

80
ANOS
FEUFJF

I CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

4
I
CIVIL

v. 2

CONGRESSO DE
ENGENHARIA

JUIZ DE FORA—AGOSTO DE 1994

SYSNO 880391
PROD 000026

ACERVO EESC

Iº Congresso de
Engenharia Civil
- U.F.J.F -

Juiz de Fora - agosto / 1994

Comissão Organizadora

Emil de Souza Sánchez Filho
Maria Teresa Gomes Barbosa

Comissão Técnica

Emil de Souza Sánchez Filho
Maria Teresa Gomes Barbosa
Afonso Celso de Castro Lemonge
Antônio Eduardo Polisseni

Diretor da Faculdade de Engenharia da U.F.J.F.

Júlio César da Silva Portela

EXECUÇÃO DE PONTILHÕES RODOVIÁRIOS EMPREGANDO-SE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA ARMADA

Autor: Prof. Dr. MARCOS VINICIO COSTA AGNESINI
Escola de Engenharia de São Carlos - USP

129894

RESUMO

O presente trabalho, realizado com o apoio do Laboratório de Construção Civil da EESC-USP, apresenta uma proposta de sistema construtivo para execução de pontilhões rodoviários de pequeno porte, empregando-se vigas e outros elementos pré-fabricados de "Argamassa Armada". Nesse sentido são relatados os seguintes itens referentes à implantação de um protótipo construído, na cidade de São Carlos, SP: diretrizes gerais do projeto da ponte experimental, detalhes da tecnologia empregada pelo sistema construtivo, avaliação do comportamento da superestrutura e considerações técnicas e econômicas verificadas quando da execução do protótipo.

1 - EMPREGO DA "ARGAMASSA ARMADA" NA CONSTRUÇÃO DE PONTILHÕES

1.1 - INTRODUÇÃO

Pontilhões, passarelas, galerias, canais, reservatórios e muros de arrimo são tipos de obras normalmente executadas na construção de infra-estrutura urbana. As galerias, pontilhões e muros de arrimo também são empregados na construção de estradas.

Devido ao elevado custo, é de grande interesse a pesquisa de sistemas construtivos alternativos que permitam reduzir o ônus que essas obras representam.

O emprego da tecnologia da "argamassa armada" é uma contribuição como solução alternativa e de especial interesse, relativamente aos processos construtivos que utilizam materiais tradicionais, na execução de obras de infra-estrutura urbana e de estradas. Assim, vários pesquisadores têm procurado soluções em "argamassa armada" para essas obras.

1.2 - OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO

Pretende-se com esse trabalho contribuir para o desenvolvimento de um sistema construtivo que permita a racionalização e a padronização da execução de pontes de pequeno porte, destinadas a situações específicas de utilização, mas que representam uma enorme demanda em obras de infra-estrutura de engenharia civil, principalmente em zonas urbanas e estradas vicinais.

O sistema construtivo proposto, utilizando-se da versatilidade da "argamassa armada", juntamente com a tecnologia da execução de pontes com elementos pré-fabricados, apresenta-se como uma solução alternativa ao uso de materiais tradicionalmente empregados, como o concreto e o aço. Procurou-se utilizar uma tecnologia cuja simplicidade permitisse o seu

emprego em locais não somente restritos à proximidade dos grandes centros de desenvolvimento, possibilitando o aproveitamento, por ocasião da execução dos pontilhões, de mão-de-obra sem grandes exigências de especialização.

2 - PROJETO DA PONTE EXPERIMENTAL

2.1 - PROJETO DA INFRAESTRUTURA

O projeto da infraestrutura da ponte experimental adotou uma fundação direta e simplificada através de muros de gabiões. Nas cabeceiras do pontilhão, sobre os encontros foram construídas vigas de concreto armado que distribuem, sobre os muros de gabiões, os esforços concentrados provenientes das vigas pré-moldadas de "argamassa armada" (Figura 1).

2.2 - PROJETO DA SUPERESTRUTURA

A superestrutura mista do protótipo foi composta por 21 vigas pré-moldadas de "argamassa armada", como elementos resistentes principais, com 5,45 m de comprimento e 0,36 m de altura, simplesmente apoiadas e interligadas tanto pela laje do tabuleiro em concreto armado moldado no local, como pela mesa de tração. O conjunto na forma final ficou com altura de 0,51 m. O vão teórico do pontilhão foi de 5,20 m e a largura 8,40 m. A figura 1 ilustra as características da composição da superestrutura mista da ponte experimental.

