

ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE UM MODELO PADRÃO PARA PONTES MISTAS ATÉ 15 METROS

*Kennedy Gomes Pena Valério**
Adriano Rodrigues
Maykmiller Carvalho Rodrigues
Jéssica Assaid Martins Rodrigues

RESUMO

Neste trabalho determinou-se um modelo padrão de uma ponte mista de um vão de 15 metros, a fim de solucionar os problemas enfrentados no município de Nova Serrana – MG, causados pelo grande crescimento da cidade e a falta de soluções na sua atual infraestrutura. Para o presente trabalho, analisou-se a geometria do córrego onde há necessidade da construção dessas pontes, notando-se que o vão de 15 metros atende a essa demanda. Após esta análise inicial, elaborou-se uma planta baixa da ponte com o auxílio do software AutoCAD®. De posse dessa planta, processaram-se os cálculos estruturais no software CYPECAD®, obtendo-se as lajes e as vigas, tanto as longarinas quanto as transversinas. Num segundo momento, realizou-se um estudo comparativo entre os dimensionamentos executados pelo software e os cálculos realizados manualmente segundo a NBR 8800/ABNT (2008). Por meio desta comparação, percebeu-se que o programa computacional mostrou-se eficiente para a utilização na construção civil, visto que todas as verificações realizadas com os resultados fornecidos por ele se mostraram eficientes e seguras de acordo com a norma técnica. Entretanto, observou-se um superdimensionamento na viga principal quando se considerou as cargas nela aplicadas. Este superdimensionamento pode ser explicado pelas diferentes combinações adotadas, pois no cálculo expedito não se considerou as combinações decorrentes da fissuração do concreto, esforços de cisalhamento nos conectores, esforços gerados nas ligações, entre outros.

Palavras-chave: Infraestrutura urbana. Estrutura metálica. Viga mista. Ponte.

A COMPARATIVE STUDY ON THE SIZING OF A STANDARD MODEL FOR BRIDGES MADE OF METAL MIXED UP TO 15 METERS

ABSTRACT

This project consists of the development of a standard model for a mixed metal bridge using a span ranging up to 15 meters. The project was developed with the aim of reducing problems faced in Nova Serrana – MG. These problems are mainly caused by the continuously growth of the city and the lack of solutions in their existing infrastructure, a

* Graduação em andamento em Engenharia Civil, Centro Universitário de Lavras, Lavras, MG. Contato: kennedyns@hotmail.com.

nuisance for the local citizens. First, small lake geometry was analyzed in places that had 15 meters gaps and could benefit from the construction of these bridges. After this initial analysis, a floor plan was drawn with AutoCAD® software. Then, with the draw in hand, the CYPECAD® software was used to process the structural calculations of the bridge. The software provided all measures of the slabs and the beams, the longitudinal and transverses. In addition, all the structural calculations were also made by hand regarding the NBR 8800/ABNT standard provided at the end of the project with a descriptive contrast between those two approaches. Through this comparison, it was perceived that the computer program was efficient, since all the data yielded were effective and safe concerning the technical standards. However, an oversizing of the main beam as a result of the loads applied on it was noticed. This size can be explained by the different combinations adopted in both approaches. The calculations made by hand did not take into account concrete cracking, shear stress on the connectors, stresses generated on the links, among others factors.

Keywords: Metal frame. Composite beam bridge.

