

Portal Educacional Online para Verificação e Dimensionamento de Vigas de Acordo com a NBR 6118:2014 da ABNT

Online Educational Platform for Verification and Design of Beams According to the NBR 6118:2014 from ABNT

Juliana Libório Lima (1); Carolina Moraes Linhares da Cunha (2); Cereno de Freitas Diniz Gonçalves Muniz (3); Alexandre de Macêdo Wahrhaftig (4)

(1) Engenheira Civil, juliana.liborio1@gmail.com; (2) Engenheira Civil, carolinamlinhares@gmail.com
(3) Prof. Assistente, cerenomuniz@hotmail.com; (5) Professor Doutor, alixa@ufba.br
Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Construção e Estruturas, Rua Aristides Novis, 02, Federação, Salvador-Ba-Brasil, CEP: 40210-910

Resumo

Motivados pela necessidade de otimizar as construções e pela permanente competitividade no campo profissional, os softwares para projetos estruturais foram surgindo a partir de rotinas independentes, criadas especificamente para a solução de elementos isolados, que pouco a pouco avançaram na direção de programas ligeiramente mais sofisticados, mas que já permitiam a solução de pórticos planos. Essas rotinas foram sendo incorporadas gradativamente a um único pacote de programação, que se tornaram capazes de resolver modelos complexos e com bom recurso visual: era o Projeto Assistido por Computador ou *Computer Aided Design (CAD)*. Nessa direção, a Engenharia Estrutural moderna prepara-se para dar um novo passo: a hospedagem de softwares em "nuvem". Buscando inserir-se nesse novo contexto, foi desenvolvido um portal *online* para verificação e dimensionamento de vigas em concreto armado, que constitui iniciativa para uso educacional e prático. Essa plataforma permite que usuários realizem análises de seções transversais de acordo com a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo dirigida a acadêmicos e profissionais. Todo o programa se encontra na "nuvem". Trata-se de ferramenta que, além de adequar-se aos conceitos mais modernos do mundo digital, democratiza o acesso à informação e ao ensino, contribuindo para a formação dos engenheiros. O portal prioriza o conhecimento através de conteúdo explicativo e de fácil interatividade, o que desempenha um papel de relevância cognitiva e didática, pois a informação é visualizada de maneira clara e objetiva, gerando motivação para o aprendizado, além de ser um suporte básico para profissionais em qualquer parte do mundo.

Palavra-Chave: Concreto armado, Vigas, Nuvem, Portal Online, Análise Estrutural.

Abstract

Motivated by the need to optimise construction and by the constant competitiveness in the professional field, the software for structural designs emerged from independent routines created specifically for solving isolated elements. They gradually progressed toward a slightly more sophisticated program, but which already allowed solving flat frames. These routines were incorporated into a single programming package, which is capable of solving complex models with good visual appeal: the Computer Aided Design (CAD). Following the development of information technology, modern structural engineering is preparing for a new step: hosting software in the 'cloud'. For this new context, an online platform was developed to analyse sections of reinforced concrete beams according to the Brazilian Association for Technical Standards (ABNT), which is directed toward academics and professionals. The whole programme is in the 'cloud'. This tool prioritises knowledge through explanatory content and its easy interactivity, which has the role of cognitive and didactic relevance, since the information is viewed clearly and objectively, and generates motivation for learning; it is also a basic support for professionals anywhere in the world.

Keywords: Reinforced concrete, beams, cloud, online platform, structural analysis.

1 Introdução

A evolução dos projetos da engenharia estrutural foi marcada pela busca contínua de ferramentas de cálculo que possibilitassem a ampliação do campo de análise, o estudo de problemas mais complexos e a elaboração de arranjos estruturais variados com mais rapidez. Antes do advento dos computadores digitais os engenheiros adotavam modelos mais simples e realizavam suas operações matemáticas manualmente ou auxiliados por ferramentas relativamente básicas, que passaram pela régua de cálculo e posteriormente pela calculadora elétrica.

Motivados pela necessidade de otimizar as construções e pela permanente competitividade no campo profissional, os *softwares* para projetos estruturais foram surgindo a partir de rotinas independentes, criadas especificamente para a solução de elementos isolados, que pouco a pouco avançaram na direção de programas ligeiramente mais sofisticados, mas que já permitiam a inclusão de pórticos planos. Essas rotinas foram sendo incorporadas gradativamente a um único pacote de programação, que se tornaram capazes de resolver modelos complexos e com bom recurso visual, era o Projeto Assistido por Computador ou *Computer Aided Design (CAD)*. A utilização das técnicas em *CAD* trouxe maior liberdade para os profissionais de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), porém ainda era limitada à capacidade de processamento e à memória disponível dos computadores. Outro fator limitante eram os elevados custos que acompanharam a evolução desses sistemas.

Visando atender às necessidades de um mundo permanentemente “conectado”, a Engenharia Estrutural prepara-se para dar um novo passo ao lado da Tecnologia da Informação (TI) – a hospedagem de *softwares* em “nuvem”. De onde quer que esteja, o usuário tem acesso à ferramenta, bastando dispor de uma conexão de internet. O uso de programas em “nuvem” possibilita ampliar a acessibilidade, melhora a forma de lidar com múltiplas frentes de trabalho e favorece a agilidade e visualização na conferência ou elaboração de projetos.

