

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Camila Fagundes Xavier**

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DOS  
ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE  
CONCRETO ARMADO**

Porto Alegre  
novembro 2010

**CAMILA FAGUNDES XAVIER**

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DOS  
ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE  
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Américo Campos Filho**

Porto Alegre  
novembro 2010

**CAMILA FAGUNDES XAVIER**

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DOS  
ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE  
CONCRETO ARMADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 01 de dezembro de 2010.

Prof. Américo Campos Filho  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Américo Campos Filho (UFRGS)**  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ronald José Ellwanger (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE

Dedico este trabalho a meus pais e ao meu marido que sempre me apoiaram e incentivaram, ficando ao meu lado durante o período do meu Curso de Graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Américo Campos Filho, orientador deste trabalho, pela dedicação, paciência, colaboração e ensinamentos que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelos ensinamentos, auxílio e dicas que proporcionaram uma boa elaboração deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino gratuito e de qualidade e pela oportunidade de realização de um sonho.

Agradeço ao Prof. Luiz Antônio Bressani pela oportunidade e ensinamentos durante o período em que trabalhamos juntos no Programa de Iniciação Científica.

Agradeço aos colegas de trabalho da iniciação científica Talita Caroline Miranda e Felipe Gobbi pela amizade, paciência e ensinamentos dedicados a mim.

Agradeço ao meu marido pela paciência, compreensão e auxílio nas horas dedicadas aos estudos, especialmente após o nascimento da nossa filha.

Agradeço aos meus pais por todo apoio, incentivo e compreensão durante os últimos cinco anos que me dediquei mais aos estudos do que à família.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso pelo companheirismo e amizade.

Agradeço a Deus pelo presente que ele me mandou no final desta jornada, minha linda filha Júlia.

Mais cedo ou mais tarde, a teoria sempre acaba  
assassinada pela experiência.

*Albert Einstein*

## RESUMO

XAVIER, C. F. **Programa Computacional para Verificação dos Estados Limites de Serviço em Vigas de Concreto Armado**. 2010. 84 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A verificação dos estados limites é de importância fundamental para a realização de um projeto estrutural, pois a transgressão de um desses estados poderá comprometer o desempenho de uma estrutura. Os estados limites estão divididos em últimos e de serviço. Os estados limites últimos correspondem à máxima capacidade portante da estrutura e os de serviço se referem a situações em que a estrutura deixa de apresentar boas condições funcionais de utilização. Neste trabalho serão abordados dois estados limites de serviço para estruturas de concreto armado: o de abertura de fissuras e o de deformações excessivas. Tendo em vista a importância dessas verificações, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma rotina computacional para automatizar os procedimentos de cálculo destes estados limites de serviço em vigas de concreto armado de seções retangulares, conforme as recomendações da norma NBR 6118/2007 – Projeto de Estruturas de Concreto –. O programa foi desenvolvido na linguagem de programação do Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition, aproveitando os recursos fornecidos por esta linguagem, que propicia uma entrada de dados amigável, típica do ambiente Windows. O programa tem também a pretensão de auxiliar estudantes de Engenharia na aprendizagem e compreensão dos fenômenos de fissuração e deformação em vigas de concreto armado.

Palavras-chave: estados limites de serviço; abertura de fissuras; deformações excessivas; vigas; concreto armado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: etapas da pesquisa .....	21
Figura 2: área de concreto da região de envolvimento da armadura .....	35
Figura 3: deformação da viga, na posição $x$ , em função de uma carga genérica .....	46
Figura 4: integrais para dedução das equações de deslocamento da carga concentrada ..	47
Figura 5: integrais para dedução das equações de deslocamento das cargas momento ...	47
Figura 6: integrais para dedução das equações de deslocamento da carga distribuída ....	48
Figura 7: carga concentrada aplicada a uma distância “a” do apoio .....	51
Figura 8: carga distribuída aplicada a uma distância “a” do apoio em um trecho “b” .....	52
Figura 9: dimensões da seção da viga e posicionamento das armaduras .....	52
Figura 10: área de concreto que envolve as barras de armadura tracionada .....	53
Figura 11: cargas genéricas para dedução do momento fletor em uma seção $x$ .....	55
Figura 12: tela inicial – carregamento – .....	61
Figura 13: mensagem referente a digitação de letras ou caractere especial .....	62
Figura 14: mensagem referente ao percentual superior a 100% .....	62
Figura 15: segunda tela – momento de serviço – .....	64
Figura 16: mensagem referente a campo em branco na segunda tela .....	64
Figura 17: mensagem referente à falta do ponto de aplicação da carga .....	65
Figura 18: terceira tela – verificação fissuração – .....	66
Figura 19: mensagens de verificação .....	66
Figura 20: abertura da fissura admissível e calculada .....	68
Figura 21: mensagens de verificação .....	68
Figura 22: campos que serão utilizados somente na verificação de deslocamento .....	69
Figura 23: mensagem referente à falta de preenchimento de dados .....	69
Figura 24: mensagem referente à falta de seleção do tipo de concreto .....	70
Figura 25: quarta tela – verificação deslocamento – .....	71
Figura 26: flecha de curta e longa duração .....	72
Figura 27: mensagens de verificação .....	72
Figura 28: mensagem referente à falta de informação em um campo .....	73
Figura 29: mensagem referente a presença de caractere não numérico em um campo ....	73
Figura 30: seleção de menus .....	74
Figura 31: classes de agressividade ambiental apresentada pelo programa .....	75
Figura 32: dados de identificação da autoria do programa .....	75
Figura 33: instruções básicas de uso do programa .....	76



Figura 34: cálculo do carregamento permanente e variável e carregamento de serviço ..	78
Figura 35: cálculo dos momentos de serviço para verificação da fissuração e do deslocamento .....	78
Figura 36: verificação da fissuração – viga fissurada .....	79
Figura37: verificação abertura da fissura – fissura aceitável de acordo com a NBR 6118/2007 .....	79
Figura 38: cálculo da flecha admissível .....	80
Figura 39: verificação da flecha – deslocamento aceitável de acordo com a NBR 6118/2007.....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: valores dos coeficientes $\gamma_{f2}$ .....	27
Quadro 2: combinações de serviço .....	28
Quadro 3: exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	33
Quadro 4: coeficiente de conformação superficial .....	36
Quadro 5: limites para deslocamento .....	39
Quadro 6: valores do coeficiente $\xi$ em função do tempo .....	43
Quadro 7: classes de agressividade ambiental .....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{cr}$ : área de envolvimento de concreto

$A_s$ : área da armadura de aço abaixo do centro de gravidade ou da linha neutra da seção

$A'_s$ : área da armadura de aço acima do centro de gravidade ou da linha neutra da seção

$\alpha$ : fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta

$\alpha_f$ : coeficiente para cálculo da flecha diferida no tempo, função do tempo e da taxa geométrica de armadura

$b$ : largura da seção retangular

$c_{min}$ : cobrimento mínimo

$\gamma_f$ : coeficiente de ponderação das ações

$\gamma_{f1}$ : coeficiente de ponderação que considera a variabilidade das ações

$\gamma_{f2}$ : coeficiente de ponderação que considera a simultaneidade da atuação das ações

$\gamma_{f3}$ : coeficiente de ponderação que considera desvios de execução e aproximações de cálculos nas considerações das ações

$\Delta c$ : tolerância na variação do cobrimento

$d$ : altura útil da viga

$E_{ci}$ : módulo de deformação tangente inicial

$E_{cs}$ : módulo de elasticidade secante do concreto

$E_{si}$ : módulo de elasticidade longitudinal do aço

$EI$ : rigidez

$F_d$ : valor da ação de serviço

$F_k$ : valor da ação característica

$F_{qk}$ : valor da ação característica devida a cargas acidentais

$f_{adm}$ : flecha admissível (limite)

$f_{ck}$ : resistência característica do concreto à compressão

$f_{ct}$ : resistência do concreto à tração direta

$f_{ct,f}$ : resistência do concreto à tração na flexão

$f_{ctm}$ : resistência do concreto à tração média

$f_{ctk,inf}$ : resistência característica inferior do concreto à tração

$f_{ctk,sup}$ : resistência característica superior do concreto à tração

$f_{pr}$ : flecha provável

$f_{(x)}$ : flecha imediata

$g$ : carregamento permanente

$\eta_1$ : coeficiente de conformação superficial da barra de aço

$I_c$ : momento de inércia da seção de concreto

$I_{II}$ : momento de inércia da seção no Estádio II

$M$ : carga momento

$M_a$ : momento fletor na seção crítica

$M_{d,ser}$ : momento fletor de serviço

$M_f$ : momento de fissuração

$M_{(x)}$ : momento devido à carga aplicada

$\Delta\xi$ : variação do coeficiente  $\xi$

$\xi$ : coeficiente função do tempo

P: carga concentrada

p: carga distribuída

$P_{d,ser}$ : carregamento de serviço

$\rho_r$ : taxa que relaciona a área de aço com sua área de concreto envolvente

$\rho'$ : taxa geométrica de armadura longitudinal comprimida

q: carregamento variável

$\sigma_s$ : tensão no aço

t: tempo

$t_0$ : tempo de aplicação da carga

$\phi$ : diâmetro da barra de armadura

$\Psi_1$ : coeficiente de ponderação das ações nos estados limites de serviço para combinação frequente de carga

$\Psi_2$ : coeficiente de ponderação das ações nos estados limites de serviço para combinação quase permanente de carga

$y_t$ : distância da linha neutra a fibra mais tracionada

$w_k$ : abertura característica da fissura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 CONCRETO ARMADO .....	16
1.2 VIGAS DE CONCRETO ARMADO .....	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	19
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	19
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	19
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	19
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	19
2.3 PRESSUPOSTO .....	20
2.4 DELIMITAÇÕES .....	20
2.5 LIMITAÇÕES .....	20
2.6 DELINEAMENTO .....	20
<b>3 AÇÕES</b> .....	23
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS AÇÕES .....	23
<b>3.1.1 Ações permanentes</b> .....	23
<b>3.1.2 Ações variáveis</b> .....	24
<b>3.1.3 Ações excepcionais</b> .....	24
3.2 VALORES DAS AÇÕES .....	24
<b>3.2.1 Valores característicos</b> .....	24
<b>3.2.2 Valores representativos</b> .....	25
<b>3.2.3 Valores de cálculo</b> .....	25
3.3 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES .....	25
3.4 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES .....	27
<b>4 ESTADOS LIMITES</b> .....	29
4.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO .....	29
4.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO .....	30
<b>4.2.1 Estado limite de abertura de fissuras</b> .....	30
4.2.1.1 Momento de fissuração – $M_r$ – .....	31
4.2.1.2 Estado limite de abertura de fissuras (ELS-W) .....	33
4.2.1.3 Cálculo da abertura característica da fissura .....	34
4.2.1.4 Cobrimento da armadura .....	37
<b>4.2.2 Estado limite de deformações excessivas</b> .....	37

4.2.2.1 Deslocamentos limites .....	38
4.2.2.2 Estado limite de deformação excessiva (ELS-DEF) .....	40
4.2.2.3 Cálculo da flecha aproximada em vigas .....	41
<b>5 ETAPAS DE CÁLCULO .....</b>	<b>45</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS .....	45
5.2 ENTRADA DOS DADOS .....	51
<b>5.2.1 Tipo de carregamento e uso da edificação .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.2 Dimensão da viga e pontos de aplicação da carga .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.3 Tipo de concreto e dimensões da seção .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.4 Diâmetro, área e posicionamento da armadura, área de envolvimento de concreto, tipo de barra de aço e classe de agressividade ambiental .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.5 Tempo de aplicação do carregamento .....</b>	<b>53</b>
5.3 ETAPAS DE CÁLCULO .....	53
<b>5.3.1 Combinações de serviço .....</b>	<b>54</b>
<b>5.3.2 Momento fletor .....</b>	<b>54</b>
<b>5.3.3 Momento de fissuração e abertura da fissura .....</b>	<b>56</b>
<b>5.3.4 Deslocamento .....</b>	<b>56</b>
<b>5.3.5 Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I .....</b>	<b>57</b>
<b>5.3.6 Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio II .....</b>	<b>58</b>
<b>6 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA .....</b>	<b>60</b>
6.1 TELA INICIAL – CARREGAMENTO .....	60
6.2 SEGUNDA TELA – MOMENTO DE SERVIÇO .....	63
6.3 TERCEIRA TELA – VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO .....	65
6.4 QUARTA TELA – VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO .....	70
6.5 MENUS .....	74
<b>7 EXEMPLO NUMÉRICO .....</b>	<b>77</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>82</b>
REFERÊNCIAS .....	84





## 1 INTRODUÇÃO

No caso das deformações excessivas, vários fatores influenciam as propriedades de deformação dos elementos de concreto armado, como a taxa de armadura, tipo e intensidade do carregamento, temperatura e umidade do ambiente, etc. O controle das deformações e da fissuração, nas normas de projeto, é feito através da verificação dos estados limites de serviço.

Segundo Süsssekind (1983, p. 55):

[...] o objetivo do cálculo de uma estrutura em concreto armado é o de se garantir, [...]: uma adequada segurança contra a ruptura provocada pelas solicitações; a limitação das deformações oriundas das ações atuantes, de tal forma a não se ver comprometido seu próprio uso, e, finalmente, a adoção de providências visando a evitar a corrosão e a garantir sua durabilidade (o que, em termos práticos, significa situar dentro de limites aceitáveis a abertura e o espaçamento das fissuras na peça de concreto).

A importância da verificação dos estados limites de serviço também é abordada por Pfeil (1978, p. 1) através da seguinte afirmação:

A filosofia do dimensionamento na ruptura está em provar que as cargas em serviço, multiplicadas por um certo coeficiente de segurança, são inferiores à carga capaz de romper ou inutilizar a peça. Satisfeita esta condição, devemos ainda assegurar-nos de que a estrutura terá um bom comportamento sob as cargas em serviço, não apresentando fissuração ou deformações exageradas. [...].

Portanto, para se projetar uma estrutura com um adequado grau de segurança é necessário a verificação da não ocorrência de uma série de estados limites. Os estados limites são classificados em estados limites últimos e de serviço. Os estados limites últimos (ELU) referem-se à máxima capacidade portante da estrutura. Os estados limites de serviço (ELS) correspondem a situações de uso normal da estrutura e estão relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e a boa utilização funcional da mesma, seja em relação aos usuários, seja às máquinas e aos equipamentos utilizados.

Os estados limites de serviços, que serão abordados neste trabalho, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5), são:

- a) **o estado limite de abertura de fissuras:** é o estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados por norma e que podem ser prejudiciais ao uso ou à durabilidade da peça de concreto;
- b) **o estado limite de deformações excessivas:** é o estado em que as deformações ultrapassam os limites máximos definidos por norma e aceitáveis para a utilização normal da estrutura.

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um programa computacional com a finalidade de automatizar os procedimentos de verificação dos estados limites de serviço citados acima para uma viga de concreto armado, conforme as recomendações da norma NBR 6118/2007 – Projeto de Estruturas de Concreto –. O programa foi implementado na linguagem de programação do Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition, que possibilita uma entrada de dados amigável, numa tela típica do ambiente Windows, ou seja, de fácil utilização. Este trabalho tem a pretensão de auxiliar estudantes de Engenharia na aprendizagem e compreensão dos fenômenos de fissuração e deformação em vigas de concreto armado e, também, facilitar a análise de projetos quantificando os efeitos causados por modificações na estrutura.

## 1.1 CONCRETO ARMADO

Dentre os materiais estruturais empregados na construção das edificações, sem dúvida o concreto é o que apresenta a maior versatilidade de utilização nos tempos atuais. O concreto armado é um material que se adapta a qualquer forma estrutural, devido a sua própria composição, atendendo a inúmeras concepções arquitetônicas, como é possível observar nas edificações existentes pelo mundo.

Botelho e Marchetti (2008, p. 11) afirmam que “Uma estrutura de concreto armado [...] é uma ligação solidária (fundida junta) de concreto (que nada mais é do que uma pedra artificial composta por pedra, areia, cimento e água), com uma estrutura resistente à tração, que em geral é o aço.”.

A utilização em larga escala do concreto armado se deve às suas inúmeras qualidades. De acordo com Süsskind (1983, p. 5):

As grandes vantagens do concreto armado, [...], são as seguintes:

- a) economia, basicamente a mais importante dentre todas. O concreto (armado ou protendido) se revela mais barato que a solução metálica (antes adotada) em praticamente todos os casos, só perdendo para ela em casos de vãos excessivamente grandes [...];
- b) adaptação a qualquer tipo de forma e facilidade de execução, permitindo total liberdade à concepção arquitetônica, estrutural e de método construtivo,[...];
- c) excelente solução para se obter – de modo direto e sem necessidade de posteriores ligações – uma estrutura monolítica, hiperestática, apresentando, por esta razão, maiores reservas de segurança;
- d) manutenção e conservação praticamente nulas, em associação a grande durabilidade;
- e) resistência a efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos.