ESTUDIO COMPARATIVO CALIBRADO DE UN MODELO ESTÁNDAR PARA PUENTES METÁLICOS MIXTOS HASTA 15 METROS

RESUMEN

En este trabajo se determinó un modelo estándar de un puente de metal mixto de 15 metros de largo, a fin de minimizar los problemas enfrentados en el municipio de Nova Serrana – MG, causados por el gran crecimiento de la ciudad y la falta de soluciones en su infraestructura urbana actual. Para el presente trabajo, se analizó la geometría del arroyo donde había necesidad de la construcción de estos puentes y se concluyó que un vano de 15 metros atendería a esta demanda. Tras ese análisis inicial, se elaboró un proyecto de un puente con el auxilio del software AutoCAD®. Con este proyecto, se procesaron los cálculos estructurales en el software CYPECAD®, obteniéndose las lajas y las vigas, tanto las longitudinales como las transversales. En un segundo momento, se realizó un estudio comparativo entre los dimensionamientos ejecutados con el software y los cálculos realizados manualmente según la norma NBR 8800/ABNT (2008). Mediante esta comparación, se observó que el aplicativo computacional se mostró eficiente para la utilización en la construcción civil, dado el hecho de que todas las verificaciones realizadas con los resultados fornecidos por él se mostraron eficientes y seguras conforme la norma técnica. Sin embargo, se observó un súper dimensionamiento en la viga principal cuando se consideraron las cargas en ella aplicadas. Este súper dimensionamiento puede ser explicado por las diferentes combinaciones adoptadas, una vez que en el cálculo realizado manualmente no se consideraron las combinaciones decurrentes del agrietamiento del concreto, esfuerzos de rompimiento en los conectores y esfuerzos generados en las ligaduras, entre otros.

Palabras clave: Estructura metálica. Puente. Viga mixta.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios dos tempos, quando os primeiros homens tiveram a necessidade de vencer vãos provocados por rios, riachos, ribeirões ou grandes depressões para atravessar de um lado para o outro, necessitou-se produzir algo que possibilitasse essa travessia, começando, assim, o uso das pontes. As primeiras pontes foram construídas com materiais conhecidos na época como madeira e pedra.

Com o grande avanço tecnológico, pontes são construídas com vários materiais e diferentes tipologias, a fim de se ter menor custo, melhor qualidade e até mesmo construções esteticamente perfeitas, produzidas para ornamentar cidades.

Um modelo utilizado de ponte é a de viga mista, em que as longarinas, transversinas e o tabuleiro trabalham de forma solidária. Esse tipo de construção é muito utilizado pelo fato de que, em pontes de pequeno porte, é sempre uma forma econômica e bem funcional, se comparada com outros modelos de pontes. Segundo [Eller \(2011\)](#), os primeiros estudos sobre estruturas mistas aconteceram na década de 1920. O sistema era em formato de perfil 'I', mergulhado em concreto.

As estruturas mistas de aço e concreto são construídas com a junção do tabuleiro de concreto às vigas metálicas. Porém, para que haja a racionalização destes materiais, eles devem trabalhar solidariamente. Isto ocorre por meio de conectores de cisalhamento, conforme [Pinho e Bellei \(2007\)](#). A Figura 1 mostra um exemplo de uma ponte de estrutura mista.

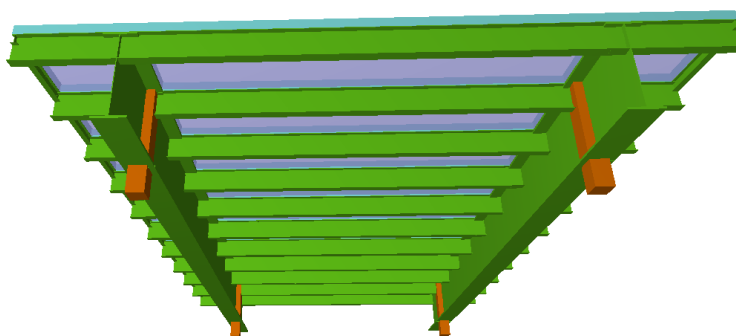


Figura 1. Exemplo de ponte com estrutura mista.

[Klinsky \(1999\)](#) afirma que, de maneira geral, uma estrutura mista é constituída por materiais que possuem diferentes características mecânicas. Para o objeto deste trabalho, entende-se por estrutura mista a viga de aço solidarizada à laje de concreto junto à mesa superior. O princípio de funcionamento de uma ponte em vigas mistas consiste na associação da laje, de concreto armado ou protendido, às vigas metálicas que lhe servem de suporte. A associação entre vigas e laje é conseguida impondo-se que os deslocamentos relativos na interface aço-concreto são impedidos, ou pelo menos reduzidos consideravelmente, de maneira que exista transferência do fluxo de cisalhamento entre laje e vigas. Esta transferência de esforços se traduz em um comportamento misto do conjunto: tanto as vigas de aço como a laje de concreto atuam solidariamente para resistir às ações atuantes. Para [Eller \(2011\)](#), o comportamento misto desenvolve-se quando dois elementos estruturais são interconectados de forma a se deformarem como um elemento único.