Buscando inserir-se nesse novo cenário, foi desenvolvido um portal *online* para verificação e dimensionamento de vigas de concreto armado, que constitui iniciativa para uso educacional e prático. Essa plataforma permite que usuários analisem seções transversais retangulares de vigas, em flexão pura, de acordo com a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo dirigida a acadêmicos e profissionais. Todo o programa se encontra na “nuvem” e é compatível com qualquer dispositivo digital, computador pessoal (*Personal Computer - PC*), *tablet* e telefones inteligentes (*smartphones*), sendo um portal gratuito. Os resultados gerados são exibidos em formato de relatório, onde é possível obter a descrição de todos os passos de cálculo, indicações normativas e detalhamento da seção analisada. Os relatórios gerados podem também ser salvos em PDF ou impressos. Trata-se de uma ferramenta que, além de adequar-se aos conceitos mais modernos do mundo digital, democratiza o acesso à informação e ao ensino, contribuindo para a formação dos engenheiros. O portal prioriza o conhecimento através de conteúdo explicativo e de fácil interatividade, o que desempenha um papel de relevância cognitiva e

ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

didática, pois a informação é visualizada de maneira clara e objetiva, gerando motivação para o aprendizado, além de ser um suporte básico para profissionais em qualquer parte do mundo.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Vigas Submetidas à Flexão Pura

Segundo a NBR 6118:2014, “vigas são definidas como elementos lineares em que a flexão é preponderante”. Considerando a atuação de duas cargas concentradas numa viga de concreto armado biapoiada como dispostas na figura 1, nota-se um encurtamento Δl_1 na borda superior da viga, causado pela força de compressão, enquanto na borda inferior ocorre um alongamento Δl_2 , gerado pela força de tração, podendo levar à ruína.

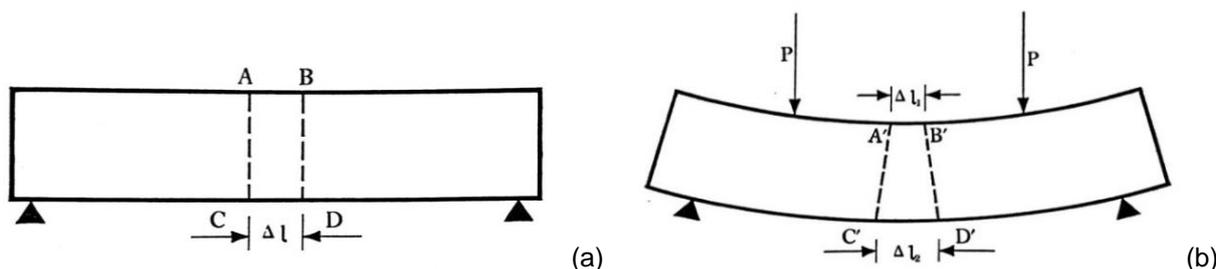


Figura 1: Deformação causada na viga devido às cargas aplicadas. Fonte: (RUSCHEL – 1972)

Quando não há armadura na peça de concreto, ou quando esta é muito pequena, pode ocorrer uma ruptura brusca (ou frágil), causada pela força de tração no concreto. Quando é utilizada uma grande quantidade de armadura, a deformação no aço acaba sendo muito pequena, o que leva a viga, também, à ruptura frágil, desta vez devido ao esmagamento do concreto por compressão. Se a quantidade de aço utilizada for adequada, a viga ainda pode sofrer ruptura, porém essa ocorre de forma dúctil, ou seja, com grande deformação do aço, permitindo que se perceba o mecanismo de ruína em andamento, o que se chama comumente de “aviso prévio”. Isso se dá quando a armadura tracionada escoar e ocorre intensa fissuração na zona de tração da viga antes de ocorrer o colapso, possibilitando a identificação do problema e a tomada providências corretivas a fim de evitar a inutilização da peça e/ou consequências mais sérias.

2.2 Hipóteses e Domínios de Cálculo na Flexão

Para o dimensionamento e a verificação das vigas submetidas à flexão, além de ser admitida a manutenção da seção plana, foram consideradas as hipóteses de cálculo abaixo indicadas, previstas na NBR 6118:2014, item 17.2.2: Ocorre aderência perfeita entre o concreto e a armadura; A tensão no concreto é nula na zona da seção transversal da viga sujeita à deformação de alongamento; Diagramas de tensão x deformação do aço e do concreto simplificados para efeitos de cálculo.

Segundo BASTOS (2015), as deformações nos materiais componentes das vigas de concreto armado submetidas à flexão encontram-se nos domínios de deformações 2, 3 ou ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

porém, não escoam, pois sua deformação não chega a alcançar o valor de início de escoamento (ϵ_{yd}). Nesse caso, tem-se que a tensão na armadura é menor que a máxima permitida (f_{yd}), o que implica numa armadura não tão econômica, já que não se aproveita a capacidade máxima resistente do aço.

2.3 Cálculo da Armadura Longitudinal em Peça Simplesmente Armada

O cálculo da quantidade de armadura longitudinal para seções transversais retangulares submetidas à flexão pura é feito a partir do equilíbrio das forças internas atuantes na seção. Assim, estabelece-se, com base nas equações de equilíbrio da translação e da rotação da seção, dadas pelas forças normais e momentos fletores, internos, a equação 1:

$$\sum N = 0; \sum M = 0, \quad (\text{Equação 1})$$

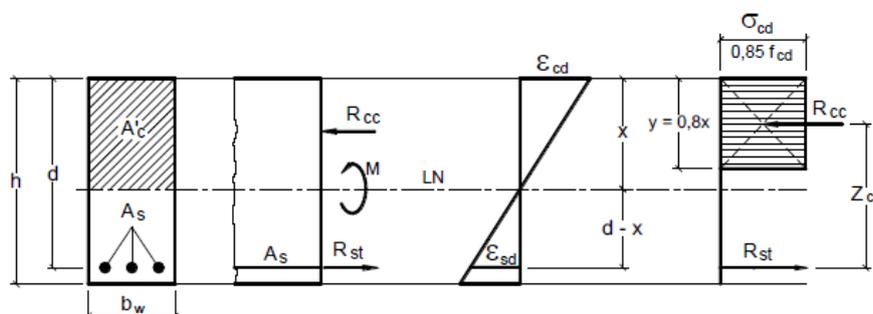


Figura 3: Tensões e deformações em seção viga retangular simplesmente armada. Fonte: (BASTOS 2015)

O diagrama de distribuição de tensões de compressão é o retangular simplificado, com altura equivalente à 80% da altura da área comprimida ($y = 0,8x$). Tanto a altura de compressão “y” como a tensão de compressão no concreto (θ_{cd}) são válidos para os concretos do Grupo I de resistência.