Montoya et al. (2000, p. 160) também apresentam como vantagens do concreto armado a facilidade que este material tem de se adaptar a várias formas, bem como a facilidade de execução e sua durabilidade e resistência ao fogo que são superiores a outros materiais. Entretanto, apesar de o concreto armado apresentar todas essas vantagens é preciso que se tenha uma atenção especial no projeto e na execução de estruturas que se utilizam desse material. O emprego de uma bitola ou de uma distribuição de armaduras inadequadas, bem como a não observação dos fatores de agressividade ambiental, podem levar a edificação a apresentar algum tipo de deterioração.

## 1.2 VIGAS DE CONCRETO ARMADO

As vigas são elementos estruturais lineares, que fazem parte de sistemas portantes, como por exemplo, edificações e pontes e que têm por finalidade suportar diversas cargas aplicadas em sua extensão e transmiti-las aos apoios externos. Como o concreto é um material que apresenta pequena resistência à tração, as vigas de concreto armado são dimensionadas de forma que sua armadura longitudinal resista aos esforços de tração exercidos sobre a viga. Segundo Botelho e Marchetti (2008, p. 7), “Os antigos utilizavam à larga a pedra como material de construção, [...]. Quando a pedra era usada como viga para vencer vãos de médio porte [...] surgiam forças de tração (na parte inferior) e a pedra rompia.”.

Botelho e Marchetti (2008, p. 8) ainda afirmam que “Quando o homem passou a usar o concreto [...], a limitação era a mesma. As vigas de eixo reto eram limitadas no seu vão pelo esforço de tração máximo que podia suportar, tração essa que surgia no trecho inferior da viga.”. As vigas de concreto armado se tornaram elementos estruturais de grande importância para Engenharia, pois através delas foi possível vencer grandes vãos em edificações e pontes, pois as barras de aço das mesmas passaram a suportar a tração na parte inferior, onde o concreto não resiste.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este projeto de pesquisa está estruturado em oito capítulos como detalhado a seguir.

O primeiro capítulo, que é a **Introdução** do trabalho, apresenta uma descrição geral do conteúdo da pesquisa, bem como, uma breve definição do material e do tipo de elemento a ser considerado no trabalho proposto. O capítulo 2 descreve a questão de pesquisa e seus objetivos, juntamente com as limitações, delimitações e delineamento da mesma.

Os capítulos 3 e 4 apresentam a revisão bibliográfica dos parâmetros relacionados ao cálculo de verificação dos estados limites de serviço. No capítulo 5 é feita a descrição do algoritmo do programa. O capítulo 6 apresenta a forma de utilização do programa, bem como, suas telas principais. No capítulo 7 são dados alguns exemplos de cálculo, que foram resolvidos com a utilização do programa. Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as considerações finais e sugestões para continuidade do trabalho.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

Neste capítulo são apresentados a questão de pesquisa, os objetivos, o pressuposto, as delimitações, as limitações e o delineamento desta pesquisa.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa é: qual seria uma rotina computacional adequada para a verificação dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Esta pesquisa apresenta objetivo principal e secundário como descrito a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a criação de um software que, através dos parâmetros definidos pelo engenheiro, faça a verificação automatizada dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado conforme as recomendações da literatura especializada e das normas vigentes.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) descrição dos procedimentos para a determinação dos deslocamentos transversais máximos em vigas de concreto armado;

- b) descrição dos procedimentos para prever a abertura de fissuras em vigas de concreto armado.

## 2.3 PRESSUPOSTO

Como pressuposto básico da pesquisa, admitiu-se válidas as especificações da NBR 6118/2007 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

A pesquisa ficou delimitada ao estudo e desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o cálculo de verificação dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado.

## 2.5 LIMITAÇÕES

As limitações da pesquisa são:

- a) escolha de uma linguagem de programação para facilitar o desenvolvimento do programa, bem como, a utilização pelo usuário, sendo escolhida a do Microsoft Visual Basic;
- b) o trabalho ficou limitado ao cálculo de vigas de concreto armado de seção retangular;
- c) no carregamento da estrutura, o trabalho ficou limitado, a consideração de cargas momento e do tipo força concentrada ou uniformemente distribuída no sentido vertical.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) compreensão e análise do problema de pesquisa;
- c) desenvolvimento dos modelos de cálculo;
- d) desenvolvimento do software;
- e) validação do software;
- f) considerações finais.

A pesquisa foi realizada segundo a sequência de etapas apresentada na figura 1. Cada etapa é detalhada a seguir.

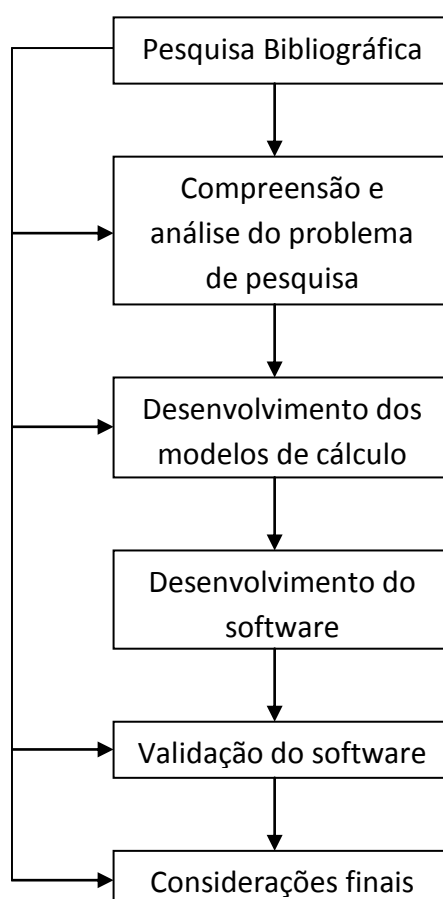


Figura 1: etapas da pesquisa

Primeiramente, foi realizada a pesquisa bibliográfica, que teve como objetivo o aprofundamento na questão de pesquisa, buscando-se métodos apresentados na norma técnica e na bibliografia técnica, visando à obtenção de dados consistentes relativos ao problema. A

fase de compreensão e análise do problema de pesquisa consistiu na compreensão do problema e dos fatores envolvidos para a sua resolução.

Em seguida, foi executada a etapa de desenvolvimento dos modelos de cálculo, que visou à determinação dos métodos para a resolução do problema. Nesta etapa foram fixados os parâmetros e as faixas de variação das variáveis do problema, tais como, tipos de aço, tipos de concreto, etc.

Após, foi iniciada a fase de desenvolvimento do software. Nesta etapa foi desenvolvida a programação dos métodos de cálculo dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado. A programação consistiu, basicamente, na criação dos algoritmos, bem como as interfaces do programa com o usuário no ambiente de desenvolvimento da linguagem de programação.

Na etapa de validação do software foi feita uma revisão de todos os algoritmos e em seguida uma série de simulações de casos reais de cálculo de estados limites em vigas de concreto armado. A etapa final do trabalho consistiu no fechamento da pesquisa com o estabelecimento das considerações finais.



## 3 AÇÕES

Denomina-se ação a todo agente capaz de produzir estados de tensão ou deformação em uma estrutura qualquer. Neste capítulo são abordados a classificação, os valores, os coeficientes de ponderação e a combinação das ações.

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS AÇÕES

As ações são classificadas, conforme descrito a seguir, em permanentes, variáveis e excepcionais.

#### 3.1.1 Ações permanentes

Ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores praticamente constantes, ou com pequena variabilidade, ao longo de toda a vida útil da estrutura. Essas ações devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança e segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 52) são divididas em:

- a) **ações permanentes diretas**: são constituídas pelo peso próprio da estrutura, dos elementos construtivos fixos, das instalações e outras como equipamentos e empuxos;
- b) **ações permanentes indiretas**: são constituídas por deformações impostas por retração do concreto, fluência, recalques de apoios, imperfeições geométricas e protensão.

### 3.1.2 Ações variáveis

São aquelas que variam de intensidade de forma significativa ao longo da vida útil da estrutura, podendo ou não atuar. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 56-57) são classificadas em:

- a) **ações variáveis diretas**: são constituídas por cargas acidentais previstas para o uso da estrutura, vento, chuva, e outras, sendo que algumas delas são objetos de normas específicas;
- b) **ações variáveis indiretas**: são causadas pelas variações de temperatura, podendo ser uma variação uniforme ou não, ou por ações dinâmicas, o que é o caso das construções sujeitas a choques ou vibrações.

### 3.1.3 Ações excepcionais

São ações de duração extremamente curta e com muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da estrutura, cujos efeitos não podem ser controlados. A avaliação dessas ações deverá ser feita, em cada caso particular, por norma específica.

## 3.2 VALORES DAS AÇÕES

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 57-58) as ações são definidas por seus valores:

- a) característicos;
- b) representativos;
- c) de cálculo.

### 3.2.1 Valores característicos

Os valores característicos  $F_k$  das ações são estabelecidos em função da variabilidade de suas intensidades. Para as ações permanentes com efeitos desfavoráveis para a estrutura (caso dos

edifícios) o valor característico corresponde a 95% da respectiva distribuição de probabilidade, enquanto no caso em que a ação permanente for favorável, o valor corresponde a 5% da respectiva distribuição de probabilidade. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 57), “Os valores característicos  $F_{qk}$  das ações variáveis [...] indicados em normas específicas, como a NBR 6120/1980, correspondem a valores que tem de 25% a 35% de probabilidade de serem ultrapassados no sentido desfavorável, durante um período de 50 anos.”.

### 3.2.2 Valores representativos

Para verificação dos estados limites de serviço utilizam-se valores reduzidos, denominados representativos, que são determinados a partir dos valores característicos pelas equações  $\psi_1.F_k$  e  $\psi_2.F_k$ , que estimam valores frequentes e quase permanentes, respectivamente, de uma ação que acompanha a ação principal.

### 3.2.3 Valores de cálculo

Os valores de cálculo das ações  $F_d$  são obtidos a partir de valores representativos, multiplicando os mesmos pelos respectivos coeficientes de ponderação  $\gamma_f$  que serão definidos no próximo item.

## 3.3 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 58) determina que “As ações devem ser majoradas pelo coeficiente  $\gamma_f$  [...]”. Este coeficiente de ponderação é determinado, conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 58) pela equação:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} \gamma_{f3} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$\gamma_{f1}$  considera a variabilidade das ações;

$\gamma_{f2}$  considera a simultaneidade de atuação das ações;

$\gamma_{f3}$  considera os desvios gerados nas construções, não explicitamente considerados, e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das solicitações.

Em geral, para os estados limites de serviço, o coeficiente de ponderação é dado por:

$$\gamma_f = 1 \gamma_{f2} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$\gamma_{f2}$  tem valor variável de acordo com a verificação que se deseja fazer, conforme descrito a seguir:

$\gamma_{f2} = 1$  para combinações raras;

$\gamma_{f2} = \psi_1$  para combinações frequentes;

$\gamma_{f2} = \psi_2$  para combinações quase permanentes.

Os valores de  $\psi_1$  e  $\psi_2$  são definidos de acordo com o quadro 1.

Ações		$\gamma_{f2}$		
		$\Psi_0$	$\Psi_1$ <sup>1)</sup>	$\Psi_2$
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>2)</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>3)</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

<sup>1)</sup> Para os valores de  $\Psi_1$  relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23 (NBR6118/2003).  
<sup>2)</sup> Edifícios residenciais.  
<sup>3)</sup> Edifícios comerciais e de escritórios.

Quadro 1: valores dos coeficientes  $\gamma_{f2}$  segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 59)

### 3.4 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 60), “Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período pré-estabelecido.”. Esta combinação deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura e a verificação da segurança em relação aos estados limites últimos e de serviço.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 62) classifica as combinações de serviço da seguinte forma:

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como estabelecido a seguir:

a) **quase permanentes**: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas;

b) **frequentes**: se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser

consideradas para verificações de estados limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;

c) **raras**: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras.

Araújo (2003, p. 194) afirma que:

No caso das estruturas de concreto armado, interessam apenas as combinações quase permanentes e as combinações frequentes das ações. As combinações quase permanentes são utilizadas para a verificação do estado limite de deformações excessivas. As combinações frequentes são empregadas para a verificação do estado limite de abertura das fissuras.

As combinações de serviço usuais estão estabelecidas no quadro 2. Para o caso de fissuras deverão ser consideradas as combinações frequentes, as combinações quase permanentes são utilizadas para o cálculo das deformações, ficando de fora deste trabalho as combinações raras.

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase-permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase-permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase-permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase-permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gk} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor característico $F_{q1k}$ e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\Psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gk} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk}$
$F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço $F_{q1k}$ é o valor característico das ações variáveis principais diretas $\psi_1$ é o fator de redução de combinação frequente para ELS $\psi_2$ é o fator de redução de combinação quase-permanente para ELS		

Quadro 2: combinações de serviço segundo a NBR 6118  
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 62)

## 4 ESTADOS LIMITES

Entende-se que uma estrutura ou parte dela atingiu um estado limite quando a mesma ultrapassa a sua capacidade portante ou quando deixa de satisfazer às condições previstas para a sua utilização. Dessa forma, uma estrutura pode atingir um estado limite de ordem estrutural ou de ordem funcional, que são respectivamente o estado limite último ou o estado limite de serviço (utilização).

Pfeil (1978, p. 3) afirma que “O estado limite último, [...], representa o colapso ou a inutilização da peça. O colapso é produzido pela ruptura de um dos materiais; a inutilização é provocada por uma deformação permanente e exagerada, que torna a peça inservível como estrutura.”. Ainda de acordo com Pfeil (1978, p. 6):

Os estados limites de utilização são condições estabelecidas para garantir o bom comportamento da estrutura sob cargas em serviço. Os principais aspectos desse comportamento são:

a) as peças não devem apresentar deformações exageradas, que são pouco estéticas ou dão impressão de insegurança; as normas fixam valores máximos das flechas sob cargas em serviço;

b) as aberturas das fissuras são limitadas a valores admissíveis, por razões estéticas e para evitar oxidação das armaduras.

Tendo em vista as afirmações do autor, bem como as instruções normativas, pode-se perceber a grande importância da verificação da não ocorrência desses estados limites nas estruturas. Os estados limites serão tratados de forma mais detalhada nos subitens a seguir.

### 4.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4), “O estado limite último é aquele que está relacionado ao esgotamento, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.”. Esse estado corresponde à máxima capacidade portante da estrutura.

## 4.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

O estado limite de serviço corresponde à impossibilidade do uso normal da estrutura, é um estado que está diretamente ligado ao conforto do usuário, bem como à durabilidade da estrutura. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5), os problemas relacionados a esse estado podem se originar de uma das seguintes subdivisões:

- a) **estado limite de formação de fissuras:** é o estado em que existe uma grande possibilidade de iniciar-se a formação das fissuras de flexão;
- b) **estado limite de abertura de fissuras:** corresponde ao estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos limites máximos especificados por norma e que podem ser prejudicial ao uso da peça de concreto;
- c) **estado limite de deformação excessiva:** estado no qual as deformações ultrapassam os limites máximos fixados por norma e aceitáveis para a utilização normal da estrutura;
- d) **estado limite de vibrações excessivas:** neste estado às vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção.

Devido às características do tipo de estrutura a que esse trabalho se refere, este estudo se restringirá à abordagem dos itens b e c, ou seja, as vigas de concreto armado serão verificadas para os estados limites de abertura de fissuras e o de deformações excessivas.

A verificação desses estados limites deve ocorrer, segundo Araújo (2003, p. 193), “[...] separadamente, apesar de haver uma relação íntima entre eles. Assim, o que se procura é a limitação das deformações da estrutura e das aberturas de fissuras na superfície da peça.”.

### 4.2.1 Estado limite de abertura de fissuras

A fissuração num elemento de concreto armado ocorre quando é atingida a tensão de ruptura por tração do concreto. A fissura se forma quando o momento de serviço da viga for maior que o momento de fissuração e é necessário controlar a sua abertura. A abertura de fissuras sofre a influência de aspectos relacionados à sua execução e à ocorrência de deformações causadas por retração do concreto ou por variações de temperatura. Por essas razões os



critérios adotados em norma devem ser encarados como avaliações aceitáveis do comportamento geral do elemento, não garantindo precisão do valor da abertura de uma fissura específica.

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 71), “As fissuras podem [...] ocorrer por outras causas, como retração plástica térmica ou devido a reações químicas internas do concreto nas primeiras idades, devendo ser evitadas ou limitadas por cuidados tecnológicos, especialmente na definição do traço e na cura do concreto.”. O controle das fissuras é uma verificação do estado limite de serviço, ou seja, interessa saber a fissuração que ocorrerá na peça quando esta estiver em utilização e não próxima ao colapso. Este controle é necessário porque a fissuração excessiva em uma peça de concreto armado pode comprometer sua durabilidade.

Nos itens que seguem será apresentado o método de cálculo do momento de fissuração, o cálculo da abertura de fissura, bem como, o valor máximo aceitável pela Norma e também considerações sobre o cobrimento da armadura.