A utilização dos sistemas mistos de aço e concreto tem como vantagens a redução de peso, a diminuição de altura dos perfis, o aumento da rigidez pelo auxílio do concreto,

o aumento da capacidade de sobrecarga, a possibilidade do não uso do escoramento, o aumento da precisão dimensional da construção e a redução das proteções contra incêndio (ELLER, 2011). Para vãos de 20 a 40 metros, o sistema estrutural misto é classificado como vantajoso, tanto em questões de construção e qualidade quanto em aspectos econômicos (PINHO e BELLEI, 2007).

Os desempenhos relatados pelos autores supracitados podem também ser verificados em pontes de vãos menores a 20 metros, consideradas pontes com pequenos vãos. Essas pontes apresentam também o benefício de se adaptarem aos diferentes locais, diferentemente do que ocorre em grandes vãos (KLINSKY, 1999).

Nas pontes metálicas mistas, a grande vantagem diante dos outros modelos de pontes é justamente a junção do tabuleiro de concreto e das vigas metálicas, pois, assim, essa estrutura pode vencer vãos de 40 a 45 metros com eficiência e qualidade, diferentemente de uma estrutura de concreto convencional.

De acordo com Pinho e Bellei(2007), essa junção do tabuleiro de concreto e da viga metálica só é possível graças ao uso de elementos de ligação denominados conectores de cisalhamento. Esses elementos podem ser de vários tipos, porém os mais usados são os pinos tipo “Stud” e os perfis laminados, que deverão ser distribuídos ao longo da viga.

A cidade alvo deste projeto foi Nova Serrana, um município cuja população, de acordo com dados do IBGE (2010), é de 73.699 habitantes, sendo a cidade que mais se desenvolveu no estado de Minas Gerais, com um crescimento de cerca de 10% ao ano. Entretanto, para que a cidade se desenvolva de forma organizada, melhorias em sua infraestrutura deverão ser realizadas para uma melhor qualidade de vida da população.

Um dos problemas apontados pela administração municipal de Nova Serrana, no ano de 2012, é o sistema de tráfego urbano, que em determinados momentos do dia torna-se caótico, devido ao intenso fluxo de veículos, como ilustra a Figura 2.

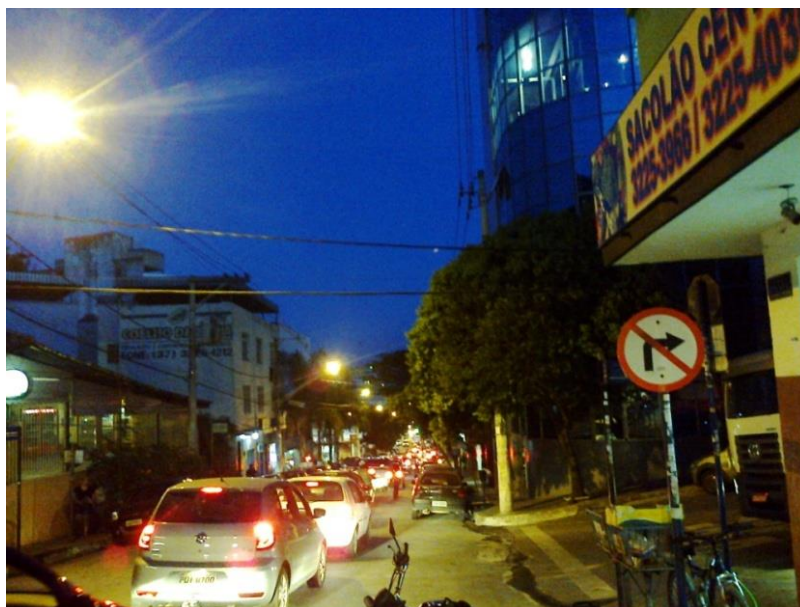


Figura 2. Trânsito no horário de pico em Nova Serrana – MG.