2.3.1 Equilíbrio de Forças Normais

A resultante da força de compressão no concreto deve estar em equilíbrio com a força resultante da tensão de tração na armadura, conforme representado pela equação 2:

$$R_{cc} = R_{st} \quad (\text{Equação 2})$$

Como $\theta = F/A$, a resultante das tensões de compressão pode ser escrita como equação 3, onde θ_{cd} é a tensão de compressão de cálculo do concreto:

$$R_{cc} = \theta_{cd} * A'c \quad (\text{Equação 3})$$

Como área de concreto comprimida corresponde ao diagrama retangular simplificado ($A'c = 0,8x * b_w$), a resultante de compressão R_{cc} é escrita segundo a equação 4:

$$R_{cc} = 0,85 * f_{cd} * 0,8x * b_w \Rightarrow R_{cc} = 0,68 * f_{cd} * x * b_w, \quad (\text{Equação 4})$$

f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto, em vez de θ_{cd} , e 0,85 considera o efeito *Rush*.

Já na armadura tracionada, a força resultante das tensões será dada pela equação 5, sendo θ_{sd} a tensão de cálculo no aço:

$$R_{st} = \theta_{sd} * A_s \quad (\text{Equação 5})$$

2.3.2 Equilíbrio do Momento Fletor na Seção

O momento das forças internas em relação a qualquer ponto deve ser igual ao momento externo de cálculo, ou seja, $M_{solicitante} = M_{resistente} = M_d$, o que permite escrever a equação 6 como:

$$M_d = R_{cc} * Z_{cc} \Rightarrow M_d = R_{st} * Z_{cc}, \quad (\text{Equação 6})$$

onde Z_{cc} é a distância (ou alavanca) entre as forças resistentes, dada pela equação 7:

$$Z_{cc} = d - 0,4x. \quad (\text{Equação 7})$$

Introduzindo a equação 7 na equação 6, encontra-se a equação 8,

$$M_d = 0,68 * b_w * x * f_{cd} * (d - 0,4x). \quad (\text{Equação 8})$$

Assim, levando-se a equação 5 na equação 8, obtém-se a equação 9:

$$M_d = \theta_{sd} * A_s * (d - 0,4x). \quad (\text{Equação 9})$$

Para encontrar a área de armadura tracionada, reescreve-se a equação 9, isolando a área de aço, em função da posição da linha neutra, o que leva à equação 10:

$$A_s = \frac{M_d}{\theta_{sd} * (d - 0,4x)}. \quad (\text{Equação 10})$$

2.3.3 Permanência da Seção Plana

Seguindo-se a hipótese de que a seção permanece plana após a deformação, pode-se definir a relação entre as deformações no concreto e no aço pela equação 11:

$$\frac{\epsilon_{cd}}{\epsilon_{sd}} = \frac{x}{d - x} \quad (\text{Equação 11})$$

Chamando de β_x a relação entre a posição da linha neutra e a altura útil da viga, chega-se à equação 12:

$$\beta_x = \frac{x}{d} \quad \text{(Equação 12)}$$

A equação 12 sendo substituída na equação 11, resulta na equação 13:

$$\beta_x = \frac{\epsilon_{cd}}{\epsilon_{cd} + \epsilon_{sd}} \quad \text{(Equação 13)}$$

Assim, para conhecer os limites entre os domínios 2 (x_{2lim}) e 3 (x_{3lim}), calculam-se primeiramente os valores de β_{x23} e β_{x34} , respectivamente, de acordo com as deformações do aço e do concreto. Posteriormente faz-se:

$$x_{2lim} = \beta_{x23} * d \text{ e } x_{3lim} = \beta_{x34} * d,$$

onde x_{2lim} delimita os domínios 2 e 3, enquanto que x_{3lim} delimita os domínios 3 e 4.

2.4 Cálculo da Armadura Longitudinal em Peça Duplamente Armada

De forma similar ao cálculo da quantidade de armadura longitudinal para seções simplesmente armadas, a formulação para seções duplamente armadas é desenvolvida com base nas equações de equilíbrio das forças normais e dos momentos fletores, internos. Os diagramas de tensões e deformações são representados na figura 4:

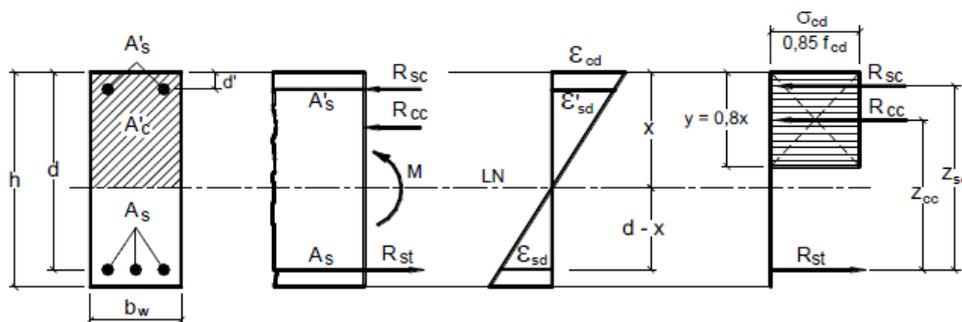


Figura 4: Tensões e deformações em seção viga retangular duplamente armada. Fonte: BASTOS (2015)

2.4.1 Equilíbrio de Forças Normais

As forças relativas aos esforços resistentes internos devem se equilibrar, de modo que:

$$R_{cc} + R_{sc} = R_{st}, \quad \text{(Equação 14)}$$

onde surge uma nova incógnita (R_{sc}), em relação ao caso da seção simplesmente armada, que representa a força resultante de compressão proporcionada pela armadura comprimida. Com o acréscimo dessa força, as etapas de cálculo seguem da mesma

forma mostrada acima para as vigas simplesmente armadas. Para encontrar o momento fletor M_d é preciso fazer sua decomposição em duas parcelas, conforme mostra a equação 15,

$$M_d = M_{1d} + M_{2d}, \quad (\text{Equação 15})$$

onde M_{1d} é momento fletor interno resistente proporcionado por uma parcela A_{s1} da armadura tracionada e pela área de concreto comprimido, conforme equação 16.