O projeto foi desenvolvido para ponte classe 30, adotando-se um veículo tipo com peso total de 300 kN (NBR 7188).

3 - A TECNOLOGIA EMPREGADA NO SISTEMA CONSTRUTIVO

3.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

A "argamassa armada" é um material que quando empregado em elementos portantes nas estruturas das construções civis, deve ser projetado de tal modo a se buscar formas adequadas. Assim, quanto da concepção da seção transversal, procurou-se uma forma que possibilitasse o máximo aproveitamento da versatilidade e comportamento mecânico da "argamassa armada", compatibilizando os esforços solicitantes na estrutura com a resistência e a rigidez dos elementos. Evidentemente, para a definição da seção transversal, considerou-se também os aspectos construtivos e econômicos, fatores fundamentais para o sucesso de um sistema construtivo.

A seção transversal típica definida para as vigas pré-fabricadas de "argamassa armada" foi a de forma triangular. Essa seção revelou-se plenamente satisfatória, tanto do ponto de vista construtivo como estrutural.

Da associação em paralelo das vigas de "argamassa armada", com posterior solidarização entre esses elementos através de ligações estruturais e pela laje do tabuleiro, resulta a seção adequada para a superestrutura dos pontilhões, reunindo as mesas de compressão e de tração.

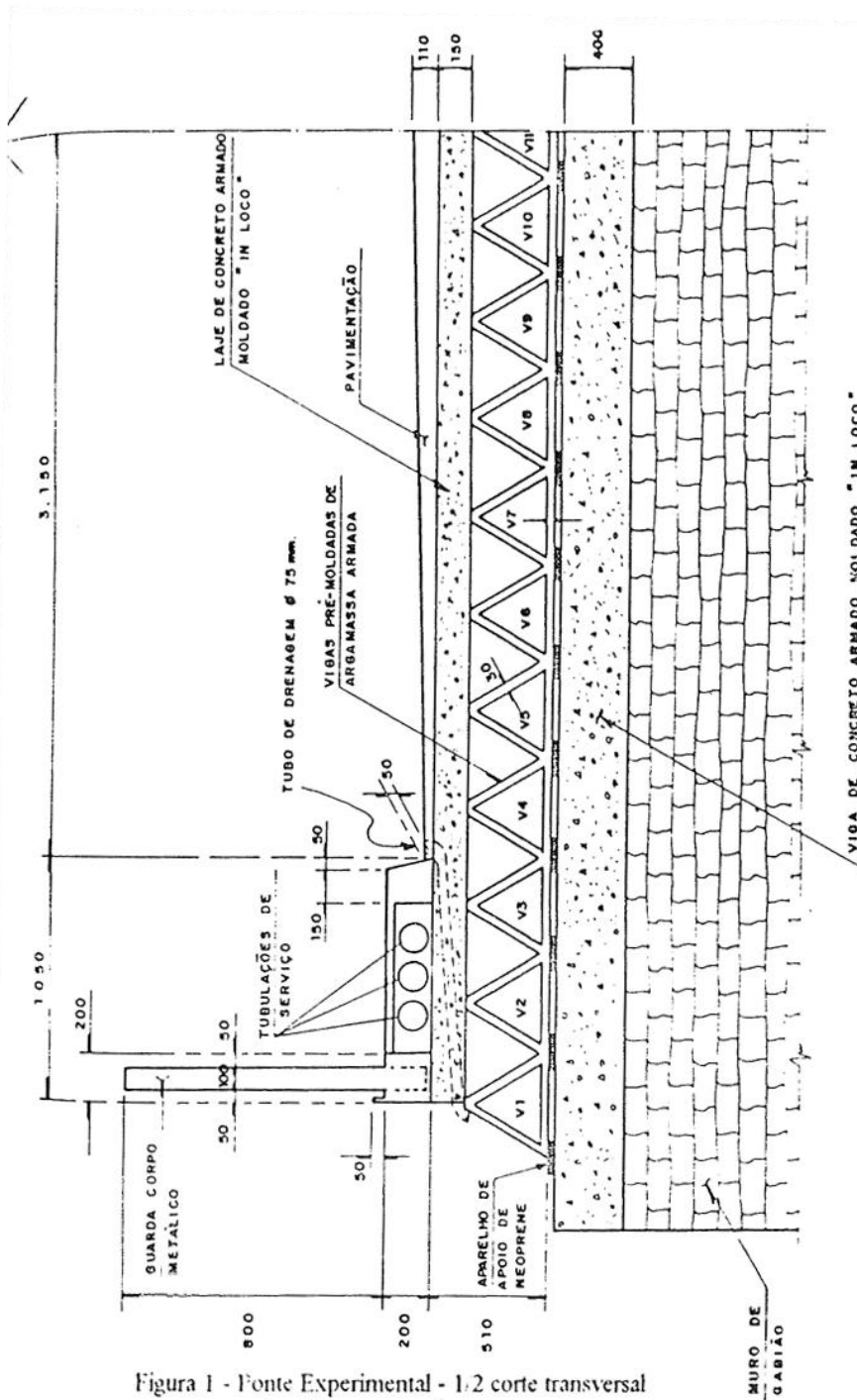


Figura 1 - Ponte Experimental - 1:2 corte transversal
 (medidas em mm)

3.2 - PROCESSO CONSTRUTIVO DAS VIGAS DE ARGAMASSA ARMADA

A técnica empregada no processo construtivo das vigas consiste na execução de placas de "argamassa armada", desenvolvidas no plano e interligadas pela malha de tela de aço, criando-se juntas que possibilitam o posterior dobramento das chapas de tal modo a obterem-se peças com seção transversal final de forma triangular. Posteriormente à moldagem das placas constituintes das fibras, procede-se o dobramento da tela de aço nos locais não argamassados, assumindo as peças a forma triangular, com as condições necessárias de rigidez e resistência para as demais etapas transitórias de construção. Na figura 2 apresenta-se o esquema das etapas de execução das vigas de "argamassa armada", fabricadas através da técnica de moldagem por meio de dobradura.

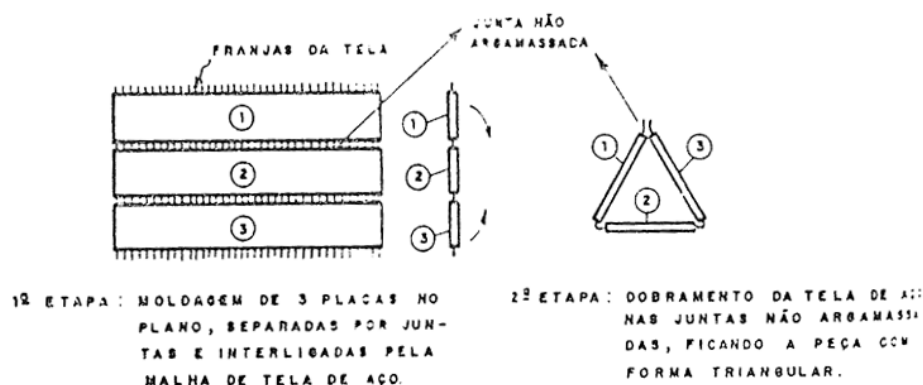


Figura 2 - Execução das vigas de "argamassa armada" pelo método de dobradura.

3.3 - PROCESSO CONSTRUTIVO DA SUPERESTRUTURA

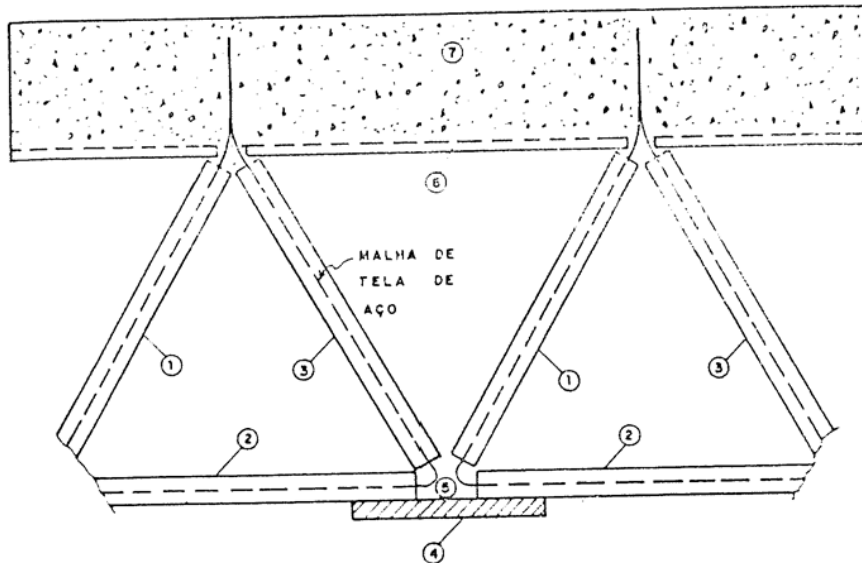
Devido ao reduzido peso das vigas pré-fabricadas de "argamassa armada", decorre a facilidade de transporte e montagem dessas peças quando da execução da superestrutura do pontilhão. As vigas pré-fabricadas são rapidamente colocadas, simplesmente apoiadas, sob os encontros do pontilhão, intercalando-se aparelhos de apoio de neoprene, e posicionadas de tal modo que possibilitem as suas ligações estruturais.

A primeira interligação das vigas pré-fabricadas é obtida por argamassagem no local das juntas dobradas. Um pequeno afastamento entre as vigas permite um rejuntamento com argamassa, ficando as mesmas inicialmente solidarizadas pela mesa de tração. Quando da execução das ligações estruturais entre as vigas pré-fabricadas, é também prevista a colocação de vergalhões de aço entre essas peças antes da argamassagem no local.

Após a solidarização entre as vigas, através da mesa de tração, são assentadas placas pré-fabricadas de "argamassa armada", apoiadas na parte superior das vigas, que servem como elemento de fôrma para a concretagem da laje colaborante. Na execução da laje, as placas-fôrma de "argamassa armada" são incorporadas ao concreto, contribuindo, portanto, para a obtenção da espessura final especificada para o tabuleiro.

Com a concretagem no local da laje do tabuleiro, as vigas de "argamassa armada" também ficam solidarizadas pela mesa de compressão.

Na figura 3 apresenta-se o esquema ilustrativo das fases de execução da superestrutura do pontilhão.



- 1ª etapa: posicionamento sobre os apoios de neoprene (4), das vigas pré-moldadas de seção triangular obtida pelo dobramento das placas de argamassa armada (1), (2) e (3)
- 2ª etapa: rejuntamento das vigas através de argamassagem "in loco" (5)
- 3ª etapa: colocação das placas-forma de argamassa armada (6)
- 4ª etapa: concretagem "in loco" da laje do tabuleiro (7)

Figura 3 - Etapas de execução da superestrutura dos pontilhões rodoviários - Corte transversal nas proximidades do apoio.

4 - EXECUÇÃO DA PONTE EXPERIMENTAL

4.1 - EXECUÇÃO DOS COMPONENTES PRÉ-FABRICADOS DE "ARGAMASSA ARMADA"

As vigas de "argamassa armada", em número de 21, foram executadas com a técnica de conformação final pós-moldagem como principal característica. A utilização da técnica de moldagem de 3 placas (30 mm de espessura), onde as arestas não foram argamassadas em uma primeira etapa, facilitou em muito a execução das vigas, pelo emprego de formas horizontais. A utilização de formas planas implicou num baixo custo de implantação e manutenção, bem como possibilitou a rápida montagem das armaduras, uma posição favorável para a moldagem das peças e controle rigoroso na produção ao assegurar um bom nível de

cobertura da armadura. Na montagem das armaduras nas formas planas garantiram-se os cobrimentos especificados (10 mm) sem o emprego de espaçadores, através da colocação de sarrafos apropriados nas juntas não argamassadas (Figura 4).

A armadura característica, distribuída em toda seção transversal, foi composta por telas de aço soldadas tipo EQ-98 (CA-60, $\varnothing = 2,50\text{mm}$, malha 50 x 50mm). A armadura complementar de tração, constituída por vergalhões de aço CA-50 foi colocada em duas etapas. Inicialmente, quando da execução das placas planas, foram posicionadas 5 barras de $\varnothing = 6,3\text{ mm}$ (Figura 4). O restante da armadura suplementar foi posicionado nas ligações estruturais executadas para solidarização das vigas pela mesa de tração (Figura 5).

Para a moldagem das vigas empregou-se argamassa de CPI-32 e areia natural quartzosa de granulometria média, proporcionada no traço em massa 1 : 2 : 0,40.

Três dias após a moldagem das placas, efetuou-se o processo de dobradura das telas metálicas nas juntas não argamassadas. Para tanto, providenciou-se a remoção do material de vedação das juntas (manta de espuma) e executou-se o dobramento das telas, empregando-se apenas 3 pessoas para a aplicação do esforço na placa lateral. Nesta operação têm-se somente 2 pontos de vinco, o que é outra vantagem apresentada pela escolha da seção triangular para as vigas.

Além das vigas foram executadas 80 placas-fôrma e 42 placas de vedação das extremidades das vigas. Essas peças, também armadas com a tela de aço soldada EQ-98 foram moldadas com argamassa de CPI-32 e areia média, dosada no traço em massa 1 : 2 : 0,4. Todas as peças pré-moldadas de "argamassa armada" foram executadas no Laboratório de Construção Civil da EESC-USP.

4.2 - EXECUÇÃO DA SUPERESTRUTURA DA PONTE EXPERIMENTAL

4.2.1 - MONTAGEM DAS VIGAS PRÉ-MOLDADAS DE "ARGAMASSA ARMADA"

As 21 vigas pré-moldadas, de baixo peso próprio (4,2 kN cada), foram rapidamente colocadas sobre os encontros da ponte experimental, empregando-se um veículo provido de guincho (8 h de custo operacional).

4.2.2 - EXECUÇÃO DAS LIGAÇÕES ESTRUTURAIS ENTRE AS VIGAS PRÉ-MOLDADAS

As ligações estruturais entre as vigas pré-moldadas foram executadas de acordo com o esquema indicado na figura 5. Inicialmente foram posicionadas as barras longitudinais ($\varnothing = 6,3\text{ mm}$) e os estribos ($\varnothing = 3,2\text{ mm}$). Em seguida posicionaram-se os vergalhões centrais ($\varnothing = 12,5\text{ mm}$) cujas pontas foram posteriormente dobradas em ângulo reto e ancoradas na armadura longitudinal das vigas de travamento executadas nas extremidades do pontilhão conjuntamente à laje do tabuleiro. Para o rejuntamento por argamassagem no local das ligações estruturais, foram utilizadas fôrmas inferiores e fôrmas laterais removíveis (Figura 5). A argamassa, proporcionada no traço em massa 1 : 2 : 0,45, apresentou grande plasticidade, que facilitou o adensamento e evitou a formação de vazios nas juntas. Para a cura da argamassa manteve-se uma lâmina d'água sobre a superfície das juntas, durante 7 dias.

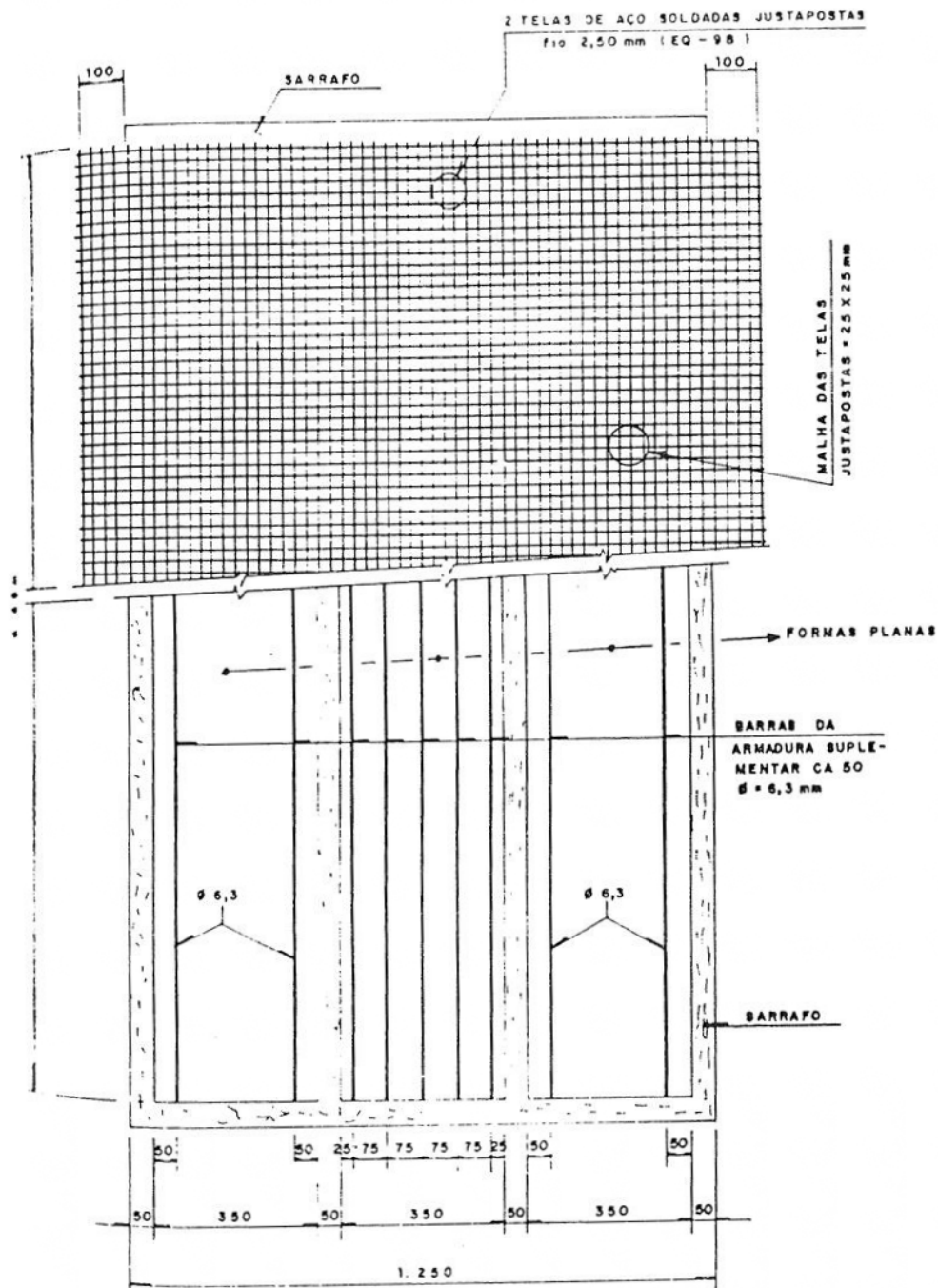


Figura 4 - Esquema longitudinal das armaduras colocadas quando da execução das vigas pre-moldadas (medidas em mm).

4.2.3 - COLOCAÇÃO DAS PLACAS FÔRMA E DAS PLACAS DE VEDAÇÃO

As 80 placas-fôrma pré-moldadas de "argamassa armada" foram manualmente posicionadas, justapostas na parte superior das vigas, conforme mostra-se no esquema da Figura 3. A leveza das placas-fôrma (peso próprio de 180 N) e a simplicidade da técnica utilizada, permitiram a rápida montagem dessas peças. A superfície rugosa das placas-fôrma, obtida espalhando-se pedrisco sobre as peças logo após a moldagem, melhorou a aderência entre argamassa endurecida e o concreto fresco, por ocasião da concretagem da laje colaborante. As 42 placas de vedação pré-moldadas de "argamassa armada", de forma triangular, foram fixadas nas extremidades das vigas, através do entrelaçamento entre os fios dos transpasses existentes nas telas de as placas e das vigas. O baixo peso dessas placas (da ordem de 40 N) facilitou sobremaneira a manipulação.

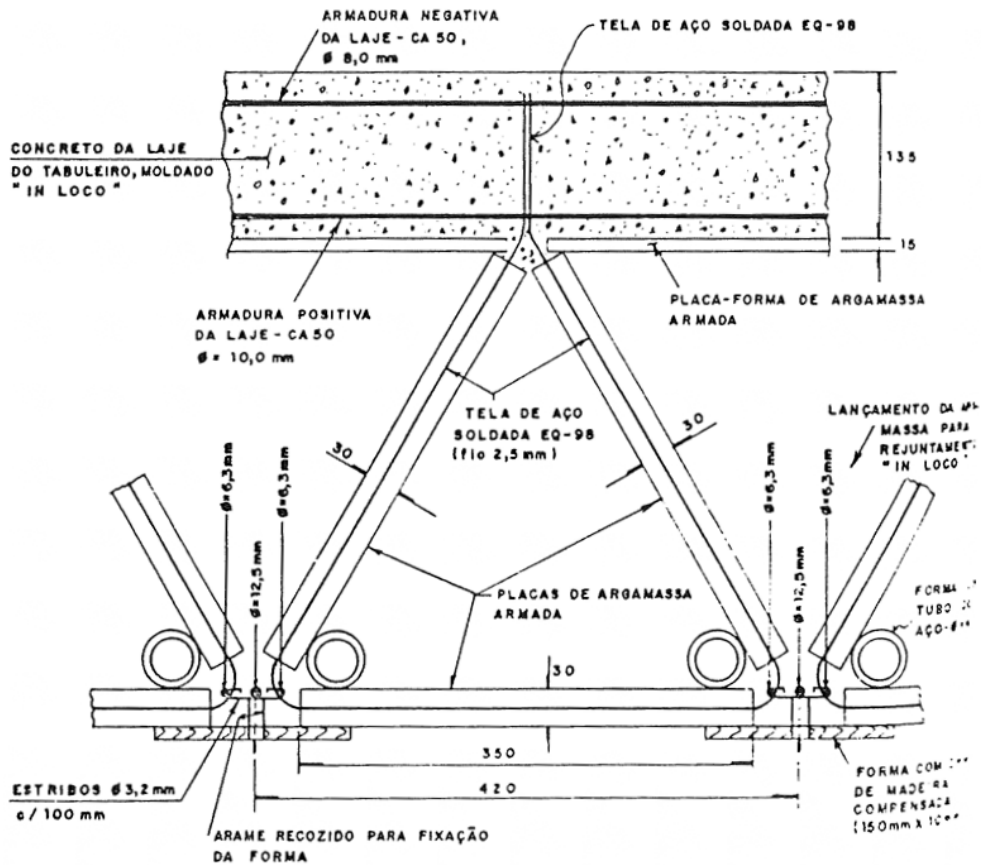


Figura 5 - Esquema transversal das ligações estruturais (medidas em mm)

4.2.4 - EXECUÇÃO DA LAJE DO TABULEIRO E DAS VIGAS DE TRAVAMENTO

As ligações estruturais entre as vigas pré-moldadas de "argamassa armada" e a mesa

de compressão, foram realizadas atravessando-se as barras da armadura principal positiva ($\varnothing = 10$ mm) da laje em todas as armaduras de costura existentes nas vigas, conforme indicado no esquema da figura 5. Desse modo, obteve-se um excelente travamento das telas metálicas das vigas na armadura da laje.

Uma das principais características do sistema construtivo empregado na execução da superestrutura do protótipo foi a simplicidade das fôrmas necessárias para o concreto moldado no local. Foram utilizados somente 2 painéis frontais e 2 laterais. A taxa de fôrmas, determinada para o concreto, foi de apenas $2 \text{ m}^2/\text{m}^3$. O concreto utilizado na moldagem da laje do tabuleiro e vigas de travamento, de classe C-15, foi fornecido por usina especializada (8 m^3).

4.3 - CARACTERÍSTICAS DA SUPERESTRUTURA PRONTA

A superestrutura mista do protótipo apresentou área construída de $48,22 \text{ m}^2$, espessura média de $0,265 \text{ m}$ e peso próprio de 376 kN (computando-se os passeios). O volume dos componentes de "argamassa armada", da ordem de 5 m^3 , representou cerca de 30% do peso próprio da superestrutura. O valor da taxa de armadura, determinado para a superestrutura mista foi de $120 \text{ kg}/\text{m}^3$.

5 - COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA

Através da prova de carga realizada no protótipo, pode-se concluir que a superestrutura apresentou um bom desempenho, mostrando-se extremamente rígida e com boa distribuição transversal das cargas. As vigas pré-moldadas de "argamassa armada" apresentaram rigidez suficiente para absorver os esforços de flexão, torção e cisalhamento, provocados por um carregamento bastante significativo. A taxa de armadura empregada na execução das vigas pré-moldadas mostrou-se suficiente, como também revelou-se perfeitamente adequada a armadura transversal colocada nas ligações estruturais.

O carregamento máximo empregado na prova de carga, resultou num momento fletor total ($31,4 \text{ kN.m}$) correspondente a 71% do valor obtido empregando-se o trem tipo especificado pela NBR 7188 ($44,2 \text{ kN.m}$), o que pode ser considerado satisfatório. Por outro lado, o carregamento máximo aplicado no ensaio permitiu atingir-se um momento fletor 1,5 vezes maior que o valor estimado para o momento de fissuração. Não foram verificadas fissuras a olho nú, nem nas vigas pré-moldadas e nem nas juntas argamassadas.

Quanto às deformações, o deslocamento vertical máximo, verificado na viga mais sollicitada, foi de apenas $0,36 \text{ mm}$. O valor da relação flecha/vão correspondente ($1/14.445$) pode ser considerado insignificante.

6 - VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS

O sistema construtivo apresentado no presente trabalho, destinado a execução de pontilhões rodoviários de pequeno vão, proporciona uma série de vantagens do ponto de vista técnico e econômico.

Quanto ao aspecto técnico pode-se enumerar:

- a) Padronização das obras executadas de acordo com projetos tipo;
- b) Utilização de vigas pré-fabricadas de "argamassa armada" de grande rigidez;
- c) Industrialização dos componentes de "argamassa armada", permitindo uma produção em série, com qualidade garantida através do processo de execução adotado e controle rigoroso de fabricação;
- d) Leveza das peças pré-fabricadas;
- e) Diminuição do peso próprio da superestrutura possibilitando o emprego de uma fundação simplificada;
- f) Facilidade e rapidez de montagem dos componentes pré-fabricados;
- g) Simplicidade na execução das ligações estruturais entre os componentes da superestrutura;
- h) Facilidade dos serviços complementares em concreto armado, executados sem o escoramento da laje do tabuleiro;
- i) Excelente rigidez da superestrutura mista e boa distribuição transversal das cargas;
- j) Possibilidade do emprego das vigas padronizadas em casos de mudança da classe de pontilhão (colocação de armadura nas ligações estruturais);
- l) Durabilidade adequada das obras pois as peças de "argamassa armada" são dimensionadas considerando-se não só a resistência mecânica mas, principalmente, a esbeltez das mesmas: as condições de exposição ao meio ambiente.

Por outro lado, o sistema construtivo proposto também apresenta-se como solução econômica viável, considerando-se uma série de variáveis que influem diretamente na composição do custo total das obras, tais como:

- a) Custo de fabricação dos componentes de "argamassa armada", minimizado em função da pequena espessura das peças e da simplicidade da técnica construtiva empregada;
- b) Custo do transporte reduzido em virtude da leveza das peças pré-fabricadas;
- c) Economia no custo de execução da infraestrutura;
- d) Redução no custo de montagem dos componentes de "argamassa armada", dispensando-se o emprego de equipamentos mais sofisticados que poderiam ser exigidos quando da utilização de perfis pré-fabricados de maior peso;
- e) Redução no custo de execução da laje de concreto armado, devido a utilização de uma reduzidíssima taxa de fôrmas, sem o emprego de escoamento;
- f) Emprego da mão-de-obra local, sem exigências de uma maior especialização.

Considerando-se, portanto, todos esses aspectos, quando da composição do preço total da obra, obtem-se uma economia bastante expressiva em relação à forma tradicional e artesanal de construção. O custo calculado de execução da superestrutura do protótipo foi de US\$ 70.00/m². Esse custo, obtido sem o emprego de uma industrialização definitiva das peças de "argamassa armada", e referente a uma primeira obra de gênero, pode ser considerado satisfatório. O custo estimado da superestrutura do protótipo, na hipótese de sua execução em concreto armado moldado no local, seria da ordem de US\$ 92.00/m².

BIBLIOGRAFIA

- AGNESINI, M.V.C. Sistema construtivo com elementos pré-fabricados de argamassa armada: uma alternativa para a execução de pontilhões rodoviários em zonas urbanas e estradas vicinais. São Carlos, EESC-USP, 1989. 319 p. (Tese de Doutorado).
- AGNESINI, M.V.C. Processo simplificado de cálculo para o dimensionamento de componentes executados em "argamassa armada" e concreto, para superestruturas mistas de pontilhões rodoviários. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 32, Fortaleza, 1990. ANAIS, IBRACON, São Paulo, 1990. v.II. p.285-298.
- AGNESINI, M.V.C. Avaliação do comportamento da superestrutura mista, composta por componentes pré-fabricados de "argamassa armada" e concreto moldado no local, empregada na execução de pontilhões rodoviários. In: JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25, Porto Alegre, 1991. ANAIS. UFRS, Porto Alegre, 1991. v. 3, p. 207-218.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro - NBR 7188 - Cargas móveis em pontes rodoviárias e passarelas de pedestres. Rio de Janeiro, 1982. 5p.