Visando a melhoria do trânsito local, a prefeitura prevê a construção de seis pontes no município, visto que um ribeirão corta a cidade, fazendo-se necessária a sua transposição para a ligação entre bairros por ele separados.

Baseado nessas observações e nas demandas levantadas pela administração municipal, este projeto apresentou como objetivo elaborar o dimensionamento de um modelo de ponte mista, com finalidade de minimizar os problemas de trânsito enfrentados no município de Nova Serrana - MG, servindo ainda para futuras obras planejadas pela cidade, tanto na infraestrutura urbana quanto nas comunidades rurais em estradas vicinais. Com este objetivo, pretendeu-se atender uma das diretrizes que fundamentam as políticas de extensão apontada por [Nogueira \(2001\)](#), aquela que afirma ter a Universidade o compromisso social de buscar a solução dos problemas mais urgentes da maioria da população.

Além disso, buscou-se ainda apresentar um comparativo entre os resultados encontrados pelo software e os obtidos no cálculo expedito realizado de acordo com a NBR 8800 ([ABNT, 2008](#)), avaliando-se, desta forma, a eficiência desse programa. Para tanto, contou-se com alunos da graduação em Engenharia Civil, que realizaram esta pesquisa com a orientação dos professores do curso, evidenciando, desta forma, a indissociabilidade entre as atividades de Ensino, Extensão e Pesquisa.

MATERIAIS E MÉTODOS

O dimensionamento das pontes mistas deste projeto foi elaborado por meio de programas de computador, utilizados para análise estrutural; trabalhou-se também com o método de barras finitas. O programa em questão é o [CYPECAD®2012](#), comercializado no Brasil pela Multiplus Softwares Técnicos.

As dimensões geométricas da ponte foram tomadas *in loco* no município em questão, baseadas nas necessidades apresentadas pelo departamento de obras da cidade. Cientes dessas informações, analisaram-se as áreas, observando-se, assim, que uma ponte com vão livre de 15 m (quinze metros) atenderia a necessidade desses locais. O padrão de largura de uma rua na cidade é de 7 metros, sendo de 3,5 m para cada mão. Adotando-se uma passagem de pedestre de 1,5 metros nas extremidades da ponte, obtém-se a largura de 10 metros.

A primeira etapa para o dimensionamento foi à elaboração de uma planta baixa, contendo os dados levantados. Para isto, utilizou-se o software [AutoCAD®](#). A seguir, essa planta foi transferida para o software [CypeCAD® 2012](#), onde foram alocados os pilares e as vigas, tanto as transversinas quanto as longarinas. Determinaram-se os esforços, traçando as linhas de influência, nas quais se identificou a situação mais crítica dos esforços. Com a análise das linhas de influência, determinou-se onde seriam inseridos os carregamentos referentes ao trem-tipo. Nesse caso, como se trata de uma viga biapoiada, as maiores tensões de flexão oriundas do trem-tipo encontram-se no centro da viga, enquanto as maiores tensões de cisalhamento encontram-se próximas aos apoios.

Adotou-se a ponte de classe II para tipo de veículos que trafegam e classe 45 para cargas. Os valores encontrados na NBR 7188 ([ABNT, 1982](#)) são de 150 kN para veículos e de 5kN/m² para as considerações de multidão.

Quanto à tipologia das vigas principais (biapoiadas ou biengastadas), a ponte foi dimensionada utilizando-se o seguinte critério:

Vigas principais/longarinas: vigas metálicas de alma cheia, apoiadas nas cortinas de contenção lateral, a serem construídas nos extremos da ponte.

Vigas secundárias/transversinas: vigas metálicas mistas, dotadas de conectores de cisalhamento do tipo “stud bolt” (pino e cabeça), dispensando escoras durante a construção.

As ligações serão parafusadas, com parafusos tipo ASTM-A-325. Essa especificação foi definida a critério do projetista, analisando as suas funcionalidades estruturais pelo programa que dimensionou o projeto.

O tipo de tabuleiro utilizado no dimensionamento foi em laje maciça do tipo forma, incorporada com painéis de aço galvanizado tipo “steel deck”, que dispensam o uso de armaduras longitudinais e escoras durante a execução da obra, o que representa vantagens em termos de custos e tempo de execução.

Após a coleta de todos os dados que foram adotados para o dimensionamento da ponte, elaborou-se no [CypeCAD®2012](#) o projeto da ponte.

Em seguida, foram realizados os cálculos manuais, que dimensionaram as vigas principais (longarinas). Para isto, o primeiro passo, já adotando os mesmos dados de dimensões geométricas da ponte, foi o cálculo das cargas atuantes na estrutura. Para a carga na estrutura foi considerado o peso próprio da laje e das vigas. Para as cargas referentes ao trem-tipo, foram adotados 5 kN/m para as cargas de multidão e três forças concentradas no valor de 150 kN cada uma. A viga foi assumida como biapoiada e com balanço em suas extremidades. Para as verificações referentes aos esforços estruturais foram consideradas as especificações da [NBR 8800/ABNT \(2008\)](#).

Depois de determinar as cargas, encontraram-se as reações de apoio e e dimensionaram-se os diagramas de momento fletor e de esforço cortante da estrutura. De posse desses diagramas, obteve-se os valores críticos de momento fletor e esforço cortante.

Finalmente, foram comparados os resultados encontrados para o perfil das longarinas, obtidos pelo software [CYPECAD® 2012](#) e pelos cálculos manuais de verificações.

Diante da diferença observada entre os valores solicitantes e os resistentes, vislumbrou-se a possibilidade de que se utilizaram altos coeficientes de segurança nas entradas de projeto do software, o que possivelmente levou ao superdimensionamento dos perfis. Para analisar essa possibilidade, foi dimensionado um perfil mínimo que resistisse aos esforços solicitantes e que suas dimensões geométricas fossem suficientes para suportar as solicitações.

Os cálculos foram realizados no Centro Universitário de Lavras (UNILAVRAS), no período de agosto de 2014 a maio de 2015, sendo acompanhados e corrigidos pelos professores orientadores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O programa apresentou como resultado o detalhamento das vigas principais e secundárias da ponte, tendo sido encontrado um perfil VS (perfil soldado) para as longarinas (vigas principais) de dimensões 1400 x 424, composto por Aço A-572 grau 50. Para as transversinas (vigas secundárias), foi projetado um perfil W (perfil laminado) com dimensões de 460 x 52. Os detalhamentos das vigas principais e secundárias estão ilustrados nas Figuras 3 e 4.

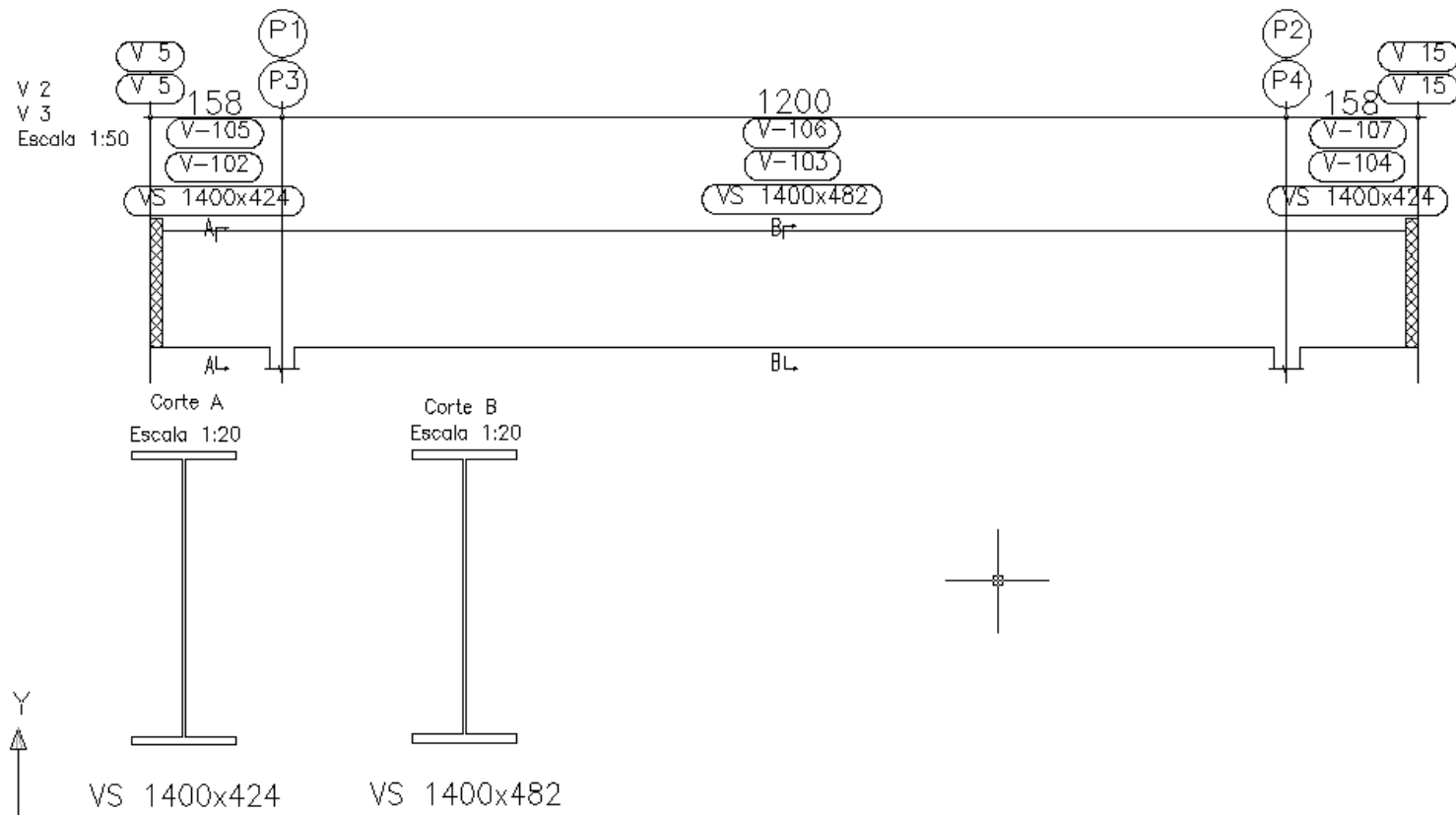


Figura 3. Perfil VS Especificações.

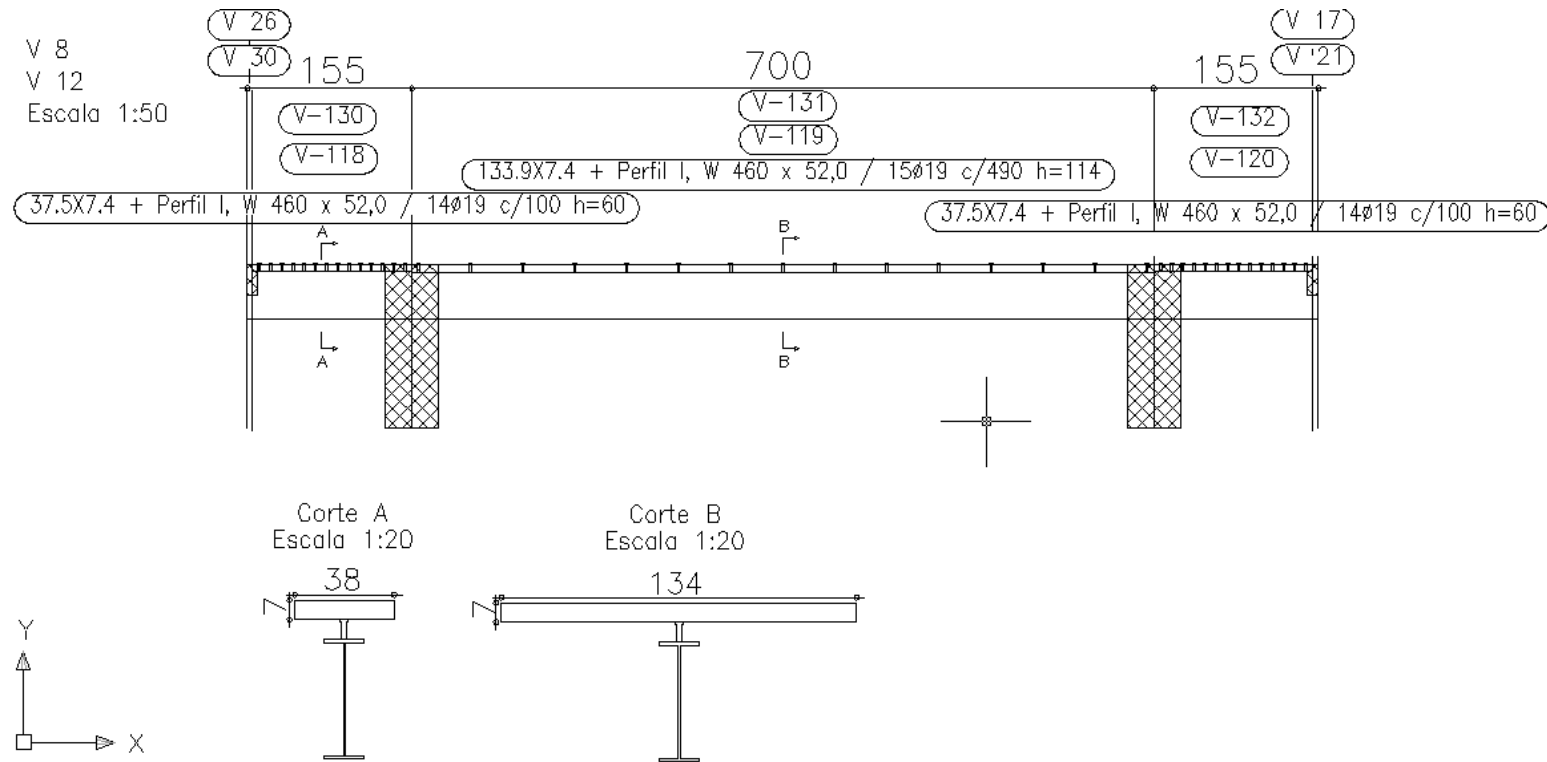


Figura 4. Perfil W Especificações.

O resultado dos cálculos manuais, realizados de acordo com a [NBR 8800/ABNT \(2008\)](#), revelaram que o dimensionamento do [CypeCAD® 2012](#) atende às especificações quanto ao estado limite F.L.M. (Flambagem Local na Mesa) e F.L.A. (Flambagem Local na Alma), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Comparativo dos momentos solicitantes com o momento resistente.

Valor solicitante do perfil 1400 x 424, quanto ao momento gerado	Valores resistentes da estrutura referente aos esforços aplicados na viga principal (F.L.A e F.LM)
254.080 kN.cm	F.L.A 909.994,96 kN.cm F.L.M 1.009.559,09 kN.cm

Pela comparação dos valores do momento solicitante e dos momentos resistentes, pode-se afirmar que o perfil indicado pelo software atende às exigências de segurança, resistindo aos esforços solicitantes.

Este resultado satisfatório ocorre também para a verificação do cisalhamento na peça, conforme expresso na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo dos esforços de cisalhamento solicitantes com os esforços de cisalhamento resistentes.

Valor solicitante do perfil 1400 x 424, quanto ao esforço de cisalhamento	Valores resistentes da estrutura referente aos esforços aplicados na viga principal, quanto ao cisalhamento
891,76 kN	1.187,33 kN

Pela comparação dos valores resistentes e solicitantes do esforço de cisalhamento, percebe-se que o valor de cortante máximo encontrado está bem abaixo do valor do esforço cortante resistente de cálculo. Isto indica que a viga certamente resiste a este esforço.

Para os valores da flecha, a [NBR 8800/ABNT \(2008\)](#) apresenta como valor limite a razão de L/350. Os cálculos realizados mostram que o valor da flecha também se adapta às especificações da norma. Sendo assim, pode-se afirmar que o perfil dimensionado pelo software [CypeCAD® 2012](#) está de acordo com a [NBR 8800/ABNT \(2008\)](#), sendo capaz de suportar os esforços solicitantes.

A comparação dos resultados encontrados no dimensionamento manual e os encontrados pelo programa, permite afirmar que os valores de resistência para o perfil dimensionado pelo software apresentam uma magnitude muito elevada em relação aos valores de solicitação. Percebe-se que essa diferença acentuada está presente em todas as etapas de verificação.

Para comprovar se houve o superdimensionamento, foi calculado um perfil com as mínimas dimensões, capaz de suportar as solicitações da estrutura. Para o dimensionamento desse perfil foram considerados os valores de $I_{x\min}$ (Momento de Inércia

referente ao eixo x) e de Z_x (Módulo Resistente Plástico) calculados manualmente, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Comparativo entre os valores de $I_{x \min}$ e Z_x encontrados pelos cálculos manuais e o valor de I_x e Z_x tabelados pelo fornecedor.

Valores de $I_{x \min}$ e de Z_x calculados	Valores de I_x e de Z_x retirados da tabela do fornecedor referente ao perfil VS 1000 x 217
$I_{x \min}$ 311449 cm ⁴	$I_{x \min}$ 532575 cm ⁴
Z_x 8110,10 cm ³	Z_x 11555 cm ³

Com os resultados obtidos para os valores de $I_{x \min}$ e Z_x , recomenda-se o perfil VS 1000 x 217.

A partir da constatação do perfil recomendado, e tendo em vista que o [CYPECAD® 2012](#) projetou o perfil 1400 x 424, verifica-se que o software superdimensionou a viga em questão. Essa informação é muito relevante, já que uma das maiores preocupações do engenheiro, além da segurança, é o custo da obra para o cliente. Entretanto, deve-se observar que esse superdimensionamento pode ter sido causado por vários fatores. Um desses fatores são as diversas combinações de segurança adotadas pelo software, referentes a cada parte do cálculo estrutural. Outra explicação para esta diferença de valores está no fato de que, para o dimensionamento manual deste projeto, só foram levados em consideração as combinações referentes às cargas aplicadas na viga, desconsiderando as outras combinações na estrutura.

CONCLUSÃO

O projeto padrão de ponte metálica mista desenvolvido atende às necessidades do município de Nova Serrana, sendo que poderá ser utilizado a fim de enfrentar os problemas relatados pela administração pública municipal.

Quando se comparam os resultados dos cálculos manuais [NBR 8800/ABNT \(2008\)](#) com os dimensionamentos do [CYPECAD® 2012](#), conclui-se que o software é eficiente com relação à segurança, pois todas as verificações da norma foram atendidas.

Ainda com relação ao comparativo entre os cálculos manuais e o dimensionamento realizado pelo software, houve um superdimensionamento dos perfis das vigas principais nos resultados apresentados pelo programa. Esse superdimensionamento pode ter sido gerado pelas diferentes combinações adotadas, visto que, nos dimensionamentos manuais, foram adotadas as combinações de cargas somente nas vigas principais, não considerando as decorrentes de fissuração do concreto, esforços de cisalhamento nos conectores, esforços gerados nas ligações, entre outros.

Visando comprovar esse superdimensionamento, recomendam-se trabalhos futuros que levem em conta todos os fatores decorrentes de esforços na estrutura.

SUBMETIDO EM 13 jul. 2015

ACEITO EM 1 fev. 2016

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimentos. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – procedimentos. Rio de Janeiro, 2008.

AUTOCAD®. Autodesk Inc, 2009.

CYPECAD®. São Paulo: Mutiplus Softwares Técnicos, 2012.

ELLER, P. R. **Pré-dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto para pontes de pequeno porte**. 2011. 63 f Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Construção Metálica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem populacional**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=314520>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

KLINSKY, G. E. R. G. **Uma contribuição ao estudo das pontes em vigas mistas**. 1999. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1999.

NOGUEIRA, M. D. P. Extensão universitária no Brasil: uma revisão conceitual. In. FARIA, D. S. (Org.). **Construção conceitual da extensão na America Latina**. Brasília: Ed. UNB, 2001.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), 2007. 138 p. (Manual de construção em aço).