$$M_{1d} = 0,68b_w * x * f_{cd} * (d - 0,4x). \quad (\text{Equação 16})$$

Logo, para encontrar M_{2d} , tem-se, como consequência, a equação 17,

$$M_{2d} = M_d - M_{1d} \Rightarrow M_{2d} = R_{sc} * Z_{sc}. \quad (\text{Equação 17})$$

A armadura comprimida necessária A'_s é dada pela equação 18:

$$A'_s = \frac{M_{2d}}{\theta'_{sd} * (d - d')} \quad (\text{Equação 18})$$

Para o cálculo das parcelas A_{s1} e A_{s2} da armadura tracionada empregam-se as equações 19, (a) ou (b), respectivamente:

$$A_{s1} = \frac{M_{1d}}{\theta_{sd}(d - 0,4x)} \quad (\text{a}); \quad A_{s2} = \frac{M_{2d}}{\theta_{sd}(d - d')} \quad (\text{b}) \quad (\text{Equação 19})$$

A armadura total de tração é dada pela soma das parcelas, equação 20:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}. \quad (\text{Equação 20})$$

3 O Programa

A plataforma educacional *online* de verificação e dimensionamento de vigas retangulares de concreto armado, em flexão pura, consiste em um site desenvolvido para que, a partir da inserção de dados de entrada, o sistema operacional da máquina do usuário coordene todas as etapas de cálculo de forma automática. Esta seção apresenta detalhes do funcionamento do programa, descrevendo considerações e as etapas realizadas.

Cabe esclarecer que, ao se perceber a necessidade de uma ferramenta educacional de fácil acesso, a plataforma foi ampliada de forma a estender o acesso a estudantes e profissionais da área, amplificando o seu alcance. Assim, criou-se o conceito de um ambiente virtual de aprendizado, e não somente uma ferramenta para cálculo de vigas de concreto. Desta forma, todos os usuários podem colaborar de forma iterativa visando o benefício de todos. A plataforma *online* chamada Sollvic foi desenvolvida na linguagens de programação JavaScript, HTML e CSS, contando também com o auxílio do MathJax e ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

jQuery para dar formatação e agilizar alguns comandos executados pelo site, respectivamente. Esta interação entre linguagens favorece uma performance colaborativa para se obter os resultados esperados. O ambiente virtual criado, portanto, visa agregar ferramentas acadêmicas para auxílio aos estudantes, curiosos e profissionais das áreas de estudo abrangentes; constituindo um recurso para teste de conhecimentos, resolução rápida para situações diárias e exercícios. A ferramenta já foi lançada e está disponível no domínio www.sollvic.com.

Um ponto de destaque para uso de programas na internet é a forma como os elementos estão dispostos. Em um site, a experiência do usuário com a interface mostra-se significativa. O *design* é um elemento estratégico chave, pois interfere na percepção do público sobre a marca e na proposta do serviço/produto. Por isso a preocupação de estabelecer uma identidade visual interessante e agradável à plataforma, o que deu origem à marca e ao logotipo do Sollvic, ilustrada na figura 5.



Figura 5: Logotipo e marca do Sollvic

Outro aspecto relevante, também relacionado à interatividade com o usuário, é o fato de que o Sollvic foi desenvolvido para ter um *design* responsivo, ou seja, que se adapta a qualquer dispositivo (computador, *tablets* ou celulares), figura 6, visando uma melhor experiência e ainda mais facilidade de acesso. Um dos valores do Sollvic é ser acessível ao público, logo, neste contexto, a responsividade é considerada um parâmetro importante. Um outro valor primordial da marca é seu caráter educacional. Para isso, foram desenvolvidos relatórios automáticos que são gerados após a realização da verificação ou dimensionamento das vigas, efetuados com base na fundamentação teórica apresentada nos itens precedentes. Assim, é possível visualizar cada etapa de cálculo realizada, as considerações feitas, justificativas e resultados, tornando a resposta do site completa e educativa. Além disso, o relatório pode ser salvo em PDF na máquina do usuário ou impresso, caso desejado.

Do ponto de vista da estrutura da plataforma, o Sollvic é dividido em páginas na *web* com as ferramentas de cálculo e abas com informações sobre a plataforma. Neste segundo grupo incluem-se as seguintes páginas: Quem somos, Apoio, Participe e Contato. Essas abas permitem que o usuário conheça melhor a proposta do Sollvic, suas características e

funções, além de ver quem está por trás do projeto e entrar em contato caso tenha sugestões ou interesse em participar.



Figura 6: Exibição do *design* responsivo da plataforma

Ao entrar no site www.sollvic.com, o usuário será direcionado para a página inicial. Nela, constam informações gerais sobre o propósito e rotinas disponíveis. Pode-se também acessar as ferramentas de cálculo e as páginas sobre a plataforma através da barra de navegação superior, presente em todas as páginas do site.

3.1 Exemplificação do Uso do Programa

3.1.1 Verificação de Vigas Simplesmente Armadas

A aplicação de verificação de vigas de concreto armado é onde o usuário poderá testar se uma determinada viga está apta para o funcionamento sob a ação de esforços de flexão pura, na condição do estado limite último apresentado pela ABNT NBR 6118:2014. A página é exibida na Figura 7.

Na verificação, os dados solicitados ao usuário são: seção da viga (altura e largura), tipo de concreto e aço utilizados, área de aço e altura útil. Pede-se também o esforço quanto ao momento fletor em relação ao qual se deseja fazer a verificação, além das bitolas longitudinais e transversais, cobrimento, e coeficientes de segurança já indicados com seu valor padrão. Uma vez completados todos os campos, o usuário pode clicar no botão “Verificar”, o qual aciona o *script* que dá início às instruções programadas. Caso algum campo não tenha sido preenchido corretamente, o programa irá solicitar o preenchimento adequado. O algoritmo de cálculo para a verificação abrange todas as equações discutidas na fundamentação teórica, apresentadas anteriormente, as quais dependem do roteiro estabelecido pelos próprios resultados intermediários.



The screenshot shows a web browser window with the URL `sollvic.com/checkCS.html`. The page title is "Verificação de Vigas em Concreto - Simplesmente Armadas". Below the title, there is a sub-header: "Verificação de vigas em concreto armado submetidas à Flexão Simples de acordo com a norma NBR 6118:2014. Autora: Juliana Libório".

The form contains several input fields and dropdown menus:

- Projeto:** Text input with placeholder "Ex.: Edifício Canadá".
- Viga:** Text input with placeholder "Identifique a viga. Ex.: V1".
- Norma:** Dropdown menu with "NBR 6118:2014" selected.
- Dados:**
 - Altura da viga (cm)*:** Text input.
 - Largura da viga (cm)*:** Text input.
 - Concreto (Fck)*:** Dropdown menu with "C20" selected.
 - Aço*:** Dropdown menu with "CA50" selected.
 - Área de Aço (cm²)*:** Text input.
- Esforços:**
 - Momento Fletor M_k (kN.cm)*:** Text input.
- Bitolas:**
 - Bitola longitudinal (mm)*:** Dropdown menu with "5" selected.
 - Bitola transversal (mm)*:** Dropdown menu with "5" selected.
- Coefficientes e Parâmetros:** Toggle switch set to "OFF".

Figura 7: Página de verificação de vigas metálicas

Quando todas as instruções do programa forem executadas, é exibida uma caixa de mensagem, também chamada de *prompt*, com a mensagem de aprovação ou reprovação da viga. Nesse momento, o usuário deverá escolher sua próxima ação: ver o relatório ou voltar para a página de verificação de vigas para testar outra seção ou continuar navegando no site de acordo com sua preferência. Caso opte por gerar o relatório, o usuário terá acesso à página com todas as informações do cálculo realizado, como mostrado na figura 8. No relatório constam as informações de entrada do usuário de forma ilustrada, detalhes da seção escolhida, todas as equações descritas passo-a-passo, assim como a relação das incógnitas do problema.

A verificação de vigas duplamente armadas ocorre de maneira similar à verificação de vigas simplesmente armadas, levando-se em consideração os parâmetros que devem ser considerados neste caso. Inicialmente, são listadas as características da viga descritas nos dados de entrada, como mostrado na figura 8, acima, e então seguem-se as etapas de cálculo com seus respectivos resultados. Na figura 9 é exibido um trecho do relatório de verificação de uma viga duplamente armada. Essa etapa do relatório é essencial não apenas para permitir o aprendizado de estudantes e interessados no assunto, mas também estabelece confiabilidade ao site por parte dos profissionais que podem conferir cada resultado. Além disso, a transparência no processo de cálculo permite que os dados sejam utilizados da forma bem adequada, possibilitando a otimização dimensional do elemento estrutural em estudo com a modificação repetida dos dados iniciais de entrada até que a viga esteja compatível com os resultados necessários para cada situação.