#### 4.2.1.1 Momento de fissuração – $M_r$ –

A formação de fissuras pode ser verificada calculando-se a máxima tensão de tração do concreto no Estádio I, onde o concreto ainda não está fissurado e os materiais apresentam comportamento elástico linear. Quando a tensão normal máxima desenvolvida atingir a tensão normal admitida para o concreto na flexão ( $f_{ct,f}$ ), inicia-se a fissuração e o momento fletor corresponde ao momento de fissuração  $M_r$ .

Para o cálculo deste momento, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 112) sugere a seguinte equação:

$$M_r = (\alpha f_{ct} I_c) / y_t \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$\alpha$  = é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta, sendo igual a 1,2 para seções T ou duplo T e 1,5 para seções retangulares;

$y_t$  = distância do centro de gravidade à fibra mais tracionada da seção;

$I_c$  = momento de inércia da seção bruta de concreto;

$f_{ct}$  = é a resistência à tração direta do concreto e varia de acordo com a verificação que se deseja fazer.

Para a verificação do estado limite de abertura das fissuras e o de deformação excessiva utilizam-se, respectivamente, a resistência do concreto à tração inferior  $f_{ctk,inf}$  e a resistência média  $f_{ctm}$ , que estão expressas nas equações a seguir, definidas na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 22):

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (\text{equação 4})$$

$$f_{ctm} = 0,3 (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

$f_{ck}$  = é a resistência característica do concreto à compressão e deve ser expresso em MPa.

Baseado nas especificações do item 17.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 112), o critério adotado para verificação da possibilidade de fissuração da viga, após conhecidos os momentos de fissuração  $M_r$  e o de serviço  $M_{d,ser}$  que considera a carga atuante na estrutura, será o seguinte:

- a)  $M_{d,ser} \leq M_r$ : viga não fissura;
- b)  $M_{d,ser} > M_r$ : viga fissura, e deve-se controlar a abertura destas fissuras.

#### 4.2.1.2 Estado limite de abertura de fissuras (ELS-W)

Quando o valor da abertura de uma fissura ultrapassar os limites estabelecidos para a utilização normal da estrutura, atinge-se o estado limite de abertura de fissuras. Considera-se como utilização normal o fato da edificação servir para o seu uso previsto.

A abertura limite de fissuras depende da classe de agressividade ambiental do meio e está apresentada no quadro 3. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 16):

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinações de ações em serviço a utilizar
Concreto Armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Quadro 3: exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental, baseado na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 72)

As classes de agressividade ambiental, basicamente, podem ser definidas da seguinte forma:

- a) **classe I** – fraca – ambientes rurais ou submersos;
- b) **classe II** – moderada – ambiente urbano;
- c) **classe III** – forte – ambientes marinhos e industriais;
- d) **classe IV** – muito forte – ambientes industriais quimicamente agressivos e com respingos de maré.

O controle da fissuração tem como objetivo obter um bom desempenho da estrutura, prevenindo a corrosão de armaduras e propiciando a aceitação sensorial dos usuários. Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p.

72) “[...] entende-se por aceitabilidade sensorial a situação em que as fissuras possam causar desconforto psicológico aos usuários, embora não representem perda de segurança da estrutura.”. As estruturas bem projetadas, construídas e submetidas às cargas previstas na normalização, que apresentarem fissuras com aberturas que respeitem os limites do quadro 3, não representam estruturas com perda de durabilidade ou de segurança quanto aos seus estados limites últimos.

A critério do proprietário da obra podem-se estabelecer limites de fissuração mais conservadores, porém deve-se considerar um possível aumento significativo no custo da construção. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 72), “No caso das fissuras afetarem a funcionalidade da estrutura, como, por exemplo, nos caso da estanqueidade de reservatórios, devem ser adotados limites menores [do que aqueles apresentados no quadro 3].”.

#### 4.2.1.3 Cálculo da abertura característica da fissura

Para cada elemento ou grupo de elementos de armadura, que controlam a fissuração do mesmo, deve ser considerada uma área  $A_{cr}$  do concreto de envolvimento, constituída por um retângulo cujos lados não distam mais de  $7\phi$  do contorno do elemento da armadura, onde  $\phi$  é o diâmetro do elemento ou do grupo de elementos em consideração. Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 114), “É conveniente que toda a armadura de pele da viga, na sua zona tracionada, limite a abertura de fissuras em sua área de envolvimento correspondente  $A_{cr}$ , devendo, portanto, ser mantido um afastamento menor ou igual a  $15\phi$  entre suas barras.”.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 115) determina que:

Nas vigas usuais, com altura menor do que 1,2 m, pode-se considerar atendida a condição de abertura de fissuras em toda a pele tracionada, se a abertura de fissuras calculada na região das barras mais tracionadas for verificada e se existir uma armadura lateral que atenda o mínimo estabelecido pela Norma.

Este fato não descarta a possibilidade de obtenção de resultados mais próximos dos exatos se for considerada toda a armadura tracionada da viga. A figura 2 apresenta o concreto de envolvimento da armadura.

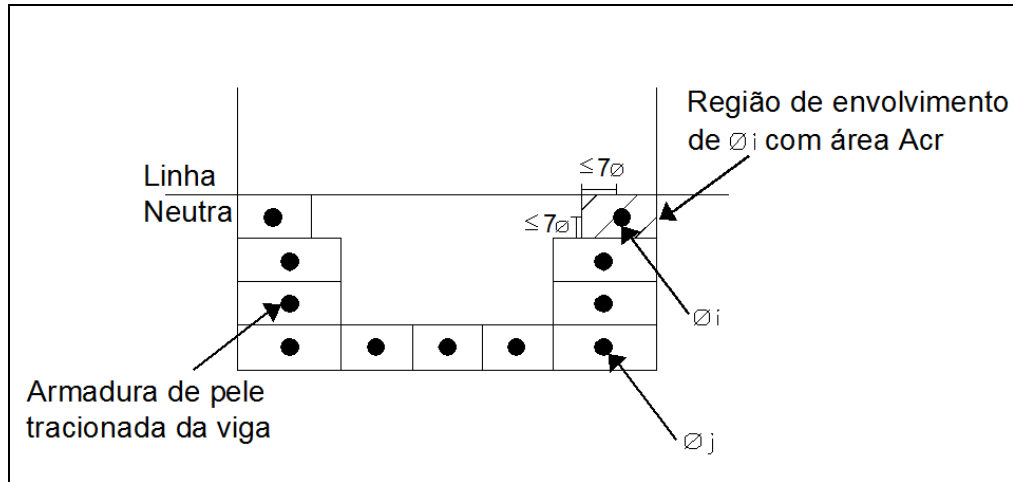


Figura 2: área de concreto da região de envolvimento da armadura, baseada na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 115)

A grandeza da abertura característica da fissura  $w_k$  determinada para cada parte da região de envolvimento, é o menor valor dentre os obtidos pelas equações, conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 115):

$$w_1 = (\phi_i / 12,5 \eta_i) (\sigma_{si} / E_{si}) (3\sigma_{si} / f_{ctm}) \quad (\text{equação 6})$$

$$w_2 = (\phi_i / 12,5 \eta_i) (\sigma_{si} / E_{si}) ((4 / \rho_{ri}) + 45) \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

$\phi_i$  = diâmetro da barra de armadura tracionada;

$\eta_i$  = coeficiente de conformação superficial do elemento considerado, indicado no quadro 4;

$\sigma_{si}$  = tensão na armadura tracionada, calculada para a combinação frequente de serviço e considerando uma relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto igual a 15;

$\rho_{ri} = (A_s / A_{cr})$  - taxa de área dos elementos em relação à área de envolvimento da armadura;

$A_s$  = área de armadura tracionada;

$A_{cr}$  = área de concreto na região de envolvimento da armadura tracionada;

$E_{si}$  = módulo de elasticidade do aço em serviço definido como 210 gigapascal, pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 26);

$f_{ctm}$  = resistência média do concreto à tração direta, definida pela equação 5.

Tipo de barra	Coefficiente de conformação superficial ( $\eta_1$ )
Lisa (CA-25)	1
Entalhada (CA-60)	1,4
Alta aderência (CA-50)	2,25

Quadro 4: coeficiente de conformação superficial, baseado na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 26)

Para que sejam asseguradas as condições de ductilidade e seja respeitado o campo de validade dos ensaios utilizados na prescrição do funcionamento do conjunto aço-concreto, a Norma estabelece valores mínimos para as armaduras. Estas armaduras devem atender a um momento mínimo, correspondente ao que produziria a ruptura de uma seção de concreto simples, supondo, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 22) que a resistência do concreto à tração superior é:

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ctm} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

$f_{ctm}$  = resistência média do concreto à tração direta, definida pela equação 5.

Esta armadura tem por finalidade evitar a ruptura frágil das seções transversais, quando ocorre à formação da primeira fissura. Os critérios de cálculo apresentados para verificação dos valores definidos no quadro 3 estão de acordo com os definidos pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 114-115).

#### 4.2.1.4 Cobrimento da armadura

Dependendo da qualidade e da espessura do concreto de cobertura da armadura, o risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras podem ser mais ou menos elevados. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 18), o cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o comprimento da viga e o cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo ( $c_{\min}$ ) acrescido da tolerância de execução ( $\Delta c$ ), deve ser considerado na elaboração do projeto, bem como, na execução da obra.

O cobrimento da armadura é um dado que deve ser fornecido pelo usuário do programa desenvolvido neste trabalho. Este valor faz parte do cálculo da área envolvente de concreto, para determinação de sua largura no processo de verificação da abertura da fissura. Pelo fato das coordenadas horizontais da barra não serem especificadas em projeto, admite-se que as barras são distribuídas uniformemente ao longo do espaço disponibilizado pelos estribos, descontando o cobrimento e o diâmetro dos estribos.

#### 4.2.2 Estado limite de deformações excessivas

A limitação dos deslocamentos em vigas de concreto armado submetidas à flexão proporciona boas condições estéticas e de conforto ao usuário, além de garantir a funcionalidade de outros elementos estruturais relacionados à mesma. A utilização de concreto de maiores resistências e aços para armadura com maiores tensões de escoamento possibilitou a execução de elementos mais esbeltos e, como consequência, sujeitou os mesmos a maiores deslocamentos. Outro fato que vem tornando as vigas mais suscetíveis a maiores alterações é a utilização de alvenarias mais rígidas executadas com blocos vazados e de maiores dimensões, reduzindo a capacidade das paredes de absorver as deformações.

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 112), “A deformação real da estrutura também depende do processo construtivo, assim como das propriedades dos materiais (principalmente do módulo de elasticidade e da resistência à tração) no momento de sua efetiva solicitação.”. Os deslocamentos em vigas de concreto armado não dependem exclusivamente do carregamento a elas imposto. As deformações que

independem do carregamento não possuem direção definida e são função da variação de volume, causada pela retração, e variação da temperatura. O fenômeno da retração se caracteriza pela redução do volume da massa de concreto e ocorre principalmente pela evaporação da água contida nos poros do concreto.

As deformações, que são devidas ao carregamento, podem ser classificadas em:

- a) **deformação elástica imediata**: que ocorre conforme a aplicação do carregamento e é reversível;
- b) **deformação lenta (fluência)**: deformação que exerce importante influência no valor da flecha total, sendo definida como o aumento de deformação ao longo do tempo sob tensão constante.

A seguir são abordados os deslocamentos limites, o estado limite de deformação excessiva e o cálculo da flecha aproximada em vigas.

#### 4.2.2.1 Deslocamentos limites

Os valores limites de deslocamentos são apresentados no quadro 5, esses valores são considerados como a flecha admissível em um elemento estrutural.



Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell / 250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell / 350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell / 250^{1)}$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell / 350 +$ contraflecha <sup>2)</sup>
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell / 600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell / 500^{3)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell / 250^{3)}$ ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente ( $\psi_1=0,30$ )	$H/1700$ ou $H/850^{5)}$ entre pavimentos <sup>6)</sup>
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell / 400^{7)}$ ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$\ell / 350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$\ell / 175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
	Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.	

<sup>1)</sup> As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

<sup>2)</sup> Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que  $\ell / 350$ .

<sup>3)</sup> O vão  $\ell$  deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

<sup>4)</sup> Rotação nos elementos que suportam paredes.

<sup>5)</sup>  $H$  é a altura total do edifício e  $H_i$  o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

<sup>6)</sup> Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando  $H_i$  representa o comprimento do lintel.

<sup>7)</sup> O valor  $\ell$  refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

**NOTAS**

1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão  $\ell$  suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor  $\ell$  é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Quadro 5: limites para deslocamento, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 70)

Os deslocamentos limites são valores práticos utilizados para a verificação do estado limite de deformações excessivas do elemento estrutural. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 69) classifica os deslocamentos limites da seguinte forma:

- a) **aceitabilidade sensorial**: caracteriza-se por apresentar vibrações indesejáveis ou efeitos visuais desagradáveis;
- b) **efeitos específicos**: quando os deslocamentos impedem a utilização adequada da estrutura;
- c) **efeitos em elementos não estruturais**: ocorrem ao ocasionar deslocamentos estruturais que podem levar ao mau funcionamento de elementos ligados a estrutura, apesar de não fazerem parte da mesma;
- d) **efeitos em elementos estruturais**: quando os deslocamentos forem relevantes para o elemento, seus efeitos sobre as tensões ou estabilidade da estrutura devem ser considerados, levando-os em conta no modelo estrutural.

#### 4.2.2.2 Estado limite de deformação excessiva (ELS-DEF)

A deformação excessiva em uma viga de concreto armado ocorre quando a flecha provável supera o valor da flecha admissível. A verificação dos valores limites deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural. Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 112):

A verificação dos valores limites [...] para a deformação da estrutura [...] deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, ou seja, levem em consideração a presença da armadura, a existência de fissuras no concreto ao longo dessa armadura e as deformações diferidas no tempo.

A deformação real da estrutura depende também do processo de execução da peça, assim como das propriedades dos materiais no momento de sua efetiva solicitação. Levando em consideração os parâmetros citados, existe uma grande variabilidade das deformações reais, portanto, não se pode esperar grande precisão nas previsões de deslocamentos dadas pelos processos analíticos do método de cálculo.

#### 4.2.2.3 Cálculo da flecha aproximada em vigas

O modelo de comportamento em serviço de uma estrutura de concreto armado admite que os materiais se comportem de maneira elástica e linear. As seções, ao longo do elemento estrutural, podem ter as deformações específicas determinadas no Estádio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no Estádio II, em caso contrário. Para a realização do cálculo da flecha aproximada a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 23) indica que deve ser utilizado o valor do módulo de elasticidade secante  $E_{cs}$  dado pela equação:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

$E_{ci}$  = módulo de deformação tangente inicial.

Quando não existirem dados mais precisos sobre o concreto utilizado ou dados de ensaio, o valor de  $E_{ci}$  pode ser estimado pela equação:

$$E_{ci} = 5600 (f_{ck})^{1/2} \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

$f_{ck}$  = é a resistência característica do concreto à compressão e deve ser expresso em MPa.

A flecha imediata das vigas varia de acordo com o tipo de carga ao qual está submetida, porém para a avaliação da flecha utiliza-se no seu respectivo cálculo o valor de uma rigidez equivalente dada pela seguinte equação sugerida pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113):

$$(EI)_{eq} = E_{cs} \{ (M_r / M_a)^3 I_c + [1 - (M_r / M_a)^3 I_{II}] \} \leq E_{cs} I_c \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

$I_c$  = momento de inércia da seção bruta de concreto;

$I_{II}$  = momento de inércia da seção fissurada de concreto no Estádio II;

$M_a$  = momento fletor na seção crítica do vão considerado, momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações considerada na avaliação;

$M_r$  = momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;

$E_{cs}$  = módulo de elasticidade secante do concreto.

As cargas de longa duração, em função da fluência, geram uma flecha adicional que pode ser calculada, aproximadamente, pela multiplicação da flecha imediata pelo fator  $\alpha_f$  que é dado pelas equações indicadas na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113):

$$\alpha_f = \Delta\xi / (1 + 50\rho') \quad (\text{equação 12})$$

$$\rho' = A'_s / (b d) \quad (\text{equação 13})$$

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad (\text{equação 14})$$

$$\xi(t) = 0,68 (0,996^t) t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses} \quad (\text{equação 15})$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses} \quad (\text{equação 16})$$

Onde:

$\rho'$  = taxa geométrica de armadura longitudinal comprimida;

$A'_s$  = área de armadura de compressão no trecho considerado;

$b$  = largura da seção da viga;

$d$  = altura útil da viga;

$\xi$  = coeficiente função do tempo de duração da carga, pode ser calculado pelas equações acima ou retirado do quadro 6;

$t$  = tempo, em meses, de quando se deseja o valor da flecha diferida;

$t_0$  = idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração.

<b>Tempo (t) meses</b>	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	$\geq 70$
<b>Coefficiente <math>\xi(t)</math></b>	0	0,54	0,68	0,84	0,95	1,04	1,12	1,36	1,64	1,89	2

Quadro 6: valores do coeficiente  $\xi$  em função do tempo, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113)

Quando as parcelas de carga de longa duração forem aplicadas em idades diferentes, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 114) admite que se pode estimar  $t_0$  através da equação a seguir:

$$t_0 = \sum P_i t_{0i} / \sum P_i \quad (\text{equação 17})$$

Onde:

$P_i$  = são as parcelas de carga;

$t_{0i}$  = é a idade em que se aplicou cada parcela  $i$ , em meses.

Baseado nas especificações do item 17.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 112) o critério adotado para verificação da ocorrência de deformação excessiva da viga, após conhecidas a flecha provável  $f_{pr}$  e a admissível  $f_{adm}$ , será o seguinte:

a)  $f_{pr} \leq f_{adm}$ : viga não deforma excessivamente;

b)  $f_{pr} > f_{adm}$ : viga deforma excessivamente.

Os valores das flechas admissíveis são calculados conforme o quadro 5.

## 5 ETAPAS DE CÁLCULO

Neste capítulo será abordado o algoritmo do programa para a verificação dos estados limites de serviço.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

Para verificação do estado limite de abertura de fissuras determina-se a abertura característica das fissuras  $w_k$ . Este valor é definido como o menor dentre os calculados pelas equações 6 e 7 apresentadas no capítulo 4. O valor característico da abertura de fissuras deve ser menor do que a abertura admissível, que varia de acordo com a agressividade ambiental.

A agressividade do meio ambiente, no qual a peça analisada está inserida, deve ser classificada de acordo com o quadro 7. Em função da classe de agressividade ambiental é fixado o valor limite de abertura das fissuras, conforme estabelecido pelo quadro 3, apresentado no capítulo 4, desse trabalho.

Classe de agressividade ambiental (CAA)	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1),2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1),2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1),3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em região de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas da chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose ou papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Quadro 7: classes de agressividade ambiental, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 16)

A verificação do estado limite de deformações excessivas é realizada a partir do cálculo da flecha de curta duração, de acordo com o carregamento aplicado. A figura 3 ilustra um deslocamento em função da posição  $x$  devido a uma carga genérica, exemplificando como serão calculadas as deformações neste trabalho. As equações 18 e 19 representam a flecha imediata da carga concentrada; as equações 20, 21 e 22 representam a da carga distribuída; a equação 23 representa a do momento à esquerda e a equação 24 representa a do momento à direita. As figuras 4, 5 e 6 apresentam as integrais de onde as equações 18 à 24 foram deduzidas.

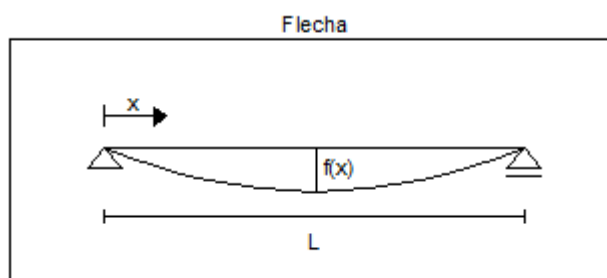


Figura 3: deformação da viga, na posição  $x$ , em função de uma carga genérica



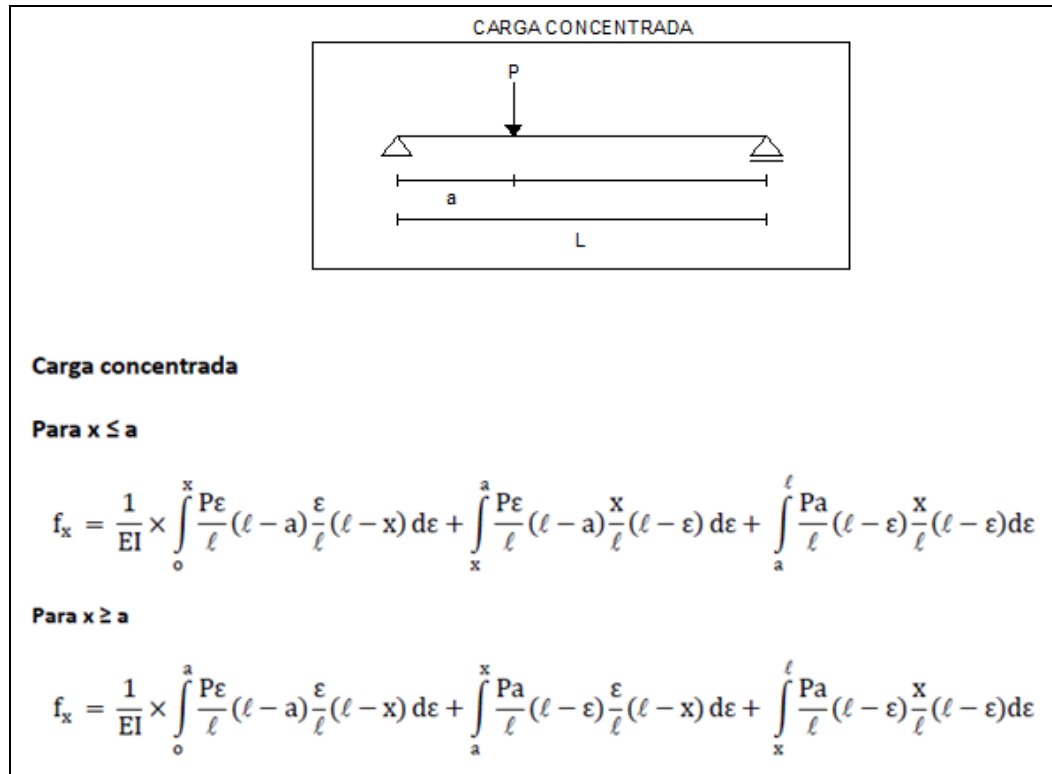


Figura 4: integrais para dedução das equações de deslocamento da carga concentrada

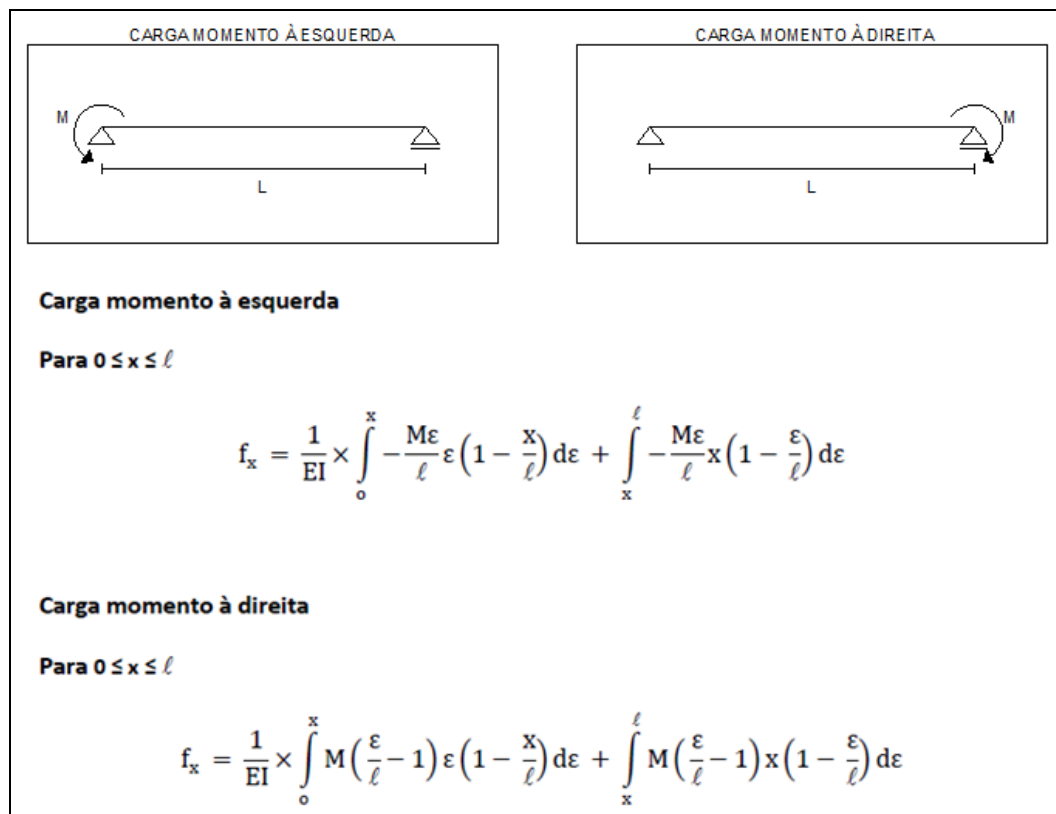
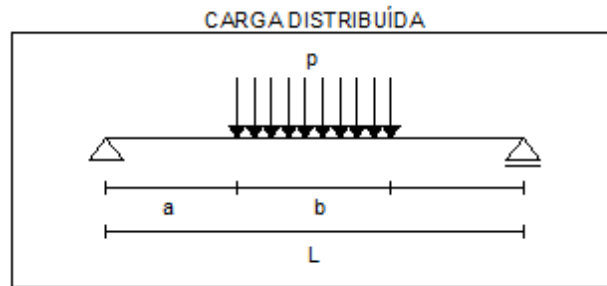


Figura 5: integrais para dedução das equações de deslocamento das cargas momento



### Carga distribuída

Para  $0 \leq x \leq a$

$$\begin{aligned}
 f_x = \frac{1}{EI} \times & \int_0^x \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon + \int_x^a \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_a^{a+b} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - p \frac{(\varepsilon - a)^2}{2} x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_{a+b}^{\ell} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - pb \left( \varepsilon - a - \frac{b}{2} \right) x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon
 \end{aligned}$$

Para  $a \leq x \leq b$

$$\begin{aligned}
 f_x = \frac{1}{EI} \times & \int_0^a \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon + \int_a^x \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - p \frac{(\varepsilon - a)^2}{2} \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_x^{a+b} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - p \frac{(\varepsilon - a)^2}{2} x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_{a+b}^{\ell} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - pb \left( \varepsilon - a - \frac{b}{2} \right) x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon
 \end{aligned}$$

Para  $b \leq x \leq \ell$

$$\begin{aligned}
 f_x = \frac{1}{EI} \times & \int_0^a \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon + \int_a^{a+b} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - p \frac{(\varepsilon - a)^2}{2} \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_{a+b}^x \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - pb \left( \varepsilon - a - \frac{b}{2} \right) \varepsilon \left( 1 - \frac{x}{\ell} \right) d\varepsilon \\
 & + \int_x^{\ell} \frac{pb\varepsilon}{\ell} \left( \ell - a - \frac{b}{2} \right) - pb \left( \varepsilon - a - \frac{b}{2} \right) x \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\ell} \right) d\varepsilon
 \end{aligned}$$

Figura 6: integrais para dedução das equações de deslocamento da carga distribuída

As equações são:

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (-Px/6 + Px^3/a/6\ell + Pxa^3/6\ell - Pxa^2/2 + Pa\ell x/3) \quad (\text{para } x \leq a) \quad (\text{equação 18})$$

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (-Pa^3/6 + Pxa^3/6\ell + Px^3a/6\ell - Pax^2/2 + Pa\ell x/3) \quad (\text{para } x \geq a) \quad (\text{equação 19})$$

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (pbx^3a/6\ell - pxb^3/6 + x\ell pba/3 - pa^2xb/2 - pbx^3/6 + pb^2x^3/12\ell + pxb^4/24\ell - pxab^2/2 + x\ell pb^2/6 + pbxa^3/6\ell + pb^2xa^2/4\ell + pxab^3/6\ell) \quad (\text{equação 20})$$

(para  $0 \leq x \leq a$ )

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (-pxa^3/6 + pa^2x^2/4 - pax^3/6 + pbx^3a/6\ell - pxb^3/6 + x\ell pba/3 - pa^2xb/2 - pbx^3/6 + pb^2x^3/12\ell + pxb^4/24\ell - pxab^2/2 + x\ell pb^2/6 + pbxa^3/6\ell + pb^2xa^2/4\ell + pxab^3/6\ell + px^4/24 + pa^4/24) \quad (\text{equação 21})$$

(para  $a < x \leq b$ )

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (-pb^2x^2/4 - pab^3/6 - pa^2b^2/4 + pbx^3a/6\ell + x\ell pba/3 + pb^2x^3/12\ell + pxb^4/24\ell + x\ell pb^2/6 - pba^3/6 + pbxa^3/6\ell + pb^2xa^2/4\ell + pxab^3/6\ell - pbax^2/2 - pb^4/24) \quad (\text{equação 22})$$

(para  $b < x \leq \ell$ )

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (Mx^3/6\ell - M\ell x/6) \quad (\text{equação 23})$$

$$f_{(x)} = (1/E_{cs}I) * (-Mx^3/6\ell + Mx^2/2 - M\ell x/3) \quad (\text{equação 24})$$

Onde:

P: carga concentrada em kN;

p: carga distribuída em kN/cm;

M: carga momento em kN.cm;

I: momento de inércia da seção, podendo ser  $I_1$  ou  $I_{eq}$ ;

$E_{cs}$ : módulo de elasticidade secante do concreto;

$\ell$ : comprimento da viga em cm;

a: ponto de aplicação da carga concentrada em cm ou início da aplicação da carga distribuída em cm;

b: final da aplicação da carga distribuída em cm;

x: ponto da viga em que se deseja calcular o deslocamento em cm.

A flecha provável que está atuando na viga, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113), é calcula a partir da equação 25:

$$f_{pr} = (1 + \alpha_f) * f_{(x)} \quad (\text{equação 25})$$

Onde:

$f_{(x)}$ : flecha de curta duração definida nas equações 18 à 24;

$\alpha_f$ : definido na equação 12.

## 5.2 ENTRADA DOS DADOS

A seguir serão descritos os dados que deverão ser informados para o programa.

### 5.2.1 Tipo de carregamento e uso da edificação

Para iniciar o cálculo de verificação o usuário deve, primeiramente, informar quais as cargas que estão atuando na viga e o percentual de permanente e variável de cada uma delas. A carga concentrada deve ser fornecida em kN, a distribuída em kN/cm e a momento em kN.cm. Em seguida deve ser selecionado qual o uso da edificação que a viga a ser calculada se encontra.

### 5.2.2 Dimensão da viga e pontos de aplicação da carga

Após o cálculo do carregamento, o programa irá determinar os momentos atuantes na viga devido ao mesmo. Para isso, é preciso que o usuário informe o comprimento da viga em cm e o ponto de aplicação das cargas concentrada e distribuída, também em cm. As figuras 7 e 8 mostram as cargas concentrada e distribuída com seus respectivos pontos de aplicação.

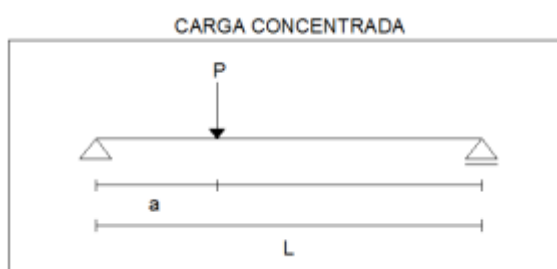


Figura 7: carga concentrada aplicada a uma distância “a” do apoio

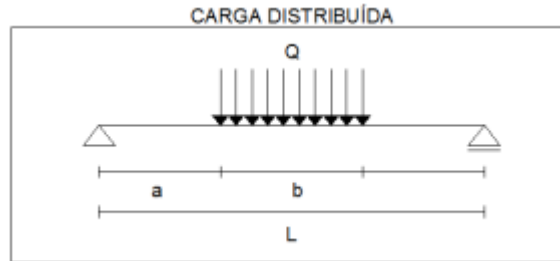


Figura 8: carga distribuída aplicada a uma distância “a” do apoio em um trecho “b”

### 5.2.3 Tipo de concreto e dimensões da seção

A verificação da fissuração ocorrerá após o cálculo do momento máximo que está atuando na viga, para esta verificação o usuário deverá selecionar o tipo de concreto da viga e informar as dimensões da seção, base e altura, em cm. A figura 9 apresenta a seção de uma viga retangular, suas dimensões e o posicionamento das armaduras.

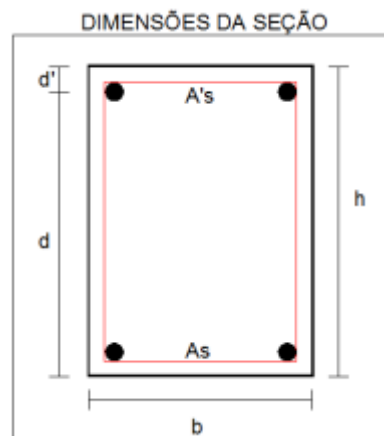


Figura 9: dimensões da seção da viga e posicionamento das armaduras

### 5.2.4 Diâmetro, área e posicionamento da armadura, área de envolvimento de concreto, tipo de barra de aço e classe de agressividade ambiental

Para verificar se a abertura da fissura na viga está de acordo com a NBR 6118/2007, o usuário deverá informar a área de armadura tracionada e comprimida em  $\text{cm}^2$  e o diâmetro da

armadura tracionada em mm. O posicionamento das armaduras, dentro da seção da viga, deverá ser informado em cm. A área de concreto que envolve as barras de armadura tracionada também deve ser informada em  $\text{cm}^2$  e as opções de tipo de barra de aço e classe ambiental deverão ser selecionadas. A figura 10 representa como deve ser calculada a área que envolve as barras de armadura tracionada.

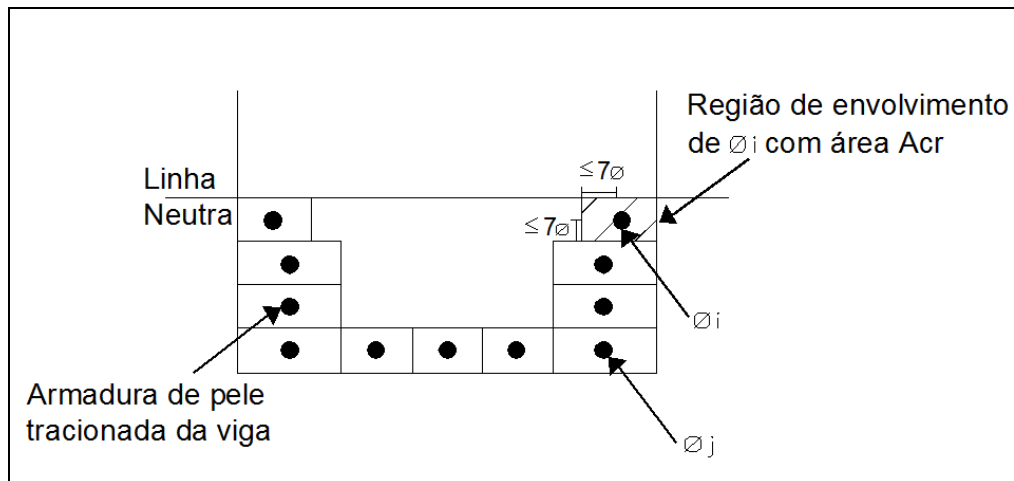


Figura 10: área de concreto que envolve as barras de armadura tracionada

### 5.2.5 Tempo de aplicação do carregamento

Para verificar o deslocamento atuante na viga, conforme a NBR6118/2007, primeiramente o usuário deverá selecionar a opção de deslocamento admissível e realizar o cálculo. Em seguida o tempo de aplicação do carregamento deverá ser informado, em meses, assim como as áreas de armadura tracionada e comprimida, em  $\text{cm}^2$  e o posicionamento das mesmas, em cm.

## 5.3 ETAPAS DE CÁLCULO

A seguir será descrita a ordem de cálculo adotada.

### 5.3.1 Combinações de serviço

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 62) a verificação da fissuração é feita através da combinação frequente de serviço:

$$P_{d,ser} = g + \psi_1 q \quad (\text{equação 26})$$

Onde:

g: carga permanente atuando na estrutura;

q: carga variável atuando na estrutura;

$\psi_1$ : varia de acordo com o quadro 1.

E a verificação do deslocamento é feita através da combinação quase-permanente de serviço:

$$P_{d,ser} = g + \psi_2 q \quad (\text{equação 27})$$

Onde:

g: carga permanente atuando na estrutura;

q: carga variável atuando na estrutura;

$\psi_2$ : varia de acordo com o quadro 1.

### 5.3.2 Momento fletor

O momento fletor atuante da estrutura é calculado de acordo com a carga que está atuando na mesma. As equações de momento foram deduzidas a partir da aplicação de uma carga genérica em uma seção x da viga, conforme ilustra figura 11. Para a carga concentrada o momento é calculado de acordo com as equações 28 e 29; para a carga distribuída de acordo



com as equações 30, 31 e 32; para a carga momento à esquerda de acordo com a equação 33 e para carga momento à direita de acordo com a equação 34.

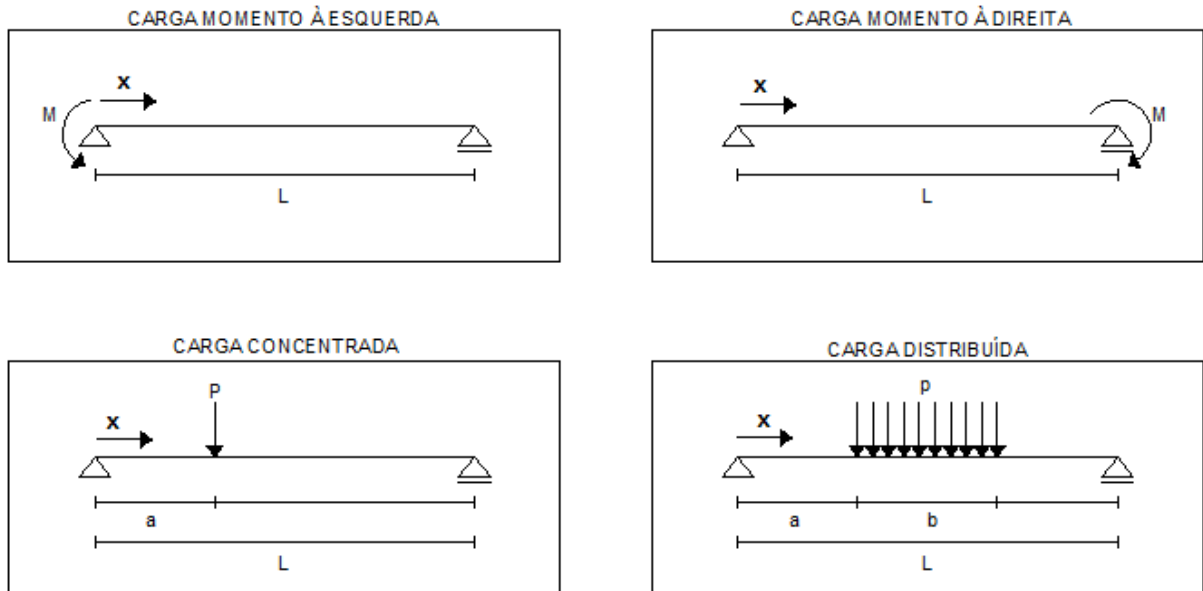


Figura 11: cargas genéricas para dedução do momento fletor em uma seção “x”

As equações são:

$$M_{(x)} = Px/l (\ell - a) \quad (\text{para } x \leq a) \quad (\text{equação 28})$$

$$M_{(x)} = Pa/l (\ell - x) \quad (\text{para } x \geq a) \quad (\text{equação 29})$$

$$M_{(x)} = pbx/l (\ell - a - b/2) \quad (\text{para } 0 \leq x \leq a) \quad (\text{equação 30})$$

$$M_{(x)} = pbx/l (\ell - a - b/2) - p/2 (x - a)^2 \quad (\text{para } a < x \leq b) \quad (\text{equação 31})$$

$$M_{(x)} = pbx/l (\ell - a - b/2) - pb (x - a - b/2) \quad (\text{para } b < x \leq \ell) \quad (\text{equação 32})$$

$$M_{(x)} = M(x/\ell - 1) \quad (\text{equação 33})$$

$$M_{(x)} = -Mx/\ell \quad (\text{equação 34})$$

Onde:

P: carga concentrada em kN;

p: carga distribuída em kN/cm;

M: carga momento em kN.cm;

$\ell$ : comprimento da viga em cm;

a: ponto de aplicação da carga concentrada em cm ou início da aplicação da carga distribuída em cm;

b: final da aplicação da carga distribuída em cm;

x: ponto da viga em que se deseja calcular o momento fletor em cm.

### 5.3.3 Momento de fissuração e abertura da fissura

O momento de fissuração atuante na estrutura é calculado de acordo a equação 3, apresentada no capítulo 4. A abertura da fissura presente na viga é o menor valor calculado pelas equações 6 e 7 que também são apresentadas no capítulo 4, desse trabalho. A abertura admissível varia de acordo com a classe ambiental, conforme o quadro 3, não sendo necessário nenhum cálculo.

### 5.3.4 Deslocamento

O deslocamento admissível é calculado conforme o quadro 5, já o deslocamento presente na estrutura depende das cargas atuantes na mesma e é calculado conforme equações 18 à 24, apresentadas nesse capítulo.

### 5.3.5 Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I

As propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I, ou seja, antes da fissuração, são calculadas considerando-se a seção transversal composta por concreto e aço homogeneizada. A homogeneização desta seção é feita partindo do princípio que a deformação dos dois materiais é a mesma antes da fissuração. Neste caso, a relação entre as tensões desenvolvidas pelo aço e pelo concreto deve ser igual à relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto, que foi simbolizada pela letra  $n$  e de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 115) deve ser igual a 15 para verificação da abertura das fissuras.

Para determinar a distância do centro de gravidade desta seção homogeneizada à sua borda superior (linha neutra) e seu momento de inércia em relação a um eixo horizontal que passe por este centro, utilizam-se, respectivamente, as equações 35 e 36:

$$x = (bh^2/2 + (n - 1)A_s' d' + (n - 1)A_s d) / (bh + (n - 1)A_s' + (n - 1)A_s) \quad (\text{equação 35})$$

$$I_I = bx^3/3 + b(h - x)^3/3 + (n - 1)[A_s(x - d')^2 + A_s(d - x)^2] \quad (\text{equação 36})$$

Onde:

$b$ : largura da viga;

$h$ : altura da viga;

$n$ : relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto ( $n = E_s/E_c$ );

$A_s$ : área de armadura tracionada;

$A_s'$ : área de armadura comprimida;

$d$ : altura útil da seção;

$d'$ : distância da fibra mais comprimida da seção ao centróide da armadura comprimida;

$x$ : profundidade da linha neutra;

$I_I$ : momento de inércia da seção no estágio I.

### 5.3.6 Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio II

A posição da linha neutra e o momento de inércia da seção no estágio II são calculados pelas equações 37 e 38, respectivamente, sendo desprezada a zona de concreto tracionada. Admite-se que apenas as barras de aço e a zona comprimida do concreto absorvem solicitação. As equações são:

$$bx^2/2 + (n - 1)A_s'(x - d') - nA_s(d - x) = 0 \quad (\text{equação 37})$$

$$I_{II} = bx^3/3 + (n - 1)A_s'(x - d')^2 + nA_s(d - x)^2 \quad (\text{equação 38})$$

Onde:

b: largura da viga;

h: altura da viga;

n: relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto ( $n = E_s/E_c$ );

$A_s$ : área de armadura tracionada;

$A_s'$ : área de armadura comprimida;

d: altura útil da seção;

$d'$ : distância da fibra mais comprimida da seção ao centróide da armadura comprimida;

x: profundidade da linha neutra;

$I_{II}$ : momento de inércia da seção no estágio II.

Para o cálculo da flecha de curta duração, quando a viga se encontra no estágio II, é preciso calcular o momento de inércia equivalente, de acordo com as equações 39 e 40:

$$I_c = bh^3/12 \quad (\text{equação 39})$$

$$I_{\text{equ}} = (M_r/M_{\text{ser}})^3 I_c + [1 - (M_r/M_{\text{ser}})^3] I_{\text{II}} \quad (\text{equação 40})$$

Onde:

b: largura da viga;

h: altura da viga;

$I_c$ : momento de inércia da seção bruta de concreto (estádio I);

$M_r$ : momento de fissuração;

$M_{\text{ser}}$ : momento devido ao carregamento de serviço;

$I_{\text{II}}$ : momento de inércia da seção no estágio II.

## 6 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa foi elaborado a partir das recomendações da NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento –, publicada em 2003 e atualizada em 2007, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT –. Ele permite que se verifique o estado limite de abertura de fissuras e o estado limite de deformações excessivas em vigas de concreto armado, de seção retangular, submetidas a forças no sentido vertical do tipo concentrada e distribuída e também de forças do tipo momento. A entrada de dados no programa é feita através das quatro telas presentes no mesmo.

### 6.1 TELA INICIAL – CARREGAMENTO

Na primeira aba do programa, mostrada na figura 12, são calculados os carregamentos permanente e variável atuantes na estrutura, bem como as combinações de cálculo frequente e quase-permanente. Inicialmente deve-se informar as cargas atuantes na estrutura com o seu respectivo percentual de permanência e variabilidade, nos campos presentes em <entrada de dados>. Em seguida, a opção <calcular> em <carregamento> deve ser selecionada.

Para dar seguimento ao cálculo, o usuário deverá selecionar o uso da edificação e a opção <calcular> em <carregamento de serviço> para ter os valores do carregamento de serviço da estrutura, de acordo com cada combinação.

Nessa primeira aba, ainda encontram-se as opções: <limpar tela> que apaga todos os valores para um novo cálculo, <sair> que fecha o programa e <momentos> que dá seguimento ao cálculo, passando para a aba de cálculo dos momentos e levando os dados dos carregamentos para a mesma.

Caso o usuário queira realizar os cálculos para apenas um tipo de carregamento, não será preciso informar os demais como zero, pois o programa automaticamente assume como nulo os carregamentos não preenchidos. O percentual variável da carga também não precisa ser

informado, desde que o permanente esteja devidamente preenchido, pois o programa calcula automaticamente o valor variável a partir do permanente.

Se por algum motivo o usuário digitar, em um dos campos, letras ou qualquer outro caractere que não seja número o cálculo não será realizado e uma mensagem com uma informação do problema ocorrido aparecerá na tela, como mostra a figura 13. O mesmo acontece para o caso do percentual informado pelo usuário ser superior a 100%, como ilustra a figura 14.

The screenshot shows the initial loading screen of a software program. The window title is "PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO". The interface includes a menu bar with "Consultar Tabelas NBR 6118" and "Ajuda". Below the menu bar are tabs for "CARREGAMENTO", "MOMENTO DE SERVIÇO", "VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO", and "VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO". The main area is divided into several sections:

- ENTRADA DE DADOS:** Contains four sub-sections for inputting data:
  - Carga Concentrada:** Fields for "Carga (KN)", "Permanente (%)", and "Variável (%)".
  - Carga Distribuída:** Fields for "Carga (KN/cm)", "Permanente (%)", and "Variável (%)".
  - Momento à esquerda:** Fields for "Carga (KN.cm)", "Permanente (%)", and "Variável (%)".
  - Momento à direita:** Fields for "Carga (KN.cm)", "Permanente (%)", and "Variável (%)".
- CARREGAMENTO:** Contains two sub-sections:
  - Permanente:** Fields for "Concentrada (KN)", "Momento Esq. (KN.cm)", "Distribuída (KN/cm)", and "Momento Dir. (KN.cm)".
  - Variável:** Fields for "Concentrada (KN)", "Momento Esq. (KN.cm)", "Distribuída (KN/cm)", and "Momento Dir. (KN.cm)".
- Uso da edificação:** Radio buttons for "Residencial", "Comercial", and "Biblioteca, arquivos, oficinas, garagem".
- CARREGAMENTO DE SERVIÇO:** Contains two sub-sections:
  - Combinação Quase-Permanente:** Fields for "Concentrada (KN)", "Momento Esq. (KN.cm)", "Distribuída (KN/cm)", and "Momento Dir. (KN.cm)".
  - Combinação Freqüente:** Fields for "Concentrada (KN)", "Momento Esq. (KN.cm)", "Distribuída (KN/cm)", and "Momento Dir. (KN.cm)".

Buttons include "CALCULAR" (Calculate) in the loading sections, "LIMPAR TELA" (Clear Screen) at the bottom left, "MOMENTOS" (Moments) at the bottom center, and "SAIR" (Exit) at the bottom right.

Figura 12: tela inicial – carregamento –

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

**Carga Concentrada**  
Carga (KN) / Permanente (%) / Variável (%)

**Carga Distribuída**  
Carga (KN/cm) 25 / Permanente (%) 60 / Variável (%)

**Momento à esquerda**  
Carga (KN.cm) / Permanente (%) / Variável (%)

**Momento à direita**  
Carga (KN.cm) / Permanente (%) / Variável (%)

**CARREGAMENTO**

**Permanente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Variável**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Combinação Quase-Permanente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Combinação Freqüente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**ATENÇÃO**  
Digite apenas números na carga concentrada.

LIMPAR TELA | MOMENTOS | SAIR

Figura 13: mensagem referente a digitação de letras ou caractere especial

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

**Carga Concentrada**  
Carga (KN) 0 / Permanente (%) 0 / Variável (%) 0

**Carga Distribuída**  
Carga (KN/cm) 25 / Permanente (%) 150 / Variável (%)

**Momento à esquerda**  
Carga (KN.cm) / Permanente (%) / Variável (%)

**Momento à direita**  
Carga (KN.cm) / Permanente (%) / Variável (%)

**CARREGAMENTO**

**Permanente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Variável**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Combinação Quase-Permanente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**Combinação Freqüente**  
Concentrada (KN) / Momento Esq. (KN.cm) / Distribuída (KN/cm) / Momento Dir. (KN.cm)

**ATENÇÃO**  
O percentual permanente não pode ser maior que 100%.

LIMPAR TELA | MOMENTOS | SAIR

Figura 14: mensagem referente ao percentual superior a 100%



## 6.2 SEGUNDA TELA – MOMENTO DE SERVIÇO

Nesta segunda aba do programa são calculados os momentos devido ao carregamento de serviço atuante na estrutura. Os carregamentos já estarão preenchidos, pois as informações da aba anterior são trazidas automaticamente para essa etapa, não sendo possível modificá-las neste ponto. Para calcular os momentos, o usuário deverá informar o comprimento da viga e os pontos de aplicação das cargas, nos campos <entrada de dados fissuração>, conforme indicado nas figuras ao lado de cada campo, na tela do cálculo. Em <entrada de dados deslocamento> não tem nenhum campo de preenchimento, pois o comprimento da viga e os pontos de aplicação das cargas são idênticos ao da fissuração, variando apenas o valor do carregamento porque são utilizadas combinações de cálculo diferentes para cada caso.

Após preencher todas as informações, o usuário deve selecionar <calcular> em <momento de serviço>. Para o cálculo desse momento, o programa divide a viga em 100 partes iguais e calcula o momento em cada uma dessas seções. O valor que o programa apresentará nos campos em vermelho na figura 15, representa o maior valor de momento calculado nas seções consideradas, fazendo a combinação de todas as cargas atuantes na estrutura.

A opção<limpar tela> permite que o usuário apague somente os dados que foram inseridos por ele nesta aba. Para limpar os dados das cargas é preciso selecionar a opção <novo carregamento>. A opção <sair> fecha o programa e a opção<fissuração> dá continuidade ao cálculo, levando para aba seguinte os valores de momento máximo que serão utilizados nas verificações.

Para essa parte do programa também foi desenvolvido um mecanismo que verifica o tipo de dado que foi informado pelo usuário, bem como a falta dele, como pode ser visto nas figuras 16 e 17. Assim como na tela de carregamentos, o programa assume como nulo, nessa etapa, os pontos de aplicação das cargas que estiverem zeradas, não havendo necessidade de preencher esses campos com zeros.

Figura 15: segunda tela – momento de serviço –

Figura 16: mensagem referente a campo em branco na segunda tela

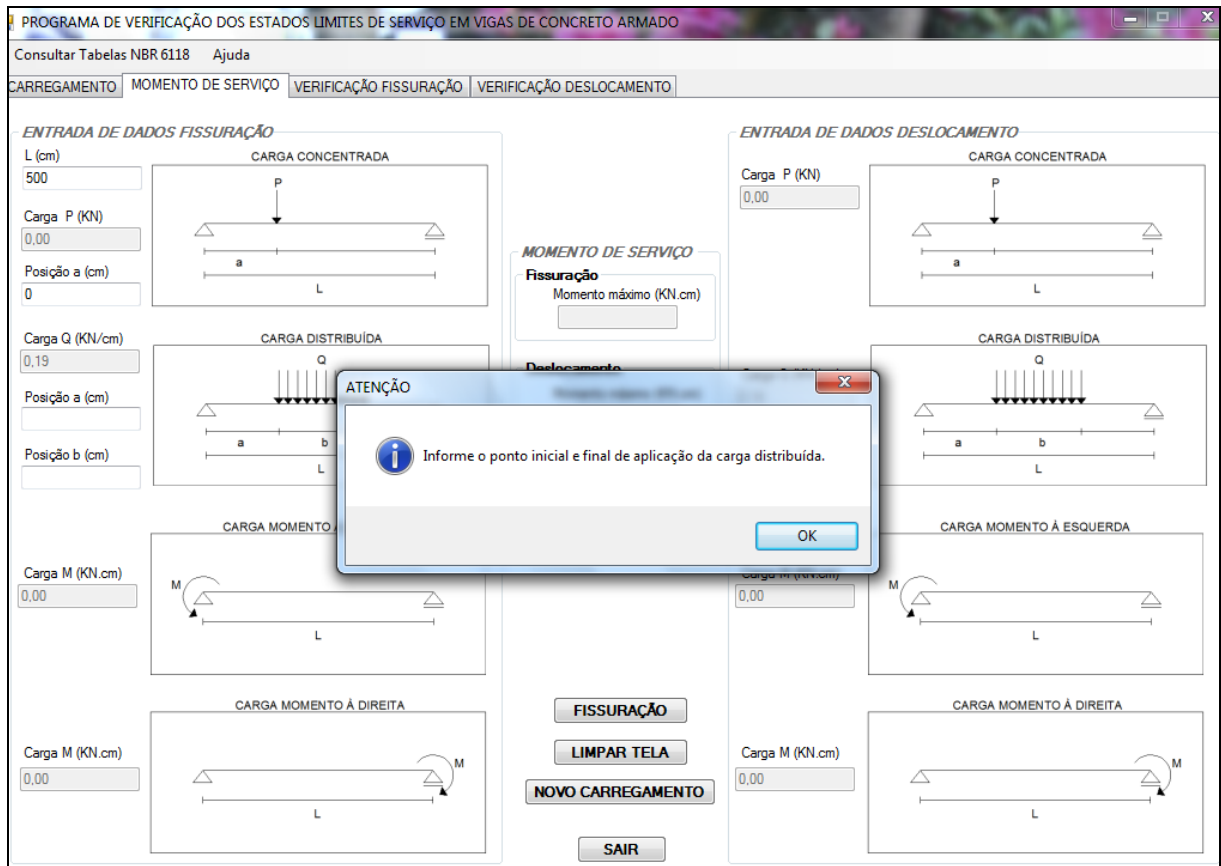


Figura 17: mensagem referente à falta do ponto de aplicação da carga

### 6.3 TERCEIRA TELA – VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO

Para realizar a verificação da fissuração deve-se selecionar o tipo de concreto e preencher os campos referentes às dimensões da seção da viga em <verificação fissuração>. Os campos de momento de serviço, referente à fissuração e deslocamento, já estarão preenchidos com os valores calculados na aba anterior e ficarão inativos, sendo possível modificá-los somente retornando ao início do programa. Em seguida o usuário deverá selecionar a opção <verificar> em <verificação fissuração> e o programa irá fornecer os valores dos momentos de fissuração nos campos em vermelho na figura 18, assim como uma mensagem de verificação como mostra a figura 19.

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

**Tipo de concreto**

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

**Dimensões da seção**

b (cm)   
h (cm)

**Fissuração**

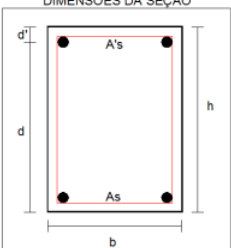
Momento de Serviço (KN.cm)   
**Momento de Fissuração (KN.cm)**

**Deslocamento**

Momento de Serviço (KN.cm)   
**Momento de Fissuração (KN.cm)**

**VERIFICAR**

**DIMENSÕES DA SEÇÃO**



**ENTRADA DE DADOS**

**Dados da armadura**

As (cm<sup>2</sup>)   
A's (cm<sup>2</sup>)   
Diâmetro As (mm)

**Dados da seção**

d (cm)   
d' (cm)   
Acr (cm<sup>2</sup>)

**Classificação ambiental**

Classe I  
 Classe II  
 Classe III  
 Classe IV

**Tipo de barra de aço**

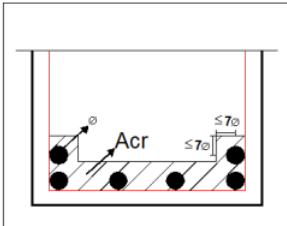
Lisa  
 Dentada  
 Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração  
Abertura da fissura (mm)

**VERIFICAR**

**ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA**



**LIMPAR TELA** **DESLOCAMENTO** **NOVO CÁLCULO** **SAIR**

Figura 18: terceira tela – verificação fissuração –

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

**Tipo de concreto**

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

**Dimensões da seção**

b (cm)   
h (cm)

**Fissuração**

Momento de Serviço (KN.cm)   
**Momento de Fissuração (KN.cm)**

**VERIFICAR**

**ATENÇÃO**

**Viga NÃO fissurada.**

**OK**

**PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

**Tipo de concreto**

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

**Dimensões da seção**

b (cm)   
h (cm)

**Fissuração**

Momento de Serviço (KN.cm)   
**Momento de Fissuração (KN.cm)**

**VERIFICAR**

**ATENÇÃO**

**VIGA FISSURADA! Verifique a abertura da fissura.**

**OK**

Figura 19: mensagens de verificação

Após a verificação, dois eventos são possíveis: se a viga não estiver fissurada aparecerá a mensagem com esta informação e os campos referente ao cálculo da abertura da fissura continuarão inativos, porém se a viga estiver fissurada uma mensagem que solicita a verificação da abertura aparecerá e os campos de cálculo ficarão ativos para preenchimento.

Para o cálculo da abertura da fissura, o usuário deverá informar as áreas de armadura tracionada e comprimida, bem como o seu posicionamento, o diâmetro das barras da armadura tracionada e a área de concreto que envolve essas barras, calculada de acordo com a NBR 6118/2007 como mostra a ilustração na tela do cálculo. Além de preencher as informações citadas acima em <entrada de dados>, o tipo de barra de aço também deverá ser selecionado, assim como a classe de agressividade ambiental.

A fissura admissível pela Norma aparecerá automaticamente, após a seleção da agressividade ambiental, no campo em azul na figura 20 e a fissura presente na estrutura aparecerá no campo em vermelho na figura 20, após ser selecionada a opção <verificar> em <verificação abertura da fissura>. No instante da verificação aparecerá uma mensagem indicando se a fissura é ou não admissível pela NBR 6118/2007, conforme figura 21.

Os dados de momento de serviço e momento de fissuração referente ao deslocamento, conforme figura 22, aparecem nesta página apenas a título de informação, pois a verificação feita nesta etapa utiliza somente os valores referentes à fissuração, por esse motivo, os valores não estão em destaque como os demais. Esses valores de momento serão utilizados na etapa seguinte que verifica o deslocamento.

A opção <limpar tela> apaga todos os dados digitados na página permitindo que sejam feitos novos cálculos, por exemplo, com outras informações de seção, deixando preenchido apenas os momentos de serviço que foram trazidos do cálculo dos momentos. A opção <novo cálculo> retorna ao início do programa, ou seja, tela de cálculo dos carregamentos, a opção <sair> fecha o programa e a opção <verificar deslocamento> permite que o usuário siga para a verificação do deslocamento levando todas as informações da fissuração necessárias para essa verificação.

Assim como nas etapas anteriores, o programa também verifica aqui a falta de informações necessárias para o cálculo, como mostram a figura 23 e 24, bem como o preenchimento incorreto com caractere ou letras.

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

Tipo de concreto

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

Dimensões da seção

b (cm)   
h (cm)

Fissuração

Momento de Serviço (KN.cm)   
Momento de Fissuração (KN.cm)

Deslocamento

Momento de Serviço (KN.cm)   
Momento de Fissuração (KN.cm)

**VERIFICAR**

**DIMENSÕES DA SEÇÃO**

**ENTRADA DE DADOS**

Dados da armadura

As (cm<sup>2</sup>)   
As' (cm<sup>2</sup>)   
Diâmetro As (mm)

Dados da seção

d (cm)   
d' (cm)   
Acr (cm<sup>2</sup>)

Classificação ambiental

Classe I  
 Classe II  
 Classe III  
 Classe IV

Tipo de barra de aço

Lisa  
 Dentada  
 Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração

Abertura da fissura (mm)

**VERIFICAR**

**ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA**

**LIMPAR TELA** **DESLOCAMENTO** **NOVO CÁLCULO** **SAIR**

Figura 20: abertura da fissura admissível e calculada

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

Tipo de concreto

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

Dimensões da seção

b (cm)   
h (cm)

Fissuração

Momento de Serviço (KN.cm)   
Momento de Fissuração (KN.cm)

**VERIFICAR**

**ENTRADA DE DADOS**

Dados da armadura

Dados da seção

Classificação ambiental

Classe I  
 Classe II  
 Classe III  
 Classe IV

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração

Abertura da fissura (mm)

**LIMPAR TELA**

**ATENÇÃO**

Abertura da Fissura Aceitável.

**OK**

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração

Abertura da fissura (mm)

**VERIFICAR**

**LIMPAR TELA**

**ATENÇÃO**

Abertura da Fissura INACEITÁVEL.

**OK**

Figura 21: mensagens de verificação

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

**Tipo de concreto**

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

**Dimensões da seção**

b (cm)   
h (cm)

**Fissuração**

Momento de Serviço (KN.cm)   
Momento de Fissuração (KN.cm)

**Deslocamento**

Momento de Serviço (KN.cm)   
Momento de Fissuração (KN.cm)

VERIFICAR

**ENTRADA DE DADOS**

**Dados da armadura**

As (cm<sup>2</sup>)   
A's (cm<sup>2</sup>)   
Diâmetro As (mm)

**Dados da seção**

d (cm)   
d' (cm)   
Acr (cm<sup>2</sup>)

**Classificação ambiental**

Classe I  
 Classe II  
 Classe III  
 Classe IV

**Tipo de barra de aço**

Lisa  
 Dentada  
 Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração

Abertura da fissura (mm)

VERIFICAR

LIMPAR TELA DESLOCAMENTO NOVO CÁLCULO SAIR

**DIMENSÕES DA SEÇÃO**

**ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA**

Figura 22: campos que serão utilizados somente na verificação de deslocamento

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

**Tipo de concreto**

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

**Dimensões da seção**

b (cm)   
h (cm)

**Fissuração**

Momento de Serviço (KN.cm) 5.937,50  
Momento de Fissuração (KN.cm)

**Deslocamento**

Momento de Serviço (KN.cm) 5.625,00  
Momento de Fissuração (KN.cm)

VERIFICAR

**ENTRADA DE DADOS**

**Dados da armadura**

As (cm<sup>2</sup>)   
A's (cm<sup>2</sup>)   
Diâmetro As (mm)

**Dados da seção**

d (cm)   
d' (cm)   
Acr (cm<sup>2</sup>)

**Classificação ambiental**

Classe IV

**Tipo de barra de aço**

Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)   
Fissuração

Abertura da fissura (mm)

VERIFICAR

LIMPAR TELA DESLOCAMENTO NOVO CÁLCULO SAIR

**DIMENSÕES DA SEÇÃO**

**ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA**

Figura 23: mensagem referente a falta de preenchimento de dados

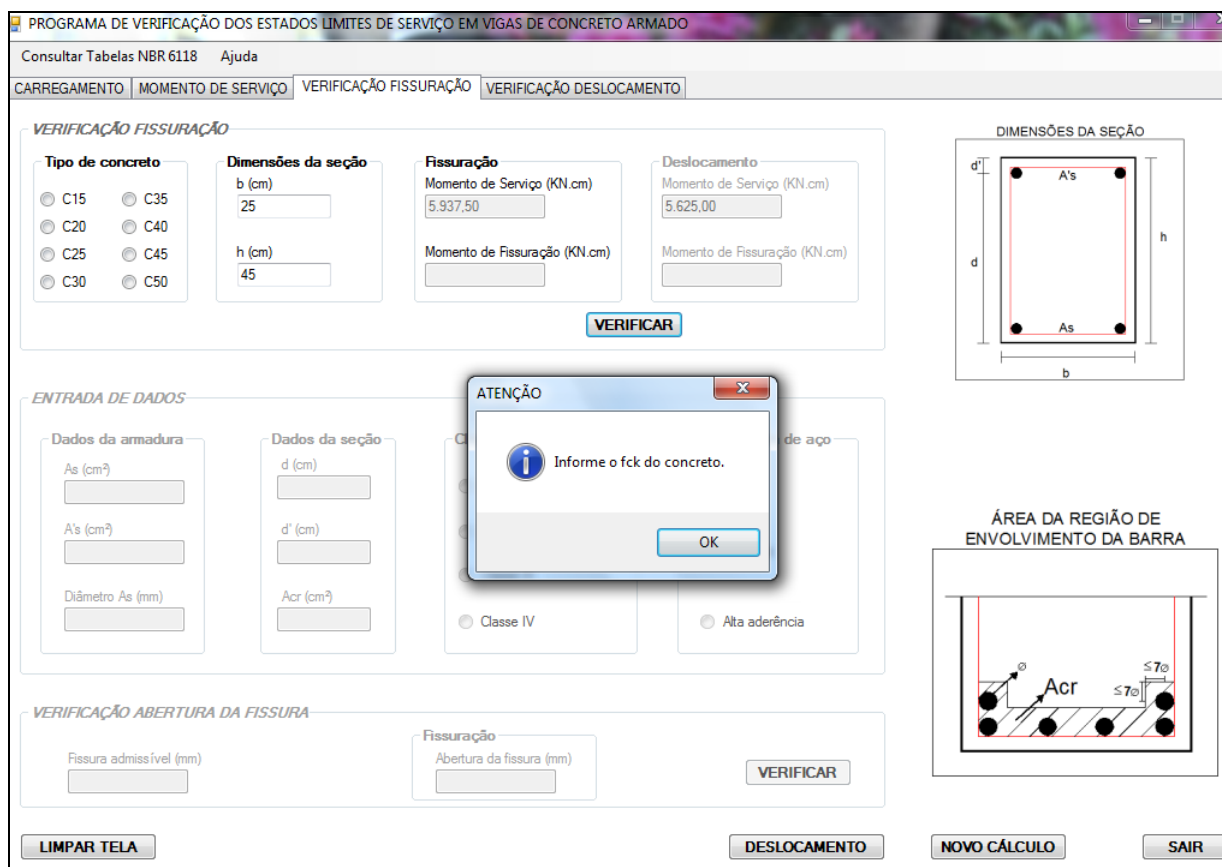


Figura 24: mensagem referente à falta de seleção do tipo de concreto

## 6.4 QUARTA TELA – VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

O primeiro passo para iniciar a verificação do deslocamento é calcular a flecha admissível de acordo com as opções da NBR 6118/2007 em <verificação deslocamento>. O usuário precisa selecionar uma opção e informar os dados necessários, se for o caso, de acordo com a opção escolhida e em seguida selecionar <calcular> em <flecha admissível>. O valor calculado aparecerá no campo em vermelho mostrado na figura 25.

Em seguida o usuário deve informar em <flecha na viga> as áreas de armadura tracionada e comprimida, bem como seu posicionamento e também o tempo de aplicação do carregamento sobre a viga em questão. Caso o resultado obtido na tela anterior <verificação fissuração> tenha sido de uma viga fissurada, os dados referente à armadura e seu posicionamento, que foram informados nessa tela, aparecerão automaticamente no cálculo na flecha, sendo necessário apenas preencher o tempo de aplicação do carregamento.



Os dados do carregamento também serão utilizados nesse cálculo, porém não há opção de preenchimento, pois os mesmos são trazidos automaticamente para a aba de acordo com o que foi informado nas telas anteriores. Os valores da flecha de curta e longa duração serão mostrados nos campos em vermelho da figura 26, após a opção <calcular> ter sido selecionada. No instante da verificação o programa apresenta ao usuário uma mensagem indicando se o deslocamento é aceitável ou não pela NBR 6118/2007, como mostra a figura 27.

A opção <limpar tela> permite ao usuário que ele faça uma nova verificação, modificando a opção de flecha admissível, os dados da armadura e tempo de carregamento, porém não será permitida a modificação do carregamento contido nessa tela. Para realizar essa modificação é necessário selecionar <novo cálculo> e retornar ao início do programa. A opção <sair> fecha o programa. As figuras 28 e 29 mostram que, para essa etapa do programa, também foi desenvolvido um sistema de verificação dos dados que estão sendo informados pelo usuário.

The screenshot shows a software window titled "PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO". The interface is divided into two main sections: "ENTRADA DE DADOS" (Data Entry) and "VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO" (Displacement Verification). The "ENTRADA DE DADOS" section includes input fields for length (L), point load (P), distributed load (Q), and moments (M), along with diagrams for each loading type. The "VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO" section has two main parts: "FLECHA ADMISSÍVEL" (Acceptable Deflection) and "FLECHA NA VIGA" (Deflection in the Beam). "FLECHA ADMISSÍVEL" includes radio buttons for non-structural elements and sensorial acceptability, and a "CALCULAR" button. "FLECHA NA VIGA" includes input fields for time, area, and depth, and another "CALCULAR" button. A red box highlights the "Flecha admissível (cm)" input field and its "CALCULAR" button.

Figura 25: quarta tela – verificação deslocamento –

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LÍMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURURA | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

L (cm)

Carga P (KN)

Posição a (cm)

Carga Q (KN/cm)

Posição a (cm)

Posição b (cm)

Carga M (KN.cm)

Carga M (KN.cm)

**VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO**

**FLECHA ADMISSÍVEL**

**Efeitos elementos não estruturais**

- Alvenaria, caixilhos, revestimento
- Divisórias leves, caixilhos telescópicos
- Movimento lateral de edifício
  - Altura do edifício (cm)
- Movimentos térmicos verticais
- Movimentos térmicos horizontais
  - Desnível entre pavimentos (cm)
- Revestimentos colados
- Revestimentos pendurados, c/ juntas
- Desalinhamento de trilhos
  - Altura do edifício (cm)

**Aceitabilidade sensorial**

- Deslocamentos visíveis em elementos
- Vibrações sentidas no piso

**Estruturas em serviço**

- Cobertura e varandas
- Ginásio e pista de bolche (total)
  - Contra-flecha (cm)
- Ginásio e pista de bolche (após piso)
  - Flecha admissível (cm)

**FLECHA NA VIGA**

**Dados de entrada**

Tempo aplicação carga (meses)

As (cm<sup>2</sup>)  d (cm)

A's (cm<sup>2</sup>)  d' (cm)

Flecha curta duração (cm)

Flecha longa duração (cm)

**CALCULAR**

LIMPAR TELA NOVO CÁLCULO SAIR

Figura 26: flecha de curta e longa duração

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LÍMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

SURTIÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO**

**FLECHA ADMISSÍVEL**

**Efeitos elementos não estruturais**

- Alvenaria, caixilhos, revestimento
- Divisórias leves, caixilhos telescópicos
- Movimento lateral de edifício
  - Altura do edifício (cm)
- Movimentos térmicos verticais
- Movimentos térmicos horizontais
  - Desnível entre pavimentos (cm)
- Revestimentos colados
- Revestimentos pendurados, c/ juntas
- Desalinhamento de trilhos
  - Altura do edifício (cm)

**Aceitabilidade sensorial**

- Deslocamentos visíveis em elementos
- Vibrações sentidas no piso

**Estruturas em serviço**

- Cobertura e varandas
- Ginásio e pista de bolche (total)
  - Contra-flecha (cm)
- Ginásio e pista de bolche (após piso)
  - Flecha admissível (cm)

Flecha admissível (cm)

**CALCULAR**

**FLECHA NA VIGA**

**Dados de entrada**

Tempo aplicação carga (meses)

As (cm<sup>2</sup>)  d (cm)

A's (cm<sup>2</sup>)  d' (cm)

Flecha curta duração (cm)

Flecha longa duração (cm)

**CALCULAR**

LIMPAR TELA NOVO CÁLCULO SAIR LIMPAR TELA

**VERSÃO FINAL PROGRAMA**

Viga com deslocamento EXCESSIVO, verificar rigidez.

**OK**

**VERSÃO FINAL PROGRAMA**

Deslocamento aceitável.

**OK**

Figura 27: mensagens de verificação

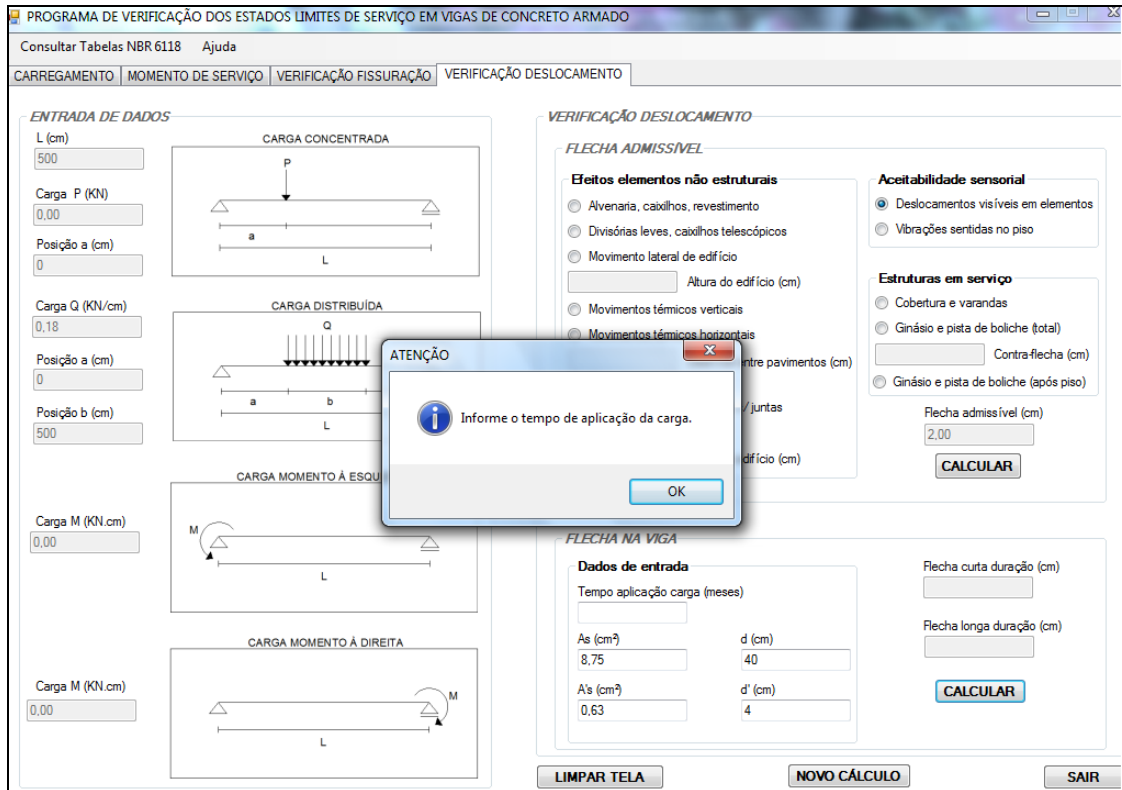


Figura 28: mensagem referente a falta de informação em um campo

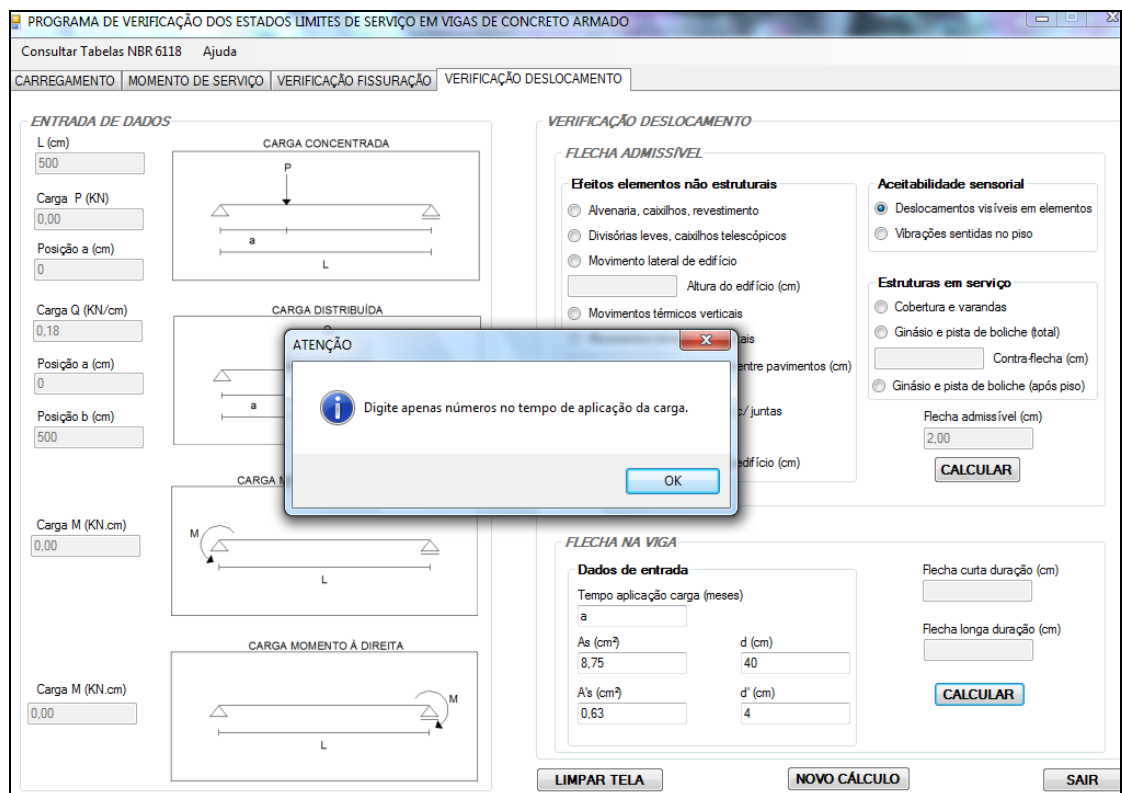


Figura 29: mensagem referente a presença de caractere não numérico em um campo

## 6.5 MENUS

No menu <consultar tabelas da NBR 6118> é possível acessar algumas tabelas da NBR 6118/2007 que irão auxiliar o usuário na escolha das opções de agressividade ambiental, uso da edificação, deslocamentos admissíveis e limite de abertura das fissuras. Já o menu <ajuda> conta com informações sobre a autoria do programa e também algumas instruções básicas para a utilização do mesmo. A figura 30 ilustra a seleção dos menus, a 31 mostra como exemplo a seleção das classes de agressividade ambiental, a 32 apresenta os dados de autoria do programa e a 33 exibe as instruções de utilização.

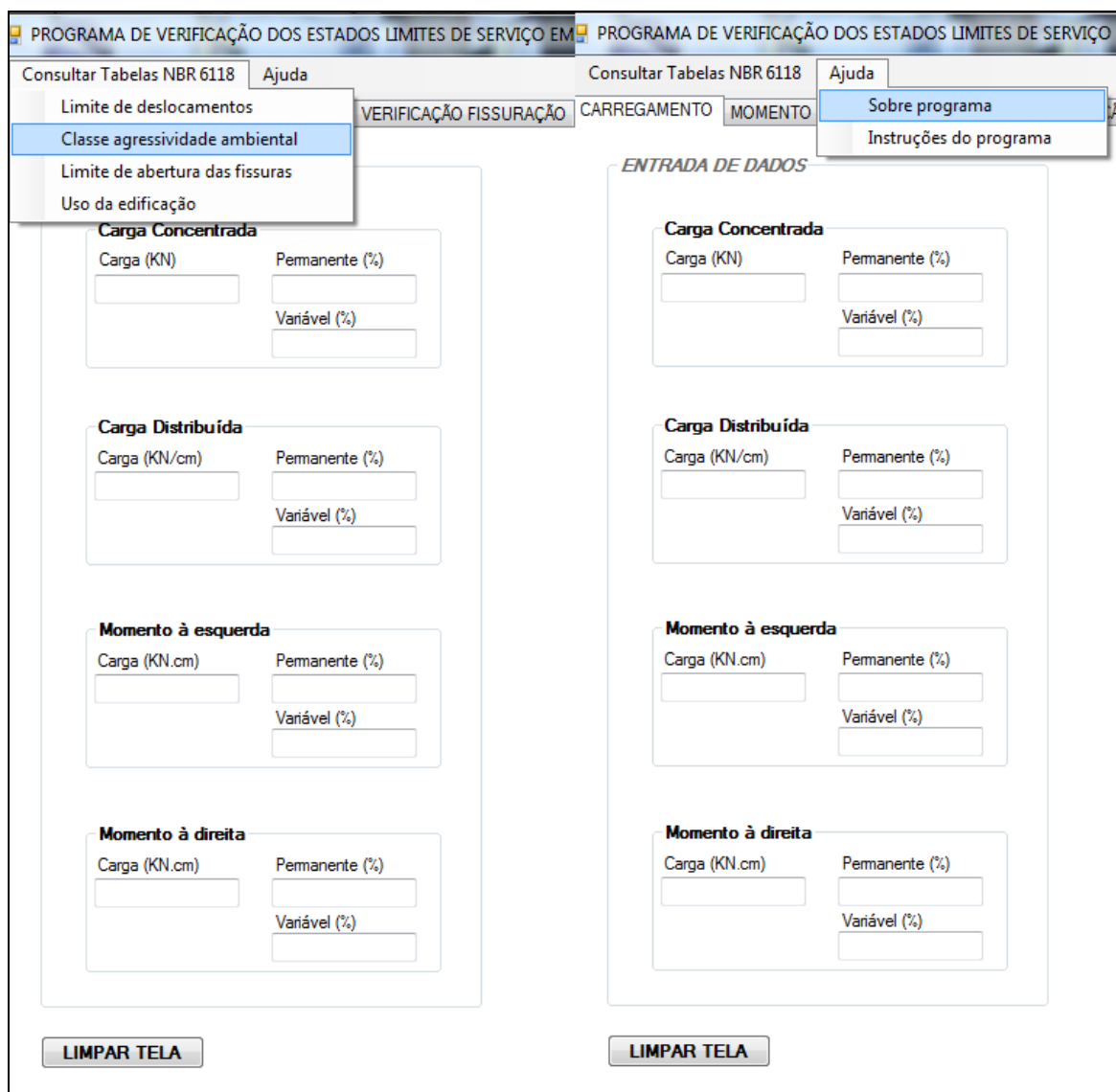


Figura 30: seleção de menus

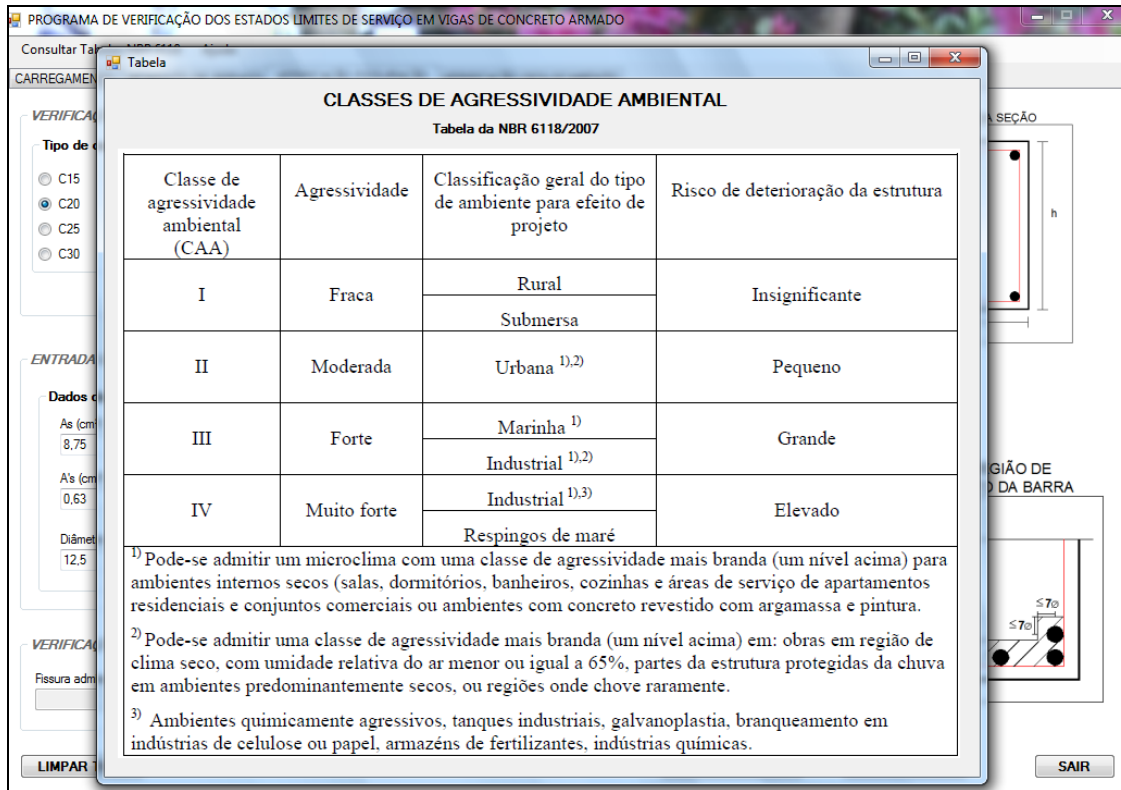


Figura 31: classes de agressividade ambiental apresentada pelo programa

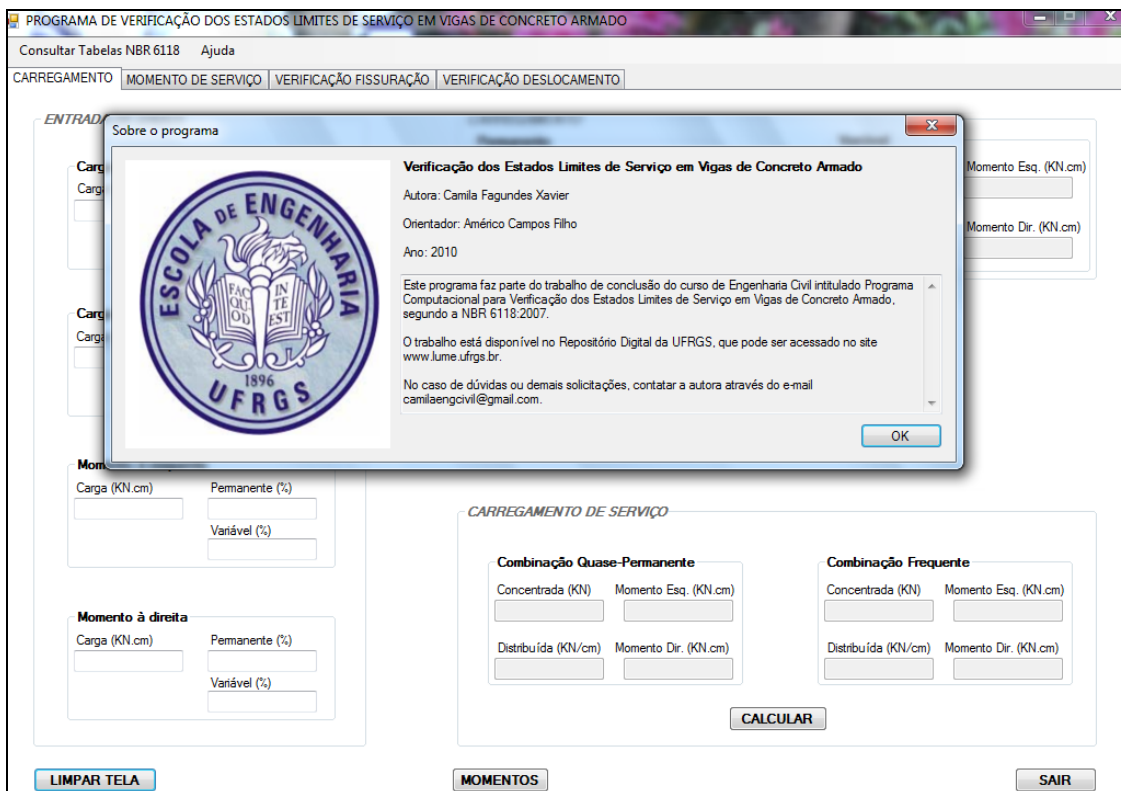


Figura 32: dados de identificação da autoria do programa

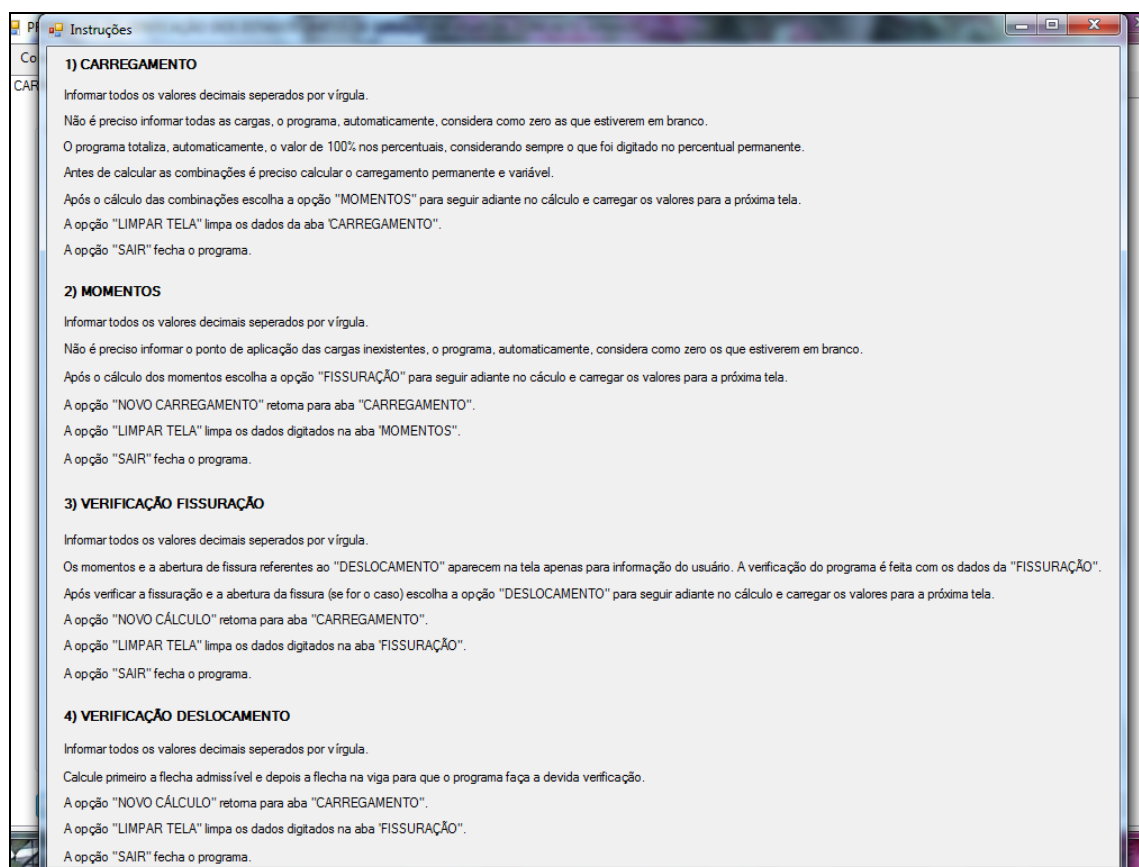


Figura 33: instruções básicas de uso do programa

## 7 EXEMPLO NUMÉRICO

No presente capítulo, apresenta-se uma aplicação do programa desenvolvido na análise numérica do estado limite de abertura de fissura e do estado limite de deformações excessivas em uma seção de viga de concreto armado.

Neste exemplo, considera-se uma viga de concreto armado com vão de 500 cm, de seção retangular 25 x 45 cm, submetida a uma carga uniformemente distribuída de 0,25 kN/cm. Estima-se que 60% desta carga é de natureza permanente e 40% variável. A área da armadura longitudinal tracionada é de 8,75 cm<sup>2</sup> e esta armadura é composta por barras de 12,5 mm, estando posicionada com  $d = 40$  cm. A área da armadura comprimida é de 0,63 cm<sup>2</sup> e tem sua posição definida por  $d' = 4$  cm. O concreto é o C20, as barras de aço são de alta aderência e a área da região de envolvimento da armadura tracionada ( $A_{cr}$ ) é 409,50 cm<sup>2</sup>. A situação de exposição da viga corresponde à classe de agressividade ambiental I. O uso da edificação é residencial. A verificação de deslocamento deve ser realizada para a situação de aceitabilidade sensorial (deslocamentos visíveis em elementos estruturais) e deve ser considerado que a carga foi aplicada 2 meses após a concretagem.

A figura 34 apresenta a tela inicial com o valor da carga preenchida e com o cálculo do carregamento permanente e variável executado, bem como o cálculo dos carregamentos de serviço para verificação do deslocamento e da fissuração, de acordo com o uso da edificação referente ao exemplo. Os valores referentes ao comprimento da viga e ponto de aplicação da carga, assim como os seus respectivos momentos de serviço, podem ser vistos nas figuras 35.

Na figura 36 é apresentada a verificação de fissuração onde se constata que pelo tipo de concreto e dimensões da seção utilizada, quando a viga está submetida ao carregamento de serviço calculado, para o exemplo, ela fissura. A figura 37 ilustra a verificação da abertura da fissura, e observa-se, pelo resultado obtido, que a fissura da viga está dentro do limite estabelecido pela NBR 6118/2007.

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO MOMENTO DE SERVIÇO VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

**Carga Concentrada**  
 Carga (KN) 0 Permanente (%) 0  
 Variável (%) 100

**Carga Distribuída**  
 Carga (KN/cm) 0,25 Permanente (%) 60  
 Variável (%) 40

**Momento à esquerda**  
 Carga (KN.cm) 0 Permanente (%) 0  
 Variável (%) 100

**Momento à direita**  
 Carga (KN.cm) 0 Permanente (%) 0  
 Variável (%) 100

**CARREGAMENTO**

**Permanente**  
 Concentrada (KN) 0,00 Momento Esq. (KN.cm) 0,00  
 Distribuída (KN/cm) 0,15 Momento Dir. (KN.cm) 0,00

**Variável**  
 Concentrada (KN) 0,00 Momento Esq. (KN.cm) 0,00  
 Distribuída (KN/cm) 0,10 Momento Dir. (KN.cm) 0,00

**Uso da edificação**  
 Residencial  
 Comercial  
 Biblioteca, arquivos, oficinas, garagem

**CARREGAMENTO DE SERVIÇO**

**Combinação Quase-Permanente**  
 Concentrada (KN) 0,00 Momento Esq. (KN.cm) 0,00  
 Distribuída (KN/cm) 0,18 Momento Dir. (KN.cm) 0,00

**Combinação Freqüente**  
 Concentrada (KN) 0,00 Momento Esq. (KN.cm) 0,00  
 Distribuída (KN/cm) 0,19 Momento Dir. (KN.cm) 0,00

LIMPAR TELA MOMENTOS SAIR

Figura 34: cálculo do carregamento permanente e variável e carregamento de serviço

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO MOMENTO DE SERVIÇO VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS FISSURAÇÃO**

L (cm) 500

Carga P (KN) 0,00

Posição a (cm) 0

Carga Q (KN/cm) 0,19

Posição a (cm) 0

Posição b (cm) 500

Carga M (KN.cm) 0,00

Carga M (KN.cm) 0,00

**ENTRADA DE DADOS DESLOCAMENTO**

Carga P (KN) 0,00

Carga Q (KN/cm) 0,18

Carga M (KN.cm) 0,00

Carga M (KN.cm) 0,00

**MOMENTO DE SERVIÇO**

**Fissuração**  
 Momento máximo (KN.cm) 5,937,50

**Deslocamento**  
 Momento máximo (KN.cm) 5,625,00

FISSURAÇÃO  
 LIMPAR TELA  
 NOVO CARREGAMENTO  
 SAIR

Figura 35: cálculo dos momentos de serviço para verificação da fissuração e do deslocamento



PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

Tipo de concreto

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

Dimensões da seção

b (cm) 25  
h (cm) 45

Fissuração

Momento de Serviço (KN.cm) 5.937,50  
Momento de Fissuração (KN.cm) 1.958,29

Deslocamento

Momento de Serviço (KN.cm) 5.625,00  
Momento de Fissuração (KN.cm) 2.797,56

**VERIFICAR**

**ATENÇÃO**

VIGA FISSURADA! Verifique a abertura da fissura.

**OK**

ENTRADA DE DADOS

Dados da armadura

As (cm<sup>2</sup>)  
A's (cm<sup>2</sup>)  
Diâmetro As (mm)

Dados da seção

d (cm)  
d' (cm)  
Acr (cm<sup>2</sup>)

Classe IV  Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm)

Fissuração

Abertura da fissura (mm)

**VERIFICAR**

**LIMPAR TELA** **DESLOCAMENTO** **NOVO CÁLCULO** **SAIR**

DIMENSÕES DA SEÇÃO

ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA

Figura 36: verificação da fissuração – viga fissurada

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO**

Tipo de concreto

C15  C35  
 C20  C40  
 C25  C45  
 C30  C50

Dimensões da seção

b (cm) 25  
h (cm) 45

Fissuração

Momento de Serviço (KN.cm) 5.937,50  
Momento de Fissuração (KN.cm) 1.958,29

Deslocamento

Momento de Serviço (KN.cm) 5.625,00  
Momento de Fissuração (KN.cm) 2.797,56

**VERIFICAR**

**ATENÇÃO**

Abertura da Fissura Aceitável.

**OK**

ENTRADA DE DADOS

Dados da armadura

As (cm<sup>2</sup>) 8,75  
A's (cm<sup>2</sup>) 0,63  
Diâmetro As (mm) 12,5

Dados da seção

d (cm) 40  
d' (cm) 4  
Acr (cm<sup>2</sup>) 409,5

Classificação ambiental

Classe I  
 Classe II  
 Classe III  
 Classe IV

Tipo de barra de aço

Lisa  
 Dentada  
 Alta aderência

**VERIFICAÇÃO ABERTURA DA FISSURA**

Fissura admissível (mm) 0,4

Fissuração

Abertura da fissura (mm) 0,10

**VERIFICAR**

**LIMPAR TELA** **DESLOCAMENTO** **NOVO CÁLCULO** **SAIR**

DIMENSÕES DA SEÇÃO

ÁREA DA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO DA BARRA

Figura37: verificação abertura da fissura – fissura aceitável de acordo com NBR 6118/2007

O cálculo do deslocamento máximo aceitável pela NBR 6118/2007 para a opção de verificação do exemplo, pode ser vista na figura 38. E a figura 39 apresenta o cálculo do deslocamento existente na viga, devido ao carregamento de serviço, onde é possível verificar que a rigidez da viga é suficiente para suportar os esforços, sem que haja um deslocamento acima do permitido.

**PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LÍMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Consultar Tabelas NBR 6118    Ajuda

CARREGAMENTO    MOMENTO DE SERVIÇO    VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO    VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

L (cm)

Carga P (KN)

Posição a (cm)

Carga Q (KN/cm)

Posição a (cm)

Posição b (cm)

Carga M (KN.cm)

Carga M (KN.cm)

**VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO**

**FLECHA ADMISSÍVEL**

**Efeitos elementos não estruturais**

- Alvenaria, caixilhos, revestimento
- Divisórias leves, caixilhos telescópicos
- Movimento lateral de edifício
- Altura do edifício (cm)
- Movimentos térmicos verticais
- