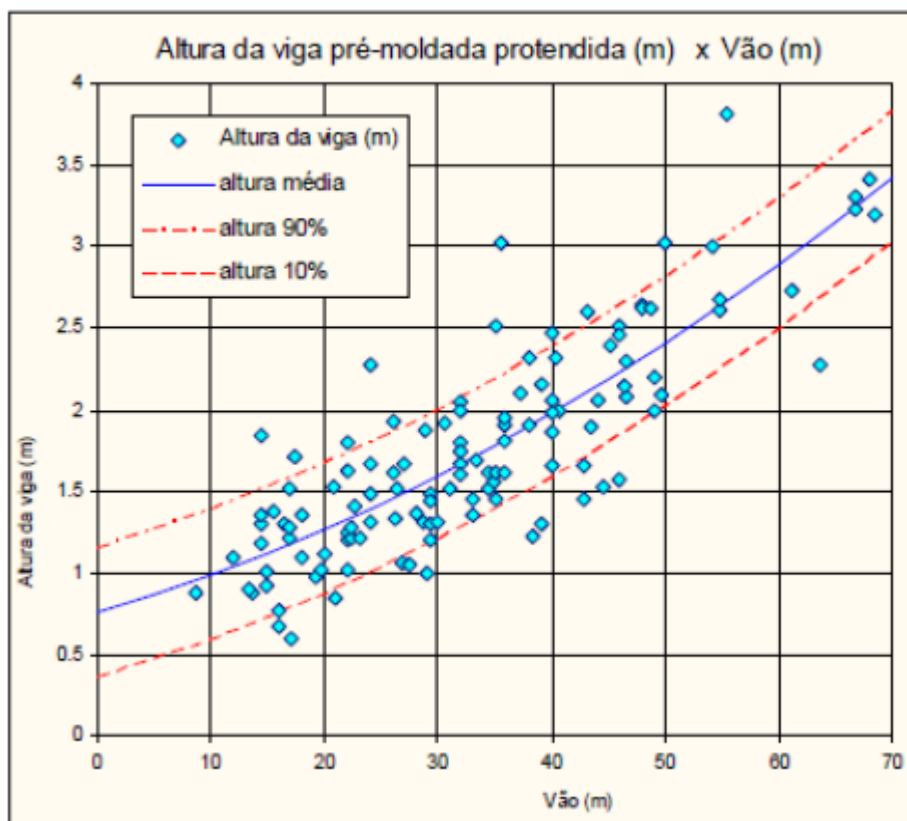


Figura 2. Gráfico. Fonte: Notas de Aula - Pontes de Concreto Protendido Prof. Eduardo C. S. Thomaz

Este gráfico apresenta um trabalho estatístico correlacionando vãos x altura de viga, e foi utilizado para a pré fixação da altura da ponte em projeto. Como a altura média apresentada no gráfico varia de 1,50m a 2,00m (para vãos entre 30,0 e 40,0m), estabeleceu-se a altura de 1,90m.

Para concretagem das lajes serão utilizadas placas pré-moldadas, tipo pré-laje com espessura de 5,0cm. Tabuleiros com 3 tramos de 32,50 m, mais os comprimentos de alas, totalizando 106,50m de extensão de OAE.

Constituindo a mesoestrutura, pilares de seção circular de dimensões constantes, e sem septo intermediário de modo a simplificar a execução com o emprego da técnica de formas deslizantes.

Os topos dos pilares são dotados de travessas pré-dimensionadas para apoio da superestrutura, possuindo geometria adequada para facilitar a montagem das vigas pré-moldadas.

Os aparelhos de apoio para as vigas principais da superestrutura são do tipo "elastômeros fretados" com dimensões padronizadas e de acordo com o dimensionamento.

A infra-estrutura será dotada de blocos com conjunto de estacas.

OBRAS COMPLEMENTARES

Cortina de concreto armado do tipo leve e providos de alas de retorno na margem direita e na margem esquerda, prevendo-se a execução prévia dos aterros de acesso. Além desses elementos, será previsto uma laje de transição em concreto armado, afim de fazer a ligação entre o pavimento flexível e a OAE.

Todas as dimensões das peças foram previamente estimadas de acordo com apontamentos de aula, orientações de professores e segundo o material apresentado pelo Prof. Eduardo C. S. Thomaz, seguindo recomendações estatisticamente já utilizadas em outros projetos e estudos.

2.1. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

2.1.1. SUPERESTRUTURA

Canteiros de pré-moldagem contínua serão estabelecidos nas margens, de modo a permitir alta padronização e eficiência assim como a qualidade superior de serviços, tanto no que concerne ao aspecto das peças como a qualidade e quantidade de vibração necessária.

Após a devida concretagem das vigas, deverão receber a primeira etapa de protensão, para que sejam transportadas com segurança para o canteiro de estocagem. Após essa primeira etapa, as vigas sofrerão nova protensão aos 30 (trinta) dias. A operação de lançamento das vigas será procedida por meio de treliça de lançamento do tipo Sicet, que dotadas de movimentação longitudinal e transversal, possibilitando um perfeito posicionamento das vigas sob as travessas.

As vigas serão elevadas de sua posição no canteiro de estocagem à posição de transporte por meio de carros pórticos que conduzem a peça sobre a estrutura executada até treliça de lançamento no vão a ser lançado.

Após a colocação das seis vigas que constituem o conjunto principal de um tramo, serão concretadas por meio das pré-lajes, as lajes entre as vigas e as transversinas. Antes das concretagens das lajes serão as vigas contra-ventadas provisoriamente entre si para permitir a continuidade da operação de lançamento.

Uma vez solidarizado transversalmente o tramo, são executados barreira e a pavimentação.

2.1.2. INFRA-ESTRUTURA

A infra-estrutura será composta por fundações do tipo estacas pré moldadas centrifugadas, que serão cravadas no solo até atingir a resistência de projeto.

Para as estacas posicionadas dentro do rio será necessário a execução de uma enseadeira a fim de que o equipamento do bate-estaca consiga se instalar no local exato das estacas.

As demais estacas (em solo) serão pré moldadas também centrifugadas e serão cravadas com equipamento convencional de bate estacas.

2.1.3. OBRAS COMPLEMENTARES

Nas duas margens, tendo em vista a retenção eficiente dos aterros de acesso, foram previstos cortinas de concreto armado para retenção total dos aterros de acesso.

Alas de retorno complementam e aumentam a segurança no entorno das extremidades da obra.

JUSTIFICATIVA

A solução proposta para a travessia do Rio Andrada, norteou-se entre outros fatores principalmente na eliminação sistemática de todas as variáveis menos ponderáveis que pudessem incidir na alteração do cronograma da obra e consequentemente no prazo construtivo previsto. Rejeitou em princípio e tendo em vista o conhecido regime de cheias do rio Andrada e afluentes todo e qualquer cimbramento dentro álveo normal do rio o que elimina, a possibilidade de atrasos e perdas de materiais para toda a obra.

Dentre as diferentes soluções sem a utilização de cimbramento, foi escolhida a que permitisse o uso de equipamento e mão de obra correntes no país, e principalmente no meio técnico, além de permitir total padronização nos elementos estruturais envolvidos.

Como decorrência das disposições propostas foi escolhida a solução por pré-moldagem com posterior lançamento das vigas principais.

O proporcionamento dos tramos foi praticamente imposto pela limitação superior de equipamento de lançamento que, permite sem nenhuma complementação o transporte, lançamento e posicionamento definitivo de vigas de até 45 metros de vão.

Tendo em vista tal fator, procurou-se tirar partido dessas facilidades adotando-se três vãos iguais de 32,50 metros de comprimento que permite alta industrialização de obra, como também, limita a dois o número de apoios dentro do rio.

Por outro lado, a previsão de apoios constituídos por pilares de seção circular aliado à técnica de execução de formas deslizantes, permite a fixação desses apoios independentes de onerosos e problemáticos escoramentos autônomos.

Finalmente, os apoios relativamente esbeltos e o tabuleiro de espessura estrutural constante apresentam excelente aspecto estético.

As fundações em função das características do subsolo, regime do rio e facilidades de implantação, foram selecionadas entre outras no emprego de estacas cravadas, por se tratar de solução corrente em nosso meio técnico.

3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARTICULARES

3.1. CRITÉRIOS DE PROJETO

Todo projeto executivo será elaborado conforme as Normas Brasileiras, em particular:

- ABNT NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento;
- ABNT NBR 14931:2004 – Execução de estruturas de concreto - Procedimento.

Além das normas citadas e da bibliografia consultada e também sem prejuízo de observações contidas no projeto e nestas ESPECIFICAÇÕES, o detalhamento do projeto executivo obedece as seguintes recomendações:

- Comprimento considerado das barras de aço para armadura 12,00 m;
- Aço: CA 50/60 (concreto armado);
- Aço: CP-190-RB (concreto protendido);

3.2. INSTALAÇÃO DA OBRA

Efetuada a instalação do acampamento, será executada a locação da obra obedecendo as cotas e coordenadas fornecidas pela **fiscalização**.

3.3. MOBILIZAÇÃO

A empreiteira deverá tomar todas as providências relativas à mobilização do pessoal e equipamentos de construção, imediatamente após a assinatura contrato, de forma a poder dar início efetivo às obras e possibilitar o cumprir do cronograma de construção.

3.4. FUNDAÇÕES

3.4.1. ESTACAS CRAVADAS

3.4.1.1. INTRODUÇÃO

Elementos estruturais da fundação que transmitem a carga ao solo resistente por compressão através de seu corpo cilíndrico.

Para este projeto as estacas centrifugadas cilíndricas foram escolhidas em função das características do local, das cargas submetidas e das características do terreno.

As estacas em terra, serão cravadas no terreno por golpes de martelo de gravidade, onde a paralização se dará até que a mesma atinja o solo firme.

Para as estacas dentro da água, serão necessários a utilização de embarcações tipo balsa onde os bate estacas estarão fixados para que efetuem a cravação. Necessário garantir a perfeita imobilidade da embarcação a fim de que seja garantida a produtividade da cravação.

Caso haja algum local que o firme não seja atingido pelo comprimento da estaca, será necessário a utilização de união soldada de dois anéis previamente fundidos nas extremidades das estacas, garantindo a continuidade estrutural da estaca.

3.4.1.2. BLOCOS

Os blocos estão dimensionados para transmitir as cargas provenientes dos pilares superiores para as estacas que por sua vez transferem ao solo.

Os blocos serão individuais por pilares onde os mesmos irão englobar as 4 estacas pré moldadas.

As cotas e as posições das estacas devem rigorosamente ser locadas com aparelhos de topografia com estação total a fim de que sejam perfeitamente posicionados conforme projetos.

Para a execução dos blocos na água, será executado ensecadeiras com pedras e posteriormente com rachões, de forma que se crie superfícies planas e seguras para que receba o equipamento do bate-estacas. Após a cravação os blocos serão escavados em posições onde somente após a sua execução é que será retirado a ensecadeira.

Haverá arrasamento de todas as estacas, que será feito de modo manual, com rompedores. Atentar para os níveis de arrasamento e dos blocos que devem estar rigorosamente conforme indicações no projeto executivo.

3.4.1.3. CONCRETO

Deve obedecer ao projeto, devendo estar em conformidade com a NBR-6118:2014, em função da classe de agressividade ambiental.

Para concretagem do fuste e da base deve ser utilizado no mínimo concreto classe 25, segundo NBR-8953:1992 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência, bem fluído, abatimento do tronco de cone da ordem de 6 ± 1 .

O lançamento deve ser planejado de modo a evitar juntas frias, que devem ser evitadas e de forma alguma toleradas.

O adensamento deve ser feito através de vibradores de imersão, por meio de mangotes de 45 mm e 60 mm. O consumo de cimento por m³ de concreto não deve ser inferior a 300 kg.

3.5. ESTRUTURA DE CONCRETO

3.5.1. GENERALIDADES

Esta seção trata de todos os trabalhos referentes ao concreto para estrutura permanente, de acordo com o projeto executivo, incluindo material e equipamento para fabricação, transporte, lançamento, adensamento, acabamento, cura e controle tecnológico.

As tensões características dos concretos empregados nesta obra, designados pela notação “fck”, correspondem aos valores que apresentam uma probabilidade de apenas 5% de não serem atingidos. Para o projeto foram pré-definidos as características a seguir:

- ✓ Infra-estrutura e mesoestrutura fck = 40 MPa
- ✓ Vigas pré-fabricadas e superestrutura..... fck = 45 MPa

O concreto será composto de cimento, água, agregados e qualquer componente adicionado, a critério da **fiscalização** e por conta da Empreiteira, tal como: incorporador de ar, redutor de água, retardador de pega, impermeabilizante, plastificante, superplastificantes, microsilica ou outro, que produza propriedades benéficas conforme comprovado em ensaios de laboratório e aprovado pela **fiscalização** devendo assegurar:

- ✓ Trabalhabilidade compatível com as necessidades de lançamento;
- ✓ Homogeneidade em todos os pontos da massa;

- ✓ Após o lançamento, apresentar compacidade adequada e, após a cura, durabilidade, impermeabilidade e resistência mecânica, de acordo com as especificações do projeto.

O concreto e materiais componentes obedecerão às normas e especificações ABNT e ASTM e, em casos de omissão ou não aplicabilidade, prevalecerão exigências destas especificações ou de outras normas e especificações determinadas pela **fiscalização**.

A Empreiteira deverá obrigatoriamente dispor para sua consulta no canteiro de obras de um conjunto completo das normas da ABNT relativas a concreto armado e protendido.

As especificações gerais de obras rodoviárias do DNER poderão ser usadas, como forma complementar de orientação.

3.6. MATERIAIS

1.1.1 CIMENTO

Será empregado o do tipo Portland comum ou pozolânico classe 32 de acordo com as prescrições das normas pertinentes. O uso de qualquer outro estará também sujeito à ABNT.

1.1.2 AGREGADO MIÚDO

Areia quartzosa, com dimensão igual ou inferior a 4,8 mm, atendendo aos requisitos de granulometria, porcentagem máxima de argila, materiais orgânicos, materiais pulverulentos e ensaio de qualidade constantes na ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto.

1.1.3 AGREGADO GRAÚDO

Os agregados a serem usados não deverão conter materiais deletérios e não deverão ser reativos. Serão dispensados destes ensaios os materiais que já tiverem uso consagrado.

Grãos resistentes, duros e estáveis, de pedra britada, de seixos rolados, britados ou não, de dimensão maior que 4,8 mm, obedecendo a ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto.

1.1.4 ÁGUA

Doce, limpa e isenta de substâncias estranhas e nocivas como silte, óleo, sais ou matéria orgânica em proporção que comprometa a qualidade do concreto.

1.1.5 ADITIVO

O uso será restrito a casos especialmente necessários sob autorização e orientação da fiscalização. Quando isso ocorrer, observar rigorosamente as prescrições do fabricante e realizar ensaio de laboratório para determinar teor e eficiência.

3.7. DOSAGEM

3.7.1. CONCRETO ARMADO

O traço será determinado por método racional, em laboratório idôneo aceito pela **fiscalização**, a expensas da Empreiteira, antes do início da concretagem. Os estudos de dosagem deverão ser compatíveis com a natureza da obra, condições de trabalho, durabilidade, condições de transporte e lançamento. O fator água/materiais seco deverá atender as necessidades criadas pelas temperaturas e umidade relativa do ar nos casos mais extremos. A dosagem deverá resultar produto final homogêneo com argamassa trabalhável e compatível com dimensões, finalidade, disposição e densidade de armadura dos elementos estruturais assim como com formas de transporte e adensamento, tudo de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.

O traço somente poderá ser aplicado após sua aprovação por escrito pela **fiscalização**. O controle tecnológico a ser adotado para o cálculo do traço de concreto será o controle sistemático rigoroso.

3.7.2. MISTURA E AMASSAMENTO

Somente será admitido o processo mecânico. O tempo de mistura, contado do lançamento de todos os componentes, será de dois minutos e meio, reservado a fiscalização o direito de aumentá-lo, caso o concreto, a ser moldado não demonstre homogeneização adequada.

Não será admitido o concreto re-misturado e/ou quando já tiver iniciado a pega.

A correção de água de amassamento em tempo quente deverá atender a ABNT NBR 7212 - Execução de concreto dosado em central e ACI-305.

A **fiscalização** orientará em caso de dúvida.

3.7.3. TRANSPORTE, PREPARO DA SUPERFÍCIE E LANÇAMENTO

A concretagem das peças moldadas no local somente será feita após a liberação pela **fiscalização**.

O concreto deverá manter as características originais do traço liberado para uso, sob pena de rejeição da carga.

Com a finalidade de evitar a segregação no transporte e lançamento serão adotadas medidas e/ou equipamentos especiais. No caso de lançamento de altura superior a 2 m, poderão ser usados trombas, funis ou calhas previamente aprovados pela **fiscalização**. A diminuição da altura poderá ser obtida através abertura de janelas laterais nas formas. A altura das camadas de concretagem fixada em função da dimensão das peças e obedecendo a ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.

Toda a superfície de terra onde o concreto for lançado será compactada e isenta de água empoçada, lama ou detrito. Solo menos resistente deve ser removido e substituído por concreto magro ou por solo selecionado e compactado até a densidade da área vizinha. A superfície de solo será convenientemente saturada antes do lançamento. Superfície rochosa deverá estar limpa, isenta de óleo, água parada ou corrente, lama e detrito.

Durante esta fase, serão tomadas precauções para prevenir a ação das intempéries.

3.7.4. ADENSAMENTO

O concreto moldado no local será vibrado mecanicamente por meio de vibradores de imersão com diâmetro compatível ou de parede, para obter a máxima compacidade.

O vibrador de imersão deverá operar verticalmente e a penetração será feita por seu próprio peso. Evitar contato direto com a armadura e forma. A retirada do equipamento de dentro da massa deverá ser lenta, para não ocasionar a formação de vazios. A agulha deve penetrar na camada recém lançada e também na anterior, enquanto esta não tiver inicializado o processo de pega, para assegurar boa união e homogeneidade entre as duas camadas e prevenir a formação de juntas frias, não devendo, porém, o comprimento da penetração ser superior ao da agulha.

As quantidades de vibradores e respectivas potências serão adequadas ao volume a ser adensado. As aplicações sucessivas serão realizadas à distância máximo ao raio de ação das vibrações.

O vibrador de imersão não poderá, de forma alguma, ser utilizado como transportador de concreto dentro das formas.

Técnicas de revibração poderão ser usadas desde que sejam feitos ensaios de laboratório para orientação dos trabalhos.

Serão tomadas todas as precauções para evitar a formação de ninhos, a alteração da posição da armadura, nem ocasionar quantidade excessiva de nata na superfície ou a segregação do concreto.

3.7.5. CURA E PROTEÇÃO DO CONCRETO

Recomenda-se o uso da cura úmida (por difusão de água), por razão de somente a saturação proceder satisfatoriamente à hidratação, tempo e umidade são fatores importantes nos processos de hidratação controlados pela difusão da água, bem como, em todas as reações químicas, a temperatura tem um efeito acelerador sobre as reações de hidratação.

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto será protegido de chuva torrencial, agentes químicos, choques e vibrações com intensidade tal que possam produzir fissura na massa ou inaderência a armadura.

A proteção contra a secagem prematura evitando ou reduzindo os defeitos de retração por secagem e fluência, pelo menos durante os sete primeiros dias após o lançamento, deverá ser feita mantendo umedecida a superfície, usando película impermeável ou ainda com emprego de mantas hidrófilas (Curaflex ou similares).

O tempo de cura poderá ser aumentado de acordo com a natureza do cimento e características da obra.

Compostos químicos para a cura somente serão usados quando aprovados, por escrito, pela **fiscalização**.

3.8. REPAROS NO CONCRETO

Em caso de necessidade, somente poderão ser feitos por pessoal especializado.

O local defeituoso será cortado com máquina pneumática ou elétrica, eliminando-se as partes soltas. A superfície deverá ficar rugosa preparada com apicoamento mecânico, jato de água de alta pressão ou jato de areia, independentemente de seu tamanho.

Quando o reparo for feito em concreto, a superfície preparada deverá ser previamente saturada com água e o concreto deverá, preferencialmente ter o mesmo traço do concreto original.

Em estruturas, onde não for conveniente o uso de concreto, poderão ser usados materiais especiais, tais como argamassa seca, epóxi, argamassa epoxídica, argamassa para 'grouting', etc. O uso destes materiais exige técnicas específicas recomendadas pelo fabricante e/ou pela **fiscalização**.

3.9. CONCRETO PRÉ-MOLDADO

O EMPREITEIRO fornecerá a **fiscalização** todos os ensaios e/ou certificados que esta entender necessários, assim como, facilitará a inspeção das instalações onde estiverem sendo elaboradas as peças pré-moldadas. Qualquer dispensa por parte da fiscalização, em exigir ensaios ou inspeções, não eximirá o EMPREITEIRO de fabricar e montar estruturas em perfeito estado de utilização. A **fiscalização** se reserva o direito de exigir reparos ou recusar as peças suspeitas e/ou defeituosas. Os reparos, se julgados necessários pela **fiscalização** serão conforme referência normativa ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

3.10. FORMAS

Serão executadas rigorosamente conforme dimensões indicadas em projeto, com material de boa qualidade e adequado ao tipo de acabamento da superfície de concreto por ele envolvido. Deverão obedecer as Normas ABNT NBR 7190:1997 – Projetos de estruturas de madeira e ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, respectivamente para estruturas de madeira e metálica.

Antes do início da concretagem serão molhadas até a saturação, executados furos para escoamento do excesso de água e verificada a estanqueidade.

As juntas serão vedadas e a superfície em contato com o concreto deverá estar isenta de impurezas prejudiciais à qualidade do acabamento. Os furos de escoamento da água serão vedados.

O emprego de aditivos especiais, aplicados nas paredes internas das formas para facilitar a desforma, só poderá ser realizado mediante autorização da **fiscalização** e demonstrado pelo fabricante que seu emprego não introduz manchas ou alterações no aspecto exterior da peça.

3.11. RETIRADA DE FORMAS E ESCORAMENTO

Não deverá ocorrer antes dos seguintes prazos: (concreto armado)

- ✓ Face lateral 03 dias;
- ✓ Face inferior c/ pontalete bem encunhada 14 dias;
- ✓ Face inferior sem pontalete 21 dias.

O pontalete que permanecer após a desforma, não deverá produzir esforço de sinal contrário ao de carregamento com que a peça foi projetada para evitar rompimento ou trinca.

A Empreiteira deverá apresentar a **fiscalização** com antecedência mínima de uma semana, o plano de desforma das diversas estruturas, para análise e aprovação.

Somente será permitido o uso da estrutura como elemento estrutural auxiliar da construção ou como depósito provisório de materiais de construção após a verificação das condições de estabilidade e aprovação da **fiscalização**.

3.12. ABERTURAS, FUROS E PEÇAS EMBUTIDAS

As aberturas, furos, passagens, tubulações e peças embutidas, deverão obedecer rigorosamente às determinações do projeto, não sendo permitida a mudança de posição. Serão tomadas providências antes da concretagem, evitando-se danificar o concreto adjacente na fase de montagem.

Quando inevitável, a mudança será autorizada por escrito pela fiscalização, que procederá a revisão do projeto.

3.13. AÇOS PARA PROTENSÃO

Para a protensão das vigas principais serão empregados cordoalhas e fios de aço de baixa relaxação, obedecendo onde necessário as normas, especificações e métodos da ABNT em vigor, os quais deverão ser aplicados integralmente e que são os seguintes:

- ✓ ABNT NBR 7187:2003 - Projetos e execução de pontes de concreto armado e protendido – Procedimento;
- ✓ ABNT NBR 7482:2020 – Fios de aço para concreto protendido – Especificação;
- ✓ ABNT NBR 7483:2008 – Cordoalhas de aço para concreto protendido – Especificação
- ✓ ABNT NBR 7484:2009 – Fios, barras e cordoalhas de aço destinados a armaduras de protensão – Ensaio de relaxação isotérmica – Método de ensaio

Para as armaduras passivas, serão empregadas barras de aço de seção circular de diversas bitolas do tipo CA-50 conforme indicado no projeto e obedecendo ao especificado neste documento.

3.14. ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO

3.14.1.AÇOS EMPREGADOS – PREPARO E ARMAZENAGEM

Será executada de acordo com o projeto, observando-se estritamente as características do aço, número de camadas, dobramento, espaçamento e bitola dos diversos tipos de barras retas e dobradas, amarradas com arame preto no16 ou no18.

As barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado deverão obedecer às seguintes prescrições:

- ✓ ABNT NBR 6118:2014 - Projeto e execução de obras de concreto armado;
- ✓ ABNT NBR 7480:2007 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação;
- ✓ ABNT NBR 7481:1990 – Tela de aço soldada – Armadura para o concreto.

Antes e depois de colocada em posição, à armadura deverá estar perfeitamente limpa, sem ferrugem, pintura, graxa, terra, cimento ou qualquer outro elemento que possa prejudicar sua aderência ao concreto ou sua conservação.

A impureza será retirada com escova de aço ou qualquer tratamento equivalente.

As barras de aço deverão ficar no depósito da obra, apoiadas sobre vigas ou toras de madeira estáveis para evitar danos e/ou deformações.

3.14.2.CORTE E MONTAGEM DAS ARMADURAS

As armaduras deverão ser cortadas e dobradas de acordo com os detalhes do projeto, devendo ser usados pinos e cutelos compatíveis com o diâmetro e classe do aço das barras.

A emenda das barras deverá obedecer rigorosamente o disposto na ABNT NBR 6118:2014, para o tipo de emenda previsto pelo contratante, devendo o mesmo apresentar ao projetista, para aprovação, um plano de emenda em função das características locais.

3.14.3.EMENDAS

As emendas das barras das armaduras serão executadas por solda de topo (eletrofusão ou caldeamento) ou por justaposição, conforme indicação no projeto.

A substituição da emenda de topo por caldeamento por emenda de topo com eletrodo, ou preferencialmente por luvas mecânicas prensadas ou rosqueadas, poderá ser autorizada pela fiscalização caso ocorra conveniência de caráter econômico ou construtivo, porém sem adicional para o contratante.

Em qualquer caso deverá ser obedecido o disposto no item 9.5 Emendas da barras da ABNT NBR 6118:2014 - Projeto e execução de obras de concreto armado.

3.15. APARELHOS DE APOIO ELASTÔMETRO FRETADO

Os aparelhos de apoio de elastômero fretado deverão obedecer aos detalhes do projeto respeitando-se as seguintes condições: comprimento, largura ou diâmetro, podendo ser adquiridos de marcas ou fornecedores conceituados. Deverá ser seguida a norma ABNT NBR 19783:2015 – Aparelhos de Apoio de elastômero fretado – Especificação e métodos de ensaio ou a critério da **fiscalização** poderão ser aplicadas as especificações para "Almofadas Elásticas Fretadas com Chapas de Aço" do IPT de São Paulo.

Proceder conforme artigo 5.3.1 da ES – 335/97 DNIT.

3.16. ARGAMASSAS

Para a execução das bases de regularização e de nivelamento e das placas de apoio das articulações será empregada argamassa de alta resistência, de cimento comum e areia limpa, no traço aproximado de 1 para 3, em peso.

A critério da fiscalização ou do próprio construtor, não haverá inconveniente em adotar argamassas do tipo “grout”, de alta resistência, de marca conceituada, e utilizada de acordo com as especificações do fabricante.

3.17. BARREIRAS

Conforme desenhos de projeto, poderão ser pré-moldados.

3.18. DRENOS (BUZINOTES)

Serão obrigatoriamente executados onde indicados em projeto com tubos de ferro fundido, PVC ou fibrocimento para drenagem pluvial.

3.19. SINALIZAÇÃO

Os serviços de sinalização deverão ser executados em obediência a resolução de 666/2017 do Conselho Nacional de Trânsito.

A sinalização da obra será materializada através de um sistema de balizamento reflexivo e delineador.

3.20. PAVIMENTAÇÃO

Executar concreto com baixo fator água/material seco.

O agregado graúdo a ser usado deverá ter dimensões máximas adequadas à espessura do pavimento. 25mm será a maior dimensão permitida para o agregado do concreto de pavimentação.

Executar juntas a cada 3,00 a 5,00 metros, coincidindo sempre sobre os apoios e que sejam induzidas até 2/3 da altura do pavimento executado.

Poderá como opção, lançar placas alternadas da pavimentação.

3.21. DESMOBILIZAÇÃO DA OBRA

No final da obra deverá remover todas as instalações do canteiro de serviços, equipamentos edificações temporárias, sobras de material, formas, sucatas, cimento hidratado e entulho de construção de qualquer espécie.

A empreiteira deverá deixar em completa limpeza o pavimento de concreto e os passeios devidamente acabados, limpos de manchas e materiais estranhos aos acabamentos.

A empreiteira deverá deixar todo o canteiro, incluindo área de acampamento, áreas de trabalho e acessos temporários, em condições seguras.

3.22. OBSERVAÇÕES

Para qualquer omissão nestas Especificações, deverão ser utilizadas as Especificações Gerais para Obras Rodoviárias/Obras de Arte do DNER e/ou a Norma Técnica Brasileira pertinente ao item exigido. A **Fiscalização** poderá solicitar em qualquer item da obra o ensaio previsto em norma para sua posterior aceitação.

4. DIMENSIONAMENTO

Nesta etapa, serão apresentados informações pertinentes aos cálculos necessários para dimensionamento da estrutura. Por se tratar de uma obra especial, previu-se a durabilidade de 100 anos.

4.1. LONGARINAS

Para todos os vãos, foi adotado uma mesma geometria e comprimento para as longarinas. Sendo assim, com o intuito de ser prever a pior situação, será realizado o dimensionamento para apenas uma viga.

A verificação das linhas de repartição de cargas foi realizada pelo método ENGESSER-COURBON, que avalia a distribuição das cargas em cada longarina de acordo com o carregamento aplicado no tabuleiro.

Com a construção do diagrama é possível retirar com as ordenadas o percentual de cada ponto do tabuleiro, e as áreas de influência, e aplicação das cargas permanentes e móveis.

O dimensionamento se deu com o auxílio do software V-PRO, a seguir serão apresentadas as informações relacionadas pelo programa.

4.1.1. DADOS INICIAIS

Na figura 3, mostra-se a geometria da longarina, considerando o vão entre apoios, sendo composta por 3 cabos, sendo 1 com armadura ativa em ambas as extremidades, 1 com ativa em uma e passiva em outra e o terceiro sendo espelhado ao segundo cabo.

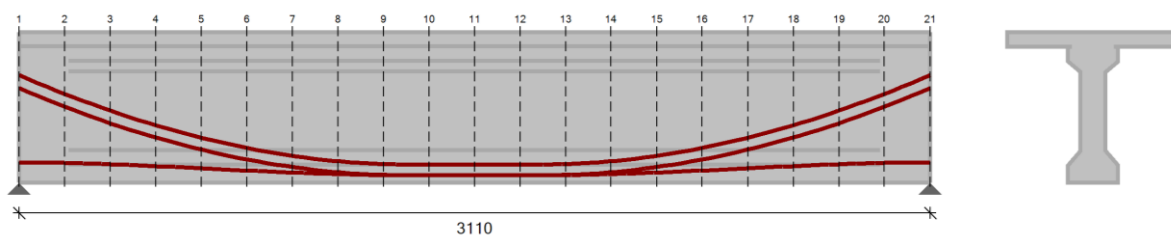


Figura 3. Geometria longarina, seção longitudinal e transversal. Fonte: V-PRO.

Foi considerado cabo com 12 cordoalhas de $\phi 15,2\text{mm}$ CP-190 RB cada. Os dados iniciais de *input* no programa são apresentados na Tabela 1.

Concreto	Armadura ativa	Armadura passiva
$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$ $E_c = 33 \text{ GPa}$ $f_{cj} = 28 \text{ MPa}$ $f_{ctm,j} = 2,77 \text{ MPa}$ $E_{c,j} = 26 \text{ GPa}$ $\gamma_c = 1,40$	$f_{ptk} = 1900,00$ $f_{pyk} = 1710,00$ $E_p = 200 \text{ GPa}$ $\gamma_p = 1,15$	$f_{yk} = 500,00$ $E_s = 210 \text{ GPa}$ $\gamma_s = 1,15$

Tabela 1. Dados de *input* V-PRO. Fonte: Autoria própria.

Na tabela 2, são mostradas as propriedades geométricas na seção transversal no ato da protensão.

Seção	x (m)	h (m)	y _i (m)	y _s (m)	A _c (m ²)	I _c (m ⁴)	W _i (m ³)	W _s (m ³)
1	0	1,9	0,95	0,95	1,33	0,40011	0,42117	0,42117
2	1,555	1,9	0,95	0,95	1,33	0,40011	0,42117	0,42117
3	3,11	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
4	4,665	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
5	6,22	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
6	7,775	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
7	9,33	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
8	10,885	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
9	12,44	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
10	13,995	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
11	15,55	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
12	17,105	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
13	18,66	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
14	20,215	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
15	21,77	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
16	23,325	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
17	24,88	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
18	26,435	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
19	27,99	1,9	0,93135	0,96865	0,88375	0,33758	0,36246	0,3485
20	29,545	1,9	0,95	0,95	1,33	0,40011	0,42117	0,42117
21	31,1	1,9	0,95	0,95	1,33	0,40011	0,42117	0,42117

Tabela 2. Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão). Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

x - abscissa da seção

h – altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Na tabela 3, são mostradas as propriedades geométricas na seção transversal no ato da protensão.

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	2,1	1,18937	0,91063	1,72273	0,73569	0,61856	0,80789
2	1,555	2,1	1,18937	0,91063	1,72273	0,73569	0,61856	0,80789
3	3,11	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
4	4,665	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
5	6,22	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
6	7,775	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
7	9,33	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
8	10,885	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
9	12,44	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
10	13,995	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
11	15,55	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
12	17,105	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
13	18,66	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
14	20,215	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
15	21,77	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
16	23,325	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
17	24,88	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
18	26,435	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
19	27,99	2,1	1,26014	0,83986	1,27648	0,6494	0,51534	0,77322
20	29,545	2,1	1,18937	0,91063	1,72273	0,73569	0,61856	0,80789
21	31,1	2,1	1,18937	0,91063	1,72273	0,73569	0,61856	0,80789

Tabela 3. Propriedades geométricas seção transversal (Fase final). Fonte: Adaptado de V-PRO.

4.1.2. AÇÕES CONSIDERADAS

A tabela 4 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem como os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Caso	γ_f	γ_f (fav.)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Peso próprio (G0)	1,35	1	-	-	-
Hiperestático de protensão (HP)	1,1	0,9	-	-	-
Permanente (G1)	1,35	1	-	-	-
Acidental (Q)	1,5	-	0,7	0,5	0,3

Tabela 4. Casos de carregamento considerado. Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações

ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU

ψ_1 – fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ_2 – fator de redução de combinação quase permanente para ELS

4.1.3. COMBINAÇÕES

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

COMBINAÇÕES ÚLTIMAS DAS AÇÕES (ELU):

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde,

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

COMBINAÇÕES DE SERVIÇO DAS AÇÕES:

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

4.1.4. PROTENSÃO

Na tabela 5 é possível perceber os valores resultantes das perdas de protensão.

Seção (m)	Pi (kN)	P01 (kN)	P02 (kN)	Po (kN)	Poo (kN)	MPo (kNm)	MPoo (kNm)	ΔP_o (%)	ΔP_{oo} (%)
0.0	7056,00	6819,91	6241,24	6192,52	5303,18	476,41	407,99	12,24	24,84
155,5	7056,00	6798,43	6282,89	6234,59	5307,08	-603,20	-513,46	11,64	24,79
311,0	7056,00	6775,74	6324,01	6247,44	5160,85	-1479,61	-1222,27	11,46	26,86
466,5	7056,00	6751,83	6364,58	6279,43	5129,41	-2378,93	-1943,25	11,01	27,30
622,0	7056,00	6726,70	6404,59	6308,14	5095,48	-3168,91	-2559,73	10,60	27,79
777,5	7056,00	6700,68	6444,33	6335,60	5065,19	-3836,65	-3067,33	10,21	28,21
933,0	7056,00	6675,32	6485,33	6365,07	5044,88	-4370,95	-3464,37	9,79	28,50
1088,5	7056,00	6650,63	6527,59	6398,22	5039,22	-4759,82	-3748,82	9,32	28,58
1244,0	7056,00	6626,63	6571,11	6436,50	5052,07	-4990,95	-3917,45	8,78	28,40
1399,5	7056,00	6609,38	6607,81	6472,68	5079,43	-5056,69	-3968,23	8,27	28,01
1555,0	7056,00	6602,50	6602,50	6468,19	5079,45	-5053,92	-3968,83	8,33	28,01
1710,5	7056,00	6609,38	6607,81	6472,68	5079,43	-5056,69	-3968,23	8,27	28,01
1866,0	7056,00	6626,63	6571,11	6436,50	5052,07	-4990,95	-3917,45	8,78	28,40
2021,5	7056,00	6650,63	6527,59	6398,22	5039,22	-4759,82	-3748,82	9,32	28,58
2177,0	7056,00	6675,32	6485,33	6365,07	5044,88	-4370,95	-3464,37	9,79	28,50
2332,5	7056,00	6700,68	6444,33	6335,60	5065,19	-3836,65	-3067,33	10,21	28,21
2488,0	7056,00	6726,70	6404,59	6308,14	5095,48	-3168,91	-2559,73	10,60	27,79
2643,5	7056,00	6751,83	6364,58	6279,43	5129,41	-2378,93	-1943,25	11,01	27,30
2799,0	7056,00	6775,74	6324,01	6247,44	5160,85	-1479,61	-1222,27	11,46	26,86
2954,5	7056,00	6798,43	6282,89	6234,59	5307,08	-603,20	-513,46	11,64	24,79
3110,0	7056,00	6819,91	6241,24	6192,52	5303,18	476,41	407,99	12,24	24,84

Tabela 5. Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞ . Fonte: V-PRO.

Onde,

Pi - força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de protensão

P01 - força na armadura de protensão descontada a perda por atrito

P02 - força na armadura de protensão descontadas as perdas por atrito e encunhamento

Po - força na armadura de protensão após as perdas imediatas (atrito + encunhamento + encurtamento elástico)

Poo - força na armadura de protensão após todas as perdas (perdas imediatas + retração + fluência + relaxação)

MPo - Momento de protensão correspondente à força Po

MPoo - Momento de protensão correspondente à força Poo

ΔP_o - Perdas imediatas (atrito + encunhamento + encurtamento elástico)

ΔP_{oo} - Perdas totais (perdas imediatas + retração + fluência + relaxação)

Dessa maneira, foi possível obter as resultantes de força e momento de protensão para os instantes T_0 e T_∞ . Na Tabela 6 são apresentados os valores.

Seção	x (m)	P _i (kN)	P _o (kN)	MP _o (kN.m)	P _∞ (kN)	MP _∞ (kN.m)
1	0	7056,00	6192,52	476,41	5303,18	407,99
2	1,555	7056,00	6234,59	-603,20	5307,08	-513,46
3	3,11	7056,00	6247,44	-1479,61	5160,85	-1222,27
4	4,665	7056,00	6279,43	-2378,93	5129,41	-1943,25
5	6,22	7056,00	6308,14	-3168,91	5095,48	-2559,73
6	7,775	7056,00	6335,60	-3836,65	5065,19	-3067,33
7	9,33	7056,00	6365,07	-4370,95	5044,88	-3464,37
8	10,885	7056,00	6398,22	-4759,82	5039,22	-3748,82
9	12,44	7056,00	6436,50	-4990,95	5052,07	-3917,45
10	13,995	7056,00	6472,68	-5056,69	5079,43	-3968,23
11	15,55	7056,00	6468,19	-5053,92	5079,45	-3968,83
12	17,105	7056,00	6472,68	-5056,69	5079,43	-3968,23
13	18,66	7056,00	6436,50	-4990,95	5052,07	-3917,45
14	20,215	7056,00	6398,22	-4759,82	5039,22	-3748,82
15	21,77	7056,00	6365,07	-4370,95	5044,88	-3464,37
16	23,325	7056,00	6335,60	-3836,65	5065,19	-3067,33
17	24,88	7056,00	6308,14	-3168,91	5095,48	-2559,73
18	26,435	7056,00	6279,43	-2378,93	5129,41	-1943,25
19	27,99	7056,00	6247,44	-1479,61	5160,85	-1222,27
20	29,545	7056,00	6234,59	-603,20	5307,08	-513,46
21	31,1	7056,00	6192,52	476,41	5303,18	407,99

Tabela 6. Força e momento de protensão nos instantes T₀ e T_∞. Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_o – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP_o – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

4.1.5. ESFORÇOS SOLICITANTES

Para os esforços solicitantes de cargas permanentes e acidentais tem-se o apresentado na Tabela 7 para os momentos resultantes, já considerando as possíveis combinações.

Seção	x (m)	$M_{CQP,max}$	$M_{CQP,min}$	$M_{CF,max}$	$M_{CF,min}$	$M_{CR,max}$	$M_{CR,min}$	$M_{Sd,max}$	$M_{Sd,min}$
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2	1,555	1261,70	1049,15	1403,40	1049,15	1757,64	1049,15	2479,09	1049,15
3	3,11	2360,39	1961,02	2626,64	1961,02	3292,26	1961,02	4644,23	1961,02
4	4,665	3325,86	2763,07	3701,05	2763,07	4639,03	2763,07	6544,09	2763,07
5	6,22	4164,16	3460,31	4633,40	3460,31	5806,48	3460,31	8190,68	3460,31
6	7,775	4875,31	4052,76	5423,68	4052,76	6794,61	4052,76	9584,00	4052,76
7	9,33	5459,30	4540,40	6071,90	4540,40	7603,40	4540,40	10724,05	4540,40
8	10,885	5919,01	4923,25	6582,84	4923,25	8242,42	4923,25	11625,15	4923,25
9	12,44	6253,96	5201,30	6955,73	5201,30	8710,16	5201,30	12285,05	5201,30
10	13,995	6461,85	5374,56	7186,72	5374,56	8998,88	5374,56	12692,13	5374,56
11	15,55	6542,59	5443,01	7275,64	5443,01	9108,27	5443,01	12845,95	5443,01
12	17,105	6461,85	5374,56	7186,72	5374,56	8998,88	5374,56	12692,13	5374,56
13	18,66	6253,96	5201,30	6955,73	5201,30	8710,16	5201,30	12285,05	5201,30
14	20,215	5919,01	4923,25	6582,84	4923,25	8242,42	4923,25	11625,15	4923,25
15	21,77	5459,30	4540,40	6071,90	4540,40	7603,40	4540,40	10724,05	4540,40
16	23,325	4875,31	4052,76	5423,68	4052,76	6794,61	4052,76	9584,00	4052,76
17	24,88	4164,16	3460,31	4633,40	3460,31	5806,48	3460,31	8190,68	3460,31
18	26,435	3325,86	2763,07	3701,05	2763,07	4639,03	2763,07	6544,09	2763,07
19	27,99	2360,39	1961,02	2626,64	1961,02	3292,26	1961,02	4644,23	1961,02
20	29,545	1261,70	1049,15	1403,40	1049,15	1757,64	1049,15	2479,09	1049,15
21	31,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

Tabela 7. Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m). Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

x - abcissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

No que tange aos esforços cortantes tem-se o apresentado na Tabela 8, já considerando as possíveis combinações.

Seção	x (m)	V _{CQP,max}	V _{CQP,min}	V _{CF,max}	V _{CF,min}	V _{CR,max}	V _{CR,min}	V _{Sd,max}	V _{Sd,min}
1	0	871,25	725,16	968,65	725,16	1212,15	725,16	1709,44	725,16
2	1,555	757,82	621,12	847,90	620,06	1073,09	617,41	1516,22	614,76
3	3,11	677,18	547,83	760,18	544,59	967,68	536,51	1368,62	528,42
4	4,665	598,74	474,82	674,92	468,39	865,37	452,30	1225,38	436,22
5	6,22	520,67	401,53	590,27	391,71	764,27	367,16	1083,97	342,61
6	7,775	442,96	327,88	506,23	314,43	664,40	280,80	944,39	247,17
7	9,33	365,61	253,86	422,79	236,53	565,74	193,22	806,63	149,91
8	10,885	288,63	179,47	339,97	158,03	468,30	104,42	670,70	50,82
9	12,44	212,02	104,72	257,75	78,91	372,08	14,41	536,60	-50,10
10	13,995	135,77	29,60	176,14	-0,81	277,07	-76,83	404,32	-152,85
11	15,55	59,89	-59,89	95,14	-95,14	183,28	-183,28	273,87	-273,87
12	17,105	-29,60	-135,77	0,81	-176,14	76,83	-277,07	152,85	-404,32
13	18,66	-104,72	-212,02	-78,91	-257,75	-14,41	-372,08	50,10	-536,60
14	20,215	-179,47	-288,63	-158,03	-339,97	-104,42	-468,30	-50,82	-670,70
15	21,77	-253,86	-365,61	-236,53	-422,79	-193,22	-565,74	-149,91	-806,63
16	23,325	-327,88	-442,96	-314,43	-506,23	-280,80	-664,40	-247,17	-944,39
17	24,88	-401,53	-520,67	-391,71	-590,27	-367,16	-764,27	-342,61	-1083,97
18	26,435	-474,82	-598,74	-468,39	-674,92	-452,30	-865,37	-436,22	-1225,38
19	27,99	-547,83	-677,18	-544,59	-760,18	-536,51	-967,68	-528,42	-1368,62
20	29,545	-621,12	-757,82	-620,06	-847,90	-617,41	-1073,09	-614,76	-1516,22
21	31,1	-725,16	-871,25	-725,16	-968,65	-725,16	-1212,15	-725,16	-1709,44

Tabela 8. Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN). Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

x - abcissa da seção

V_{CQP,max} – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

V_{CQP,min} – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

V_{CF,max} – Esforço cortante máximo para combinação frequente

V_{CF,min} – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

V_{CR,max} – Esforço cortante máximo para combinação rara

V_{CR,min} – Esforço cortante mínimo para combinação rara

V_{Sd,max} – Esforço cortante máximo para combinação ELU

V_{Sd,min} – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

4.1.6. ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURA (ELS-F)

Foram realizadas as verificações de limite de formação de fissuras. Na Tabela 9 são apresentados os valores encontrados.

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-4,96	-3,02
2	1,555	-5,21	-1,97
3	3,11	-7,42	-2,02
4	4,665	-7,39	-1,04
5	6,22	-7,39	-0,15
6	7,775	-7,42	0,64
7	9,33	-7,51	1,33
8	10,885	-7,67	1,95
9	12,44	-7,91	2,49
10	13,995	-8,24	2,94
11	15,55	-8,40	3,18
12	17,105	-8,24	2,94
13	18,66	-7,91	2,49
14	20,215	-7,67	1,95
15	21,77	-7,51	1,33
16	23,325	-7,42	0,64
17	24,88	-7,39	-0,15
18	26,435	-7,39	-1,04
19	27,99	-7,42	-2,02
20	29,545	-5,21	-1,97
21	31,1	-4,96	-3,02

Tabela 9. Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa). Fonte: Adaptado de V-PRO.

Onde,

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

4.1.7. ESTADO LIMITE DE DESCOMPRESSÃO (ELS-D)

Na Tabela 10 são apresentados os valores encontrados para as verificações de limite de descompressão.

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-4,96	-3,02
2	1,555	-4,86	-2,54
3	3,11	-6,76	-3,32
4	4,665	-6,47	-2,86
5	6,22	-6,23	-2,43
6	7,775	-6,07	-2,02
7	9,33	-6,00	-1,64
8	10,885	-6,03	-1,27
9	12,44	-6,18	-0,92
10	13,995	-6,45	-0,57
11	15,55	-6,59	-0,38
12	17,105	-6,45	-0,57
13	18,66	-6,18	-0,92
14	20,215	-6,03	-1,27
15	21,77	-6,00	-1,64
16	23,325	-6,07	-2,02
17	24,88	-6,23	-2,43
18	26,435	-6,47	-2,86
19	27,99	-6,76	-3,32
20	29,545	-4,86	-2,54
21	31,1	-4,96	-3,02

Tabela 10. Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$). Fonte: Adaptado de V-PRO.

4.1.8. ESTADO LIMITE DE ÚLTIMO NO ATO DE PROTENSÃO (ELU-ATO)

E por fim, foi realizado a verificação da peça no estado limite último, no ato da protensão. Na Tabela 11 mostra-se os valores obtidos.

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-6,37	-3,88
2	1,555	-5,49	-4,82
3	3,11	-9,57	-5,91
4	4,665	-11,24	-4,26
5	6,22	-12,72	-2,79
6	7,775	-13,97	-1,56
7	9,33	-14,97	-0,60
8	10,885	-15,67	0,05
9	12,44	-16,05	0,35
10	13,995	-16,07	0,28
11	15,55	-15,97	0,19
12	17,105	-16,07	0,28
13	18,66	-16,05	0,35
14	20,215	-15,67	0,05
15	21,77	-14,97	-0,60
16	23,325	-13,97	-1,56
17	24,88	-12,72	-2,79
18	26,435	-11,24	-4,26
19	27,99	-9,57	-5,91
20	29,545	-5,49	-4,82
21	31,1	-6,37	-3,88

Tabela 11. Verificação ELU-ATO ($-19,6 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3,32 \text{ MPa}$). Fonte: Adaptado de V-PRO.

4.1.9. ARMADURAS

4.1.9.1. Armadura ativa

Para armadura ativa, tem-se os 3 cabos, sendo 1 com armadura ativa em ambas as extremidades, 1 com ativa em uma e passiva em outra e o terceiro sendo espelhado ao segundo cabo. Foi considerado cabo com 12 cordoalhas de $\phi 15,2\text{mm}$ CP-190 RB cada. Os detalhes são apresentados no jogo de pranchas entregue junto a este documento.

4.1.9.2. Armadura passiva

Para armadura passiva longitudinal foi adotado o mostrado na Tabela 12.

Armadura	n barras	Φ (mm)	As, det (cm ²)
Superior	4	10,0	3,12
Inferior	4	10,0	3,12
De pele	8	12,5	9,84

Tabela 12. Armadura longitudinal. Fonte: Autoria própria.

Já para armadura passiva transversal tem-se o que é apresentado na Tabela 13.

Faixa	x1 (cm)	X2 (cm)	Tipo	Ramos	Φ (mm)	c/ (cm)	As, det (cm ²)
1	-50	140	Normal	2	10,0	5	31,20
2	140	389	Normal	2	10,0	14	11,14
3	389	2799	Normal	2	8,0	14	7,14
4	2799	2970	Normal	2	10,0	14	11,14
5	2970	3160	Normal	2	10,0	14	31,2

Tabela 13. Armadura transversal. Fonte: Autoria própria.

4.2. LAJES

O dimensionamento das lajes foi calculado pelo método de Rusch, com a utilização do software TRusch. Foi estipulado dois tipos de pano de lajes, sendo um entre as longarinas e o outro nas extremidades do tabuleiro.

Na Figura 4 é apresentado os parâmetros adotados para laje das extremidades.

Dimensões:	Vinculações:
$l_x = 1,40$ m	Borda superior: Livre
$l_y = 32,10$ m	Borda inferior: Livre
$t = 0,65$ m	Borda esquerda: Apoiada
$a = 2$ m	Borda direita: Engastada
Direção do tráfego: ☒  ☐ 	
Coeficiente de Impacto (ϕ): 1.261	

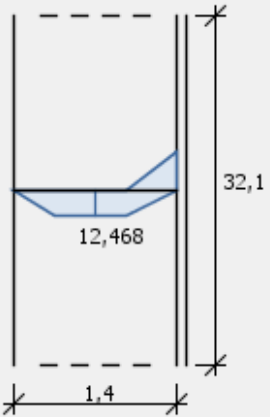


Figura 4. Parâmetros de entrada laje de extremidade. Fonte: TRusch.

Na Figura 5 e 6 são apresentados os diagramas de momento no eixo X e eixo Y em decorrência da presença da carga móvel.

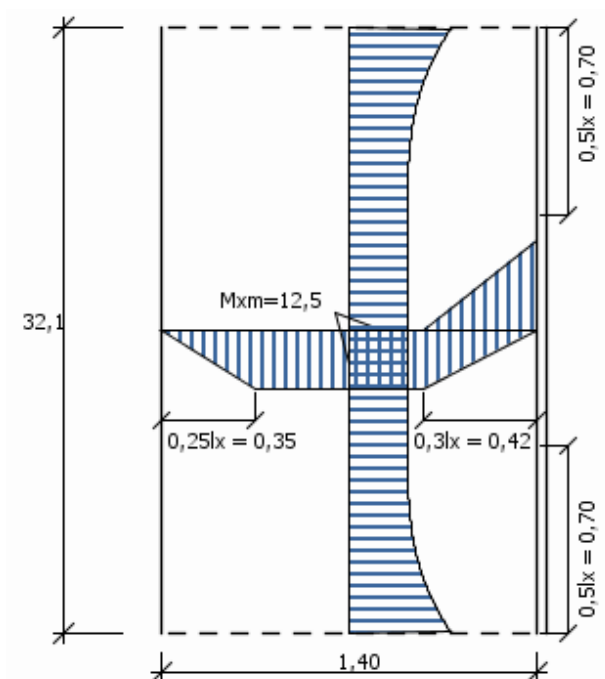


Figura 5. Diagrama de momentos M_x na laje devido a carga móvel. Fonte: TRusch.

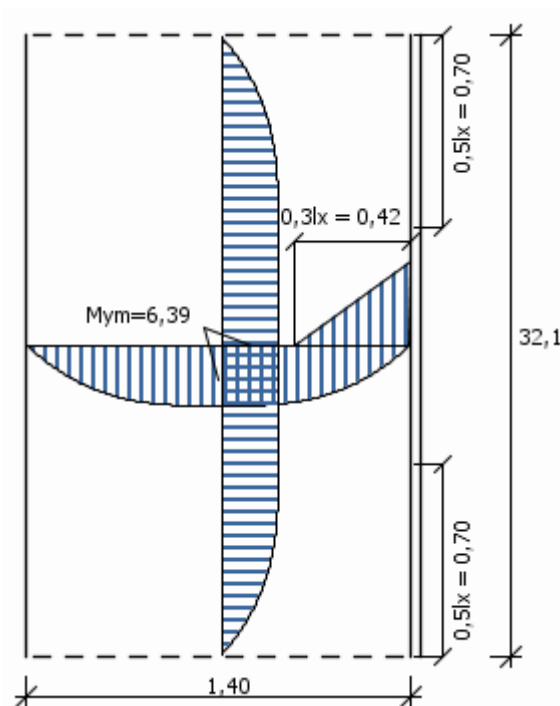


Figura 6. Diagrama de momentos M_y na laje devido a carga móvel. Fonte: TRusch.

Na Figura 7 e 8 são apresentados os diagramas de momento no eixo X e eixo Y em decorrência da ação das cargas permanentes.

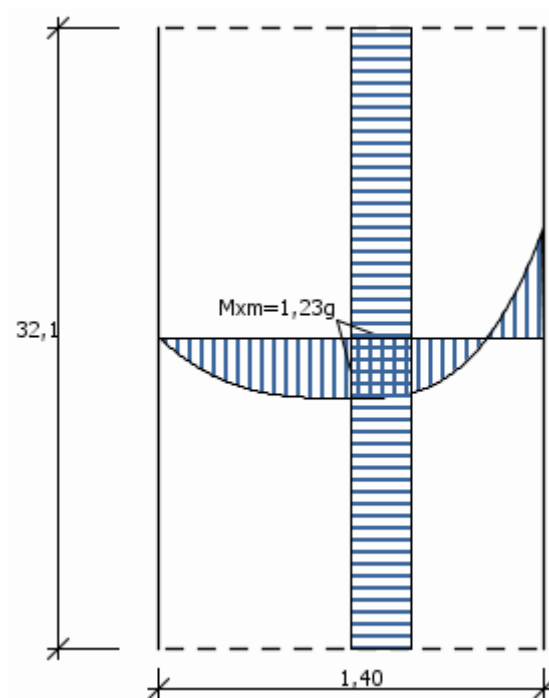


Figura 7. Diagrama de momentos M_x na laje devido a carga permanente. Fonte: TRusch.

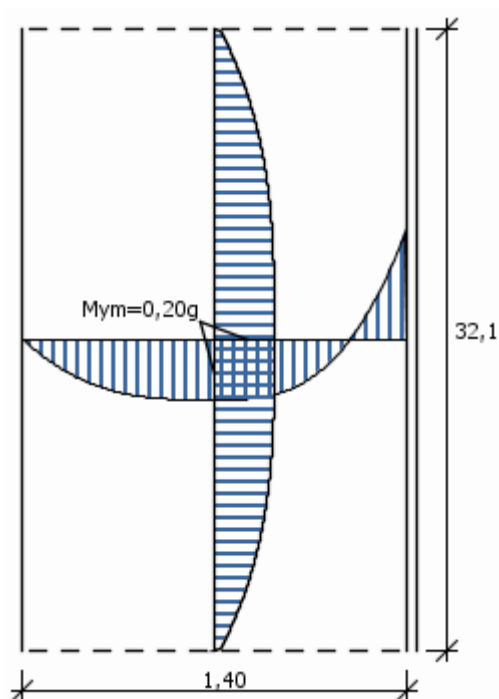


Figura 8. Diagrama de momentos M_y na laje devido a carga permanente. Fonte: TRusch.

Em seguida, foi realizado o dimensionamento seguindo as especificações da NBR 6118/2014. Sendo adotado $\Phi 12,5$ mm c/9 cm para armadura negativa e $\Phi 12,5$ mm c/10 cm para positiva. No jogo de pranchas entregue junto ao documento é apresentado o detalhamento.

4.3. LAJES DE APROXIMAÇÃO

Com o objetivo de dimensionamento para suportar o pior caso, considerou-se o trem-tipo na posição mais desfavorável. Foi considerado, para a carga aplicada sobre a laje de aproximação, a sua espessura em concreto armado, o solo sobre a laje e a pavimentação de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). O dimensionamento foi realizado e seu detalhamento é apresentado no jogo de pranchas anexo a este documento.

4.4. BARREIRAS

Foram adotadas a do tipo New Jersey, padrão DNIT, seu detalhamento é apresentado nas pranchas anexas.

Conforme Norma o esforço horizontal para o cálculos das barreiras foi de 6,0 kN.

As barreiras adotadas foi o Padrão DNIT - NORMA DNIT 109/2009 – PRO - Obras complementares – Segurança no tráfego rodoviário - Projeto de barreiras de concreto – Procedimento

4.5. TRANSVERSINAS

Para garantia de rigidez do tabuleiro, são especificados vigamentos secundários, compostos pelas transversinas. Neste trabalho foram adotadas transversinas próximas aos apoios da superestrutura e uma no meio do vão do tabuleiro. No entanto, conforme diretriz, foram dimensionadas e detalhadas apenas as transversinas dos apoios. Nas pranchas é possível observar seu detalhamento. Adotou-se armadura ativa por meio de um cabo retilíneo com 4 cordoalhas CP-190 RB de $\Phi 15,2$ mm e armadura passiva superior de flexão com 6 $\Phi 16$ mm e para inferior adotou-se a mínima também com 6 $\Phi 16$ mm e para cisalhamento foi adotado 2 $\Phi 10$ c/ 22,5 cm.

4.6. TRAVESSAS

Para o dimensionamento e detalhamento das travessas, conforme diretrizes, foi escolhida apenas a travessa intermediária da ponte. Foram estudadas as ações atuantes de forma unitária e realizada combinações entre os esforços para se obter a pior situação, com o auxílio do software Ftool.

Com o estudo, considerando o Trem-tipo posicionado na Longarina 1, com fator de 1,5, cargas permanentes e peso próprio com fator de 1,35, empuxo da água como carga acidental principal com fator 1,5 e vento como secundária com fator 0,6, chegou-se nos diagramas apresentados nas Figuras 9, 10 e 11.

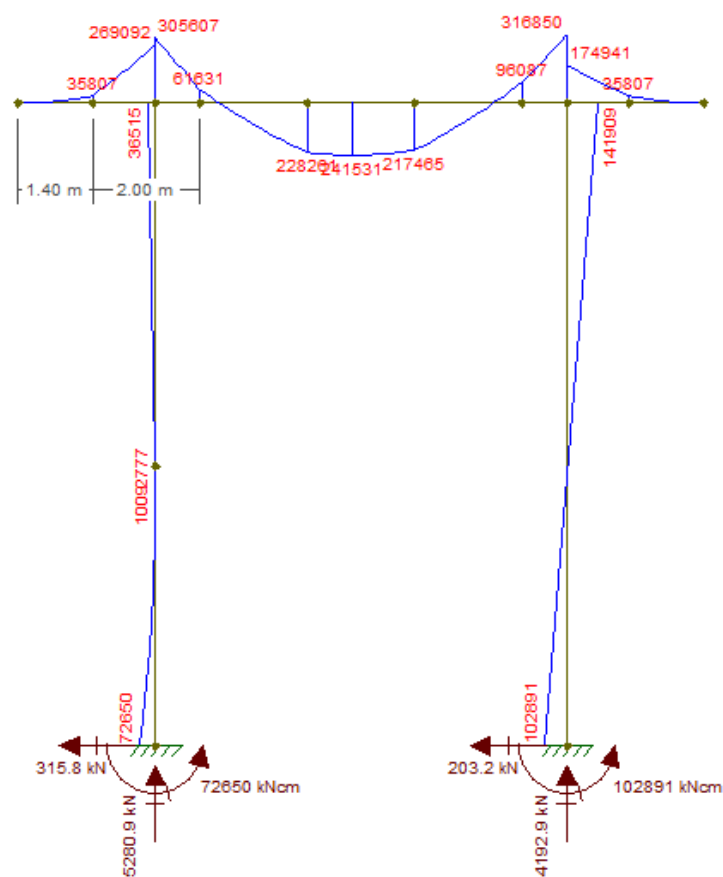


Figura 9. Diagrama de momentos fletores. Fonte: Ftool.

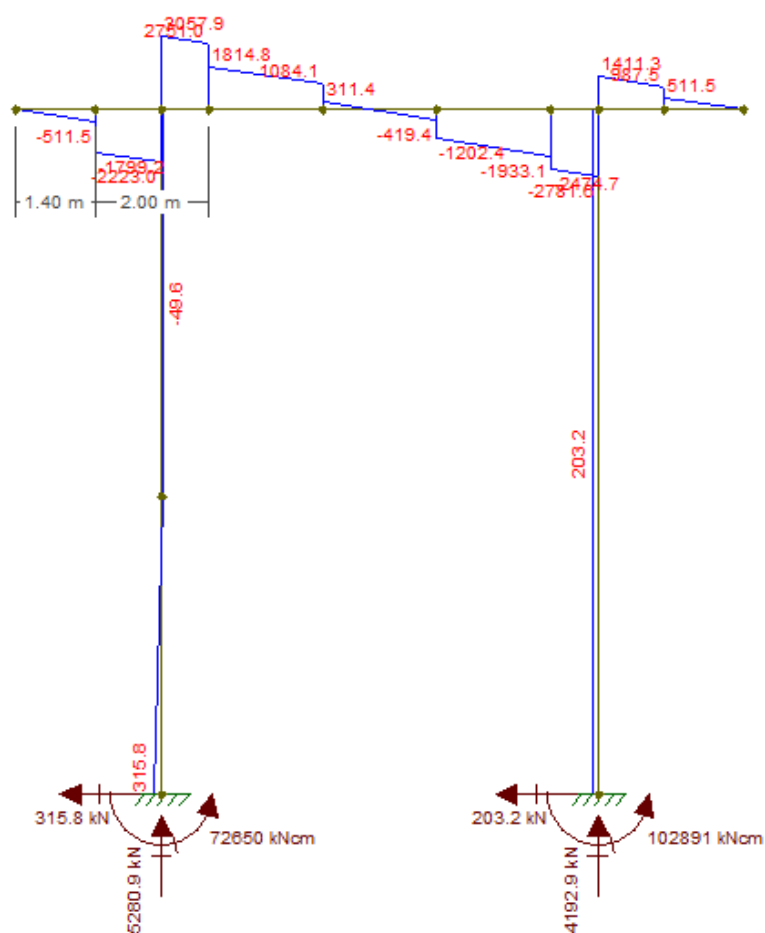


Figura 10. Diagrama de esforços cortantes. Fonte: Ftool.

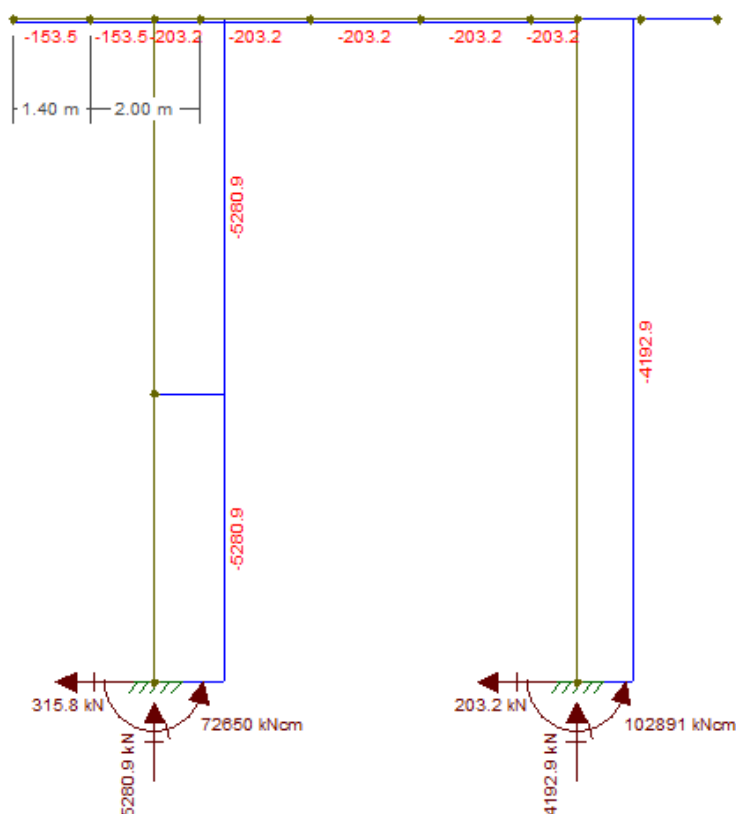


Figura 11. Diagrama de esforços axiais. Fonte: Ftool.

Dessa maneira, chegou-se para as armaduras positiva e negativa ao resultado de 42 de $\Phi 16,0$ mm, para armadura de pele 7 $\Phi 10$ mm c/ 20cm e para armadura de cisalhamento 4 ramos de $\Phi 12,5$ mm c/ 11cm.

4.7. PILARES

Para o dimensionamento dos pilares, conforme diretrizes, foi escolhida apenas um dos pórticos da estrutura, o mesmo escolhido para travessa, por isso foram consideradas as resultantes apresentadas para travessa ponte. Foram consideradas ainda as ações de frenagem e empuxo do solo nas cabeceiras.

Para dimensionamento, foi utilizado o software P-Calc e o detalhamento apresentado no jogo de pranchas.

4.8. BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Com a planta de cargas definida, foi possível realizar o dimensionamento do bloco de estacas para o pilar mencionado no item anterior.

Os blocos receberão o um pilar cada, redondo com diâmetro de 1,00m. E estarão sobre 04 estacas redondas com diâmetro de 60cm cada.

As cargas atuantes foi retirada da Planilha de Cargas onde adotou-se aquele com as piores situações. A reação por estaca ficou em $R=138,08$ tf.

Na determinação da inclinação da biela, considerando as dimensões adotadas chegou-se a um ângulo de $46,02^\circ$, sendo considerado então Bloco Rígido.

No cálculo das resistências por nós chegou-se aos seguintes resultados:

$$F_{cd1} = 20,4 \text{ MPa}$$

$$F_{cd3} = 17,28 \text{ MPa}$$

Desta forma as verificações das tensões junto ao pilar e junto a estacas tiveram suas verificações atendidas.

Junto ao pilar o resultado foi de $3,43 \text{ MPa} < 20,4 \text{ MPa}$ do F_{cd1} e,

Junto à estaca de $1,45 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$ do F_{cd3} .

Desta forma a armadura principal foi dimensionada com $16 \Phi 25 \text{ mm}$.

A armadura de pele foi dimensionada em $7 \Phi 12,5 \text{ mm}$.

As dimensões finais dos blocos ficaram assim definidos: $300 \times 300 \times 150 \text{ cm}$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo de desenvolver um projeto de uma ponte em viga de concreto protendido com elementos em concreto armado foi alcançado. Foram desenvolvidos todos os elementos necessários para o projeto estrutural, desde o seu dimensionamento aos detalhamentos pertinentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Adolfo; NÉIA, Thiago. **Projeto executivo de pontes e viadutos - Parte 1.** 1ª Edição. Curitiba, 2018.

ARAUJO, Adolfo; NÉIA, Thiago. **Projeto executivo de pontes e viadutos - Parte 2.** 1ª Edição. Curitiba, 2018.

ARAUJO, Adolfo; NÉIA, Thiago. **Projeto executivo de pontes e viadutos - Parte 3.** 1ª Edição. Curitiba, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projetos de estruturas de concreto - Procedimento.** Edição 2014. 29 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido - Procedimento (Norma em revisão).** Edição 2003. 30 mar. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.** Edição 2013. 11 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 19783 - Aparelhos de apoio de elastômetro fretado - Especificação e métodos de ensaio.** Edição 2015. 27 out. 2015.