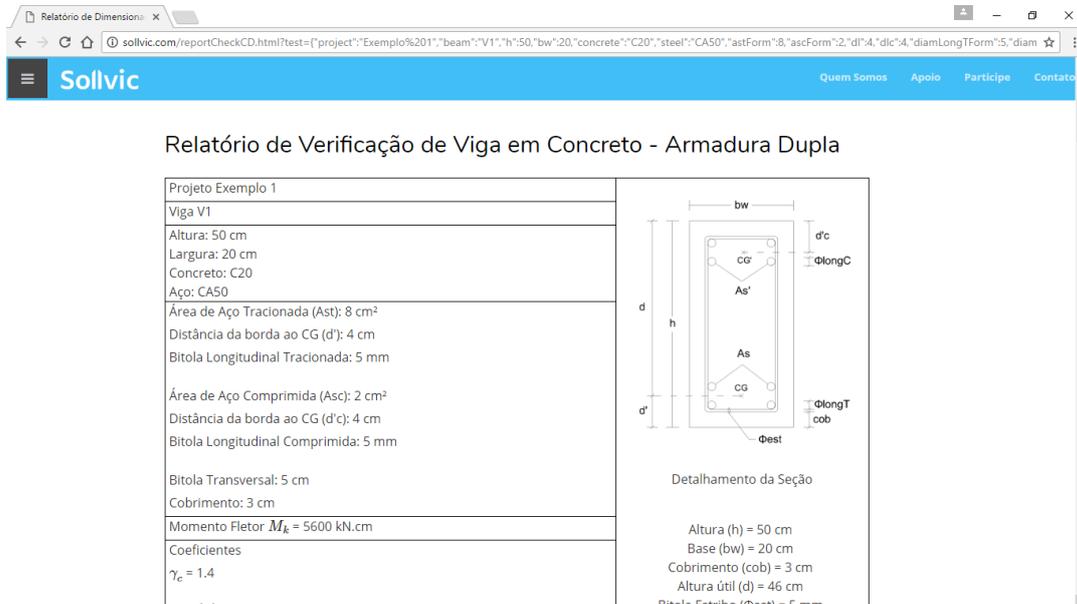


Figura 8: Trecho de relatório de verificação gerado no Solvic

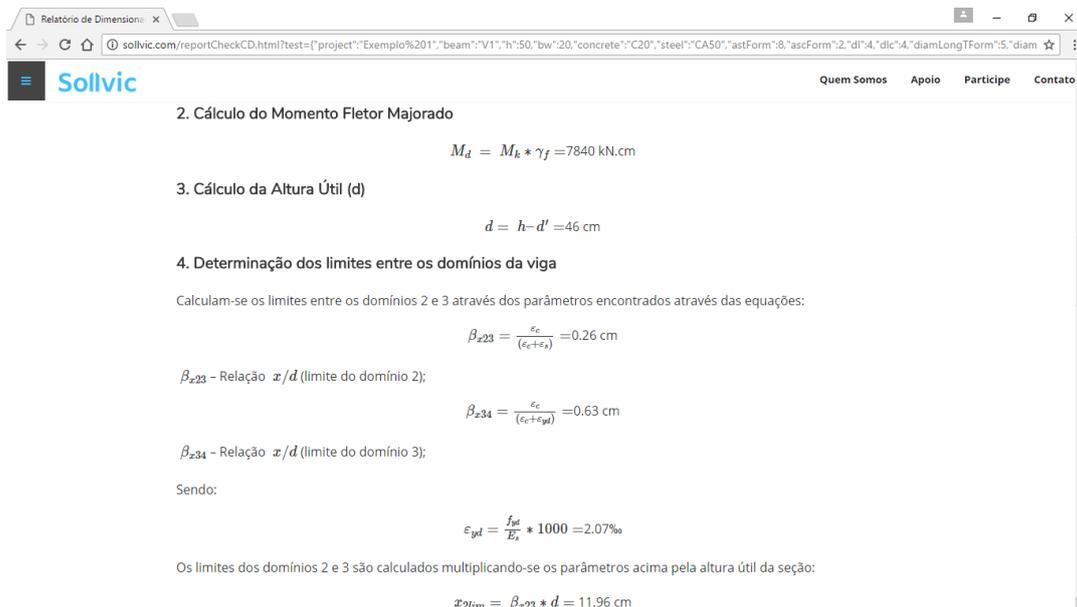
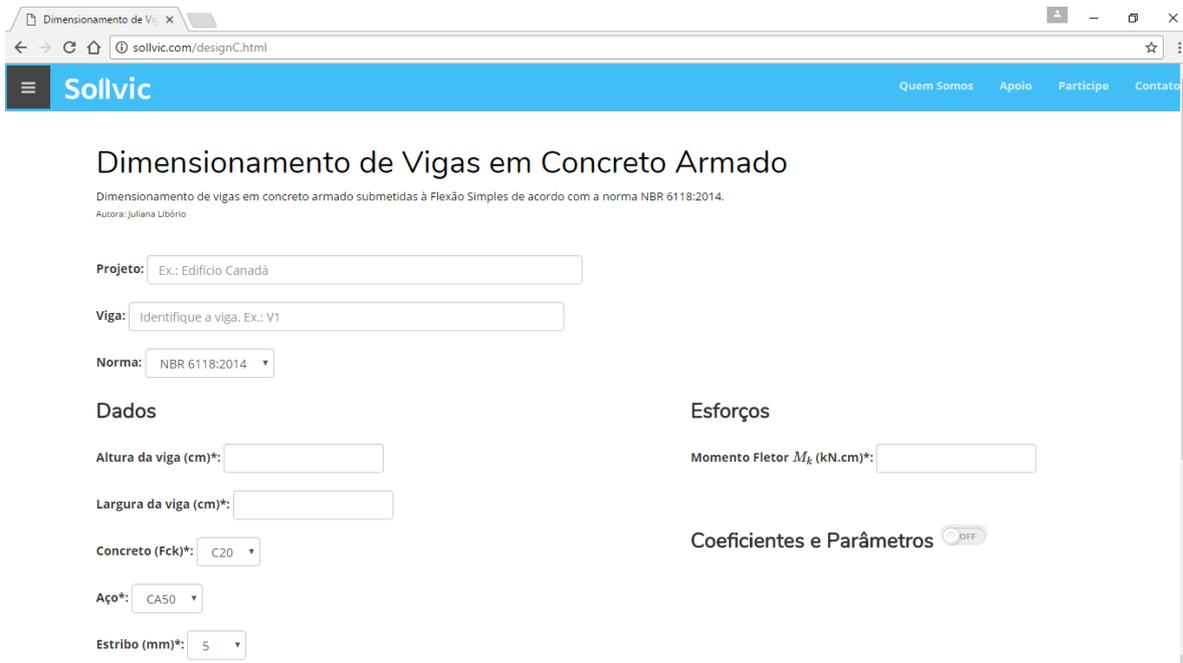


Figura 9: Trecho de relatório de verificação gerado no Solvic

3.1.2 Dimensionamento de Vigas

Para o dimensionamento de vigas de concreto armado, o programa sugere um perfil que atende aos requisitos da flexão pura de acordo com a norma brasileira vigente. A página inicial para dimensionamento é exibida na figura 10. Os dados solicitados ao usuário são similares aos dados de entrada requeridos pela verificação de vigas, exceto pela solicitação da distância da borda tracionada/comprimida ao centro de gravidade da armadura tracionada/comprimida e o tipo de brita que se deseja utilizar. Ao executar o

programa o resultado do dimensionamento será exibido, sugerindo-se os possíveis arranjos para a situação proposta. O relatório de dimensionamento pode ser gerado com todas os detalhes da seção e os resultados de cálculo, além de uma lista de diferentes combinações de arranjos de armadura que podem ser utilizados. As figuras 11, 12 e 13 exibem, respectivamente, os trechos do relatório, citados.



Dimensionamento de Vigas em Concreto Armado

Dimensionamento de vigas em concreto armado submetidas à Flexão Simples de acordo com a norma NBR 6118:2014.
 Autora: Juliana Libório

Projeto: Ex.: Edifício Canadá

Viga: Identifique a viga. Ex.: V1

Norma: NBR 6118:2014

Dados

Altura da viga (cm)*:

Largura da viga (cm)*:

Concreto (Fck)*: C20

Aço*: CA50

Estribo (mm)*: 5

Esforços

Momento Fletor M_k (kN.cm)*:

Coefficientes e Parâmetros OFF

Figura 10: Ferramenta de dimensionamento de vigas metálicas



Relatório de Dimensionamento de Viga em Concreto Armado

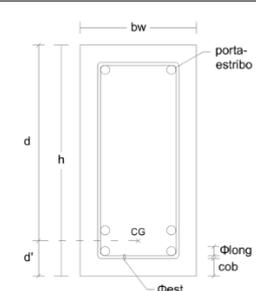
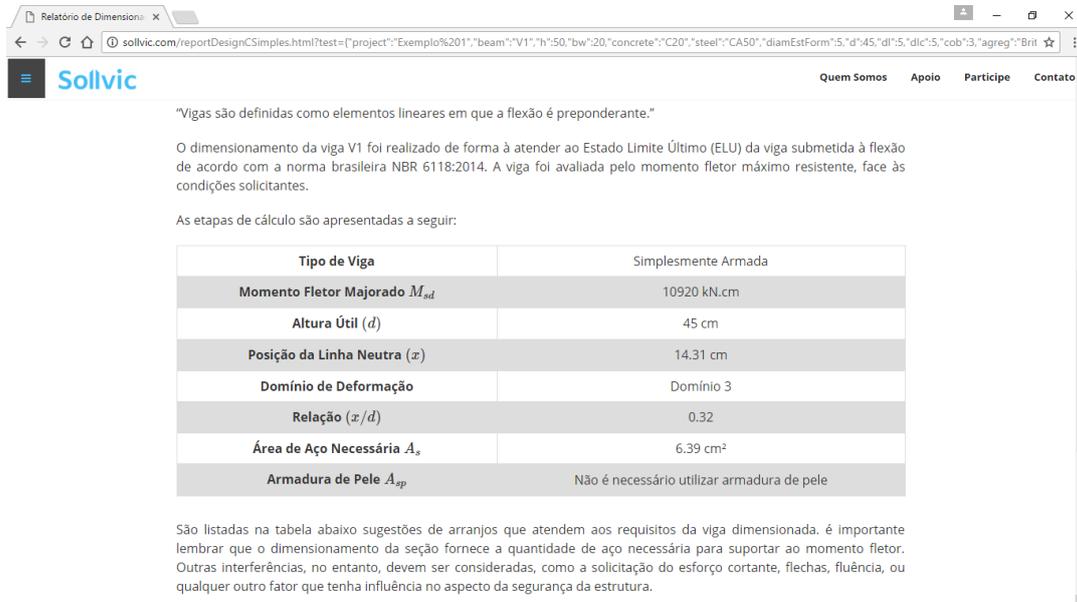
Projeto Exemplo 1	 <p>Detalhamento da Seção</p> <p>Altura (h) = 50 cm Base (bw) = 20 cm Cobrimento (cob) = 3 cm Altura útil (d) = 45 cm Bitola Estribo (Φest) = 5 mm</p>
Viga V1	
Altura: 50 cm Largura: 20 cm Concreto = C20 Aço = CA50 Φ Estribo = 5 mm	
Distância da borda tracionada ao CG da armadura tracionada (d'): 5 cm Distância da borda comprimida ao CG da borda comprimida (d'c): 5 cm Cobrimento: 3 cm	
Agregado Graúdo: Brita 0	
Momento Fletor M_k = 7800 kN.cm	
Coefficientes	
γ_c = 1.4	
γ_s = 1.4	

Figura 11: Trecho do relatório de dimensionamento



Relatório de Dimensionamento

Sollvic

“Vigas são definidas como elementos lineares em que a flexão é preponderante.”

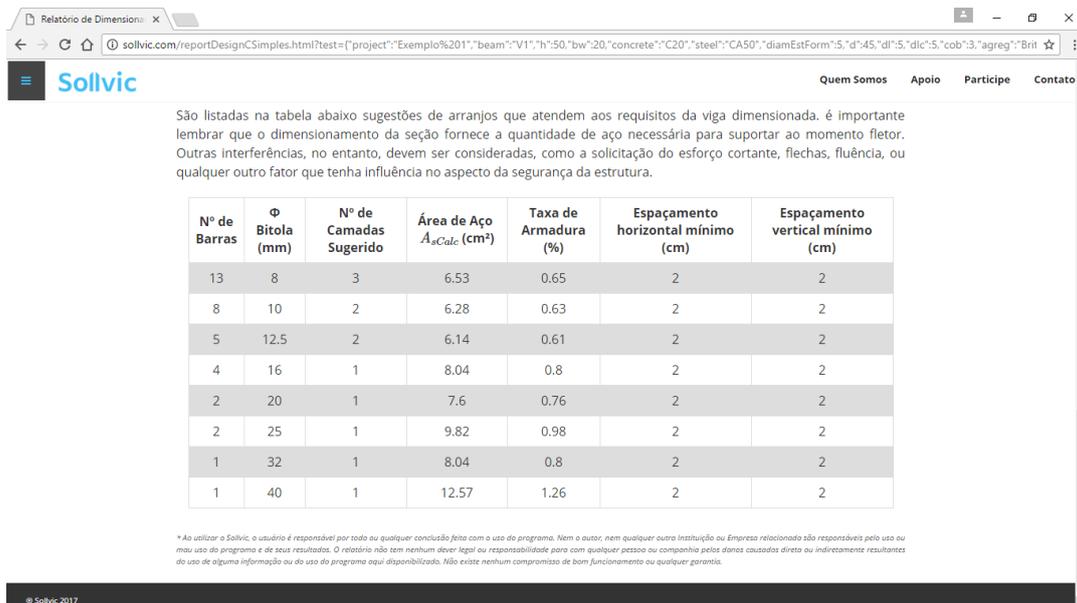
O dimensionamento da viga V1 foi realizado de forma a atender ao Estado Limite Último (ELU) da viga submetida à flexão de acordo com a norma brasileira NBR 6118:2014. A viga foi avaliada pelo momento fletor máximo resistente, face às condições solicitantes.

As etapas de cálculo são apresentadas a seguir:

Tipo de Viga	Simplemente Armada
Momento Fletor Majorado M_{sd}	10920 kN.cm
Altura Útil (d)	45 cm
Posição da Linha Neutra (x)	14.31 cm
Domínio de Deformação	Domínio 3
Relação (x/d)	0.32
Área de Aço Necessária A_s	6.39 cm ²
Armadura de Pele A_{sp}	Não é necessário utilizar armadura de pele

São listadas na tabela abaixo sugestões de arranjos que atendem aos requisitos da viga dimensionada. É importante lembrar que o dimensionamento da seção fornece a quantidade de aço necessária para suportar ao momento fletor. Outras interferências, no entanto, devem ser consideradas, como a solicitação do esforço cortante, flechas, fluência, ou qualquer outro fator que tenha influência no aspecto da segurança da estrutura.

Figura 12: Trecho do relatório de dimensionamento



Relatório de Dimensionamento

Sollvic

São listadas na tabela abaixo sugestões de arranjos que atendem aos requisitos da viga dimensionada. É importante lembrar que o dimensionamento da seção fornece a quantidade de aço necessária para suportar ao momento fletor. Outras interferências, no entanto, devem ser consideradas, como a solicitação do esforço cortante, flechas, fluência, ou qualquer outro fator que tenha influência no aspecto da segurança da estrutura.

Nº de Barras	Ø Bitola (mm)	Nº de Camadas Sugerido	Área de Aço A_{sCalc} (cm ²)	Taxa de Armadura (%)	Espaçamento horizontal mínimo (cm)	Espaçamento vertical mínimo (cm)
13	8	3	6.53	0.65	2	2
8	10	2	6.28	0.63	2	2
5	12.5	2	6.14	0.61	2	2
4	16	1	8.04	0.8	2	2
2	20	1	7.6	0.76	2	2
2	25	1	9.82	0.98	2	2
1	32	1	8.04	0.8	2	2
1	40	1	12.57	1.26	2	2

*Ao utilizar o Sollvic, o usuário é responsável por toda ou qualquer conclusão feita com o uso do programa. Nem o autor, nem qualquer outra instituição ou empresa relacionada são responsáveis pelo uso ou mau uso do programa e de seus resultados. O relatório não tem nenhuma dever legal ou responsabilidade para com qualquer pessoa ou companhia pelas danos causados direta ou indiretamente resultantes do uso de alguma informação ou do uso do programa aqui disponibilizado. Não existe nenhum compromisso de bom funcionamento ou qualquer garantia.

© Sollvic 2017

Figura 13: Trecho do relatório de dimensionamento

4 Validação dos Resultados

Para validar os cálculos, foram realizadas comparações com exercícios resolvidos, além de comparações com a rotina proposta pelo Prof. Dr. Paulo Bastos, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, em planilhas do Excel, disponíveis em “<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FlexaoSimples.pdf>”. Deve-se levar em consideração que as planilhas e exercícios resolvidos não consideram todos os parâmetros que o Sollvic utiliza nos seus cálculos, o que pode ser notado nos dados de

entrada. Esses dados são necessários para verificações de coerência das informações da viga em análise, como por exemplo a de que a altura da seção não pode ser menor que a sua altura útil. Além disso, no programa existem considerações práticas, como a tolerância de 5% nos resultados, introduzida para evitar que seções aptas sejam reprovadas devido a diferenças que podem ser desprezadas. Na tabela 1, pode ser visto um exemplo de comparação de dimensionamento entre o Sollvic e o exercício resolvido nas notas de aula do Prof. Dr. Paulo Bastos. A figura 14 ilustra trecho da exibição do resultado no Sollvic.

Tabela 1: Comparação de resultados: Notas de Aula e Sollvic

Dados da Viga	Item	Resultados	
		Prof. Dr. Paulo Bastos	Sollvic
bw = 20 cm	Posição da Linha Neutra (x)	17,9 cm	17,89 cm
$\gamma_f = \gamma_c = 1,4$	x2lim	12,0 cm	11,9259 cm
h = 50 cm	x3lim	29,0 cm	28,9024 cm
$\gamma_s = 1,15$	Domínio de Deformação	Domínio 3	Domínio 3
d = 46 cm	Relação x/d	0,39	0,39
As = 8,00 cm ²	Momento Fletor Resistente Característico	9650 kN·cm	9651,5 kN·cm
Concreto C20			
Aço CA-50			

A tabela abaixo resume os resultados encontrados:

Área de Aço Utilizada A_s	8 cm ²
Altura Útil (d)	46 cm
Posição da Linha Neutra (x)	17.89 cm
Domínio de Deformação	Domínio 3
Relação (x/d)	0.39
Momento Fletor Resistente M_d	13512.1 kN.cm
Momento Fletor Solicitante Majorado M_{sd}	13510 kN.cm
Armadura de Pele A_{sp}	Não é necessário utilizar armadura de pele

Figura 14: Exemplo de resultados exibidos pelo Sollvic

5 Conclusão

O objetivo do presente trabalho foi apresentar uma plataforma *online*, denominada Sollvic, disponível em www.sollvic.com, desenvolvida para verificação e dimensionamento de vigas de seção retangular em flexão pura de acordo com os critérios da NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2014), levando-se em conta características como confiabilidade técnica, priorização ao ensino e à acessibilidade. Nesse sentido, a ferramenta apresentada evoluiu para se constituir em uma estratégia social importante que oferece a oportunidade de ANAIS DO 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2017 – 59CBC2017

outros autores se envolverem no desenvolvimento da plataforma de forma colaborativa. O produto criado, o “Sollvic”, é um ambiente virtual onde seu público alvo estará apto a testar seus conhecimentos, aprender novos conteúdos de forma independente, relembrar tópicos estudados e desenvolver novas rotinas de cálculo.

A iniciativa reflete uma revolução digital no campo educacional. Diante da situação-problema exposta, ações deste tipo irão beneficiar alunos e profissionais, permitindo a melhoria na formação de estudantes e auxiliando técnicos na realização de atividades práticas. Para trabalhos futuros, pretende-se expandir o conteúdo da plataforma, aumentando o portfólio de ferramentas do site com novas aplicações na Engenharia Civil, bem como em Engenharia diversas. Além disso, propõe-se a inclusão da plataforma no Banco Internacional de Objetos Educacionais – sítio online disponibilizado pelo Ministério da Educação do governo brasileiro (MEC), acessível em <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>. Trata-se de uma forma sólida de dar continuidade ao trabalho desenvolvido, agregando e difundindo conhecimento em um portal oficial brasileiro. Essas são propostas viáveis, tendo em vista que o Sollvic é um ambiente interativo, que incentiva o envolvimento de novos desenvolvedores para aumento do portfólio disponível, de modo a alcançar um status que represente um bem comum para a sociedade. É possível obter maiores informações sobre como participar do Sollvic visitando a página “Participe” do site ou enviando um e-mail diretamente para contato@sollvic.com.

Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 283 p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Flexão Normal Simples - Vigas**. 2015. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FlexaoSimples.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: Segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2013.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Estruturas de Concreto**: Solicitações Normais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Banco Internacional de Objetos Educacionais**. 2008. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

ROSA, Willian de Araújo. **Concreto Armado**. 1999. Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/index.asp>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

SANTOS, Lauro Modesto dos. **Cálculo de Concreto Armado**: Segundo a nova NB-1 e o CEB. 2. ed. São Paulo: LMS, 1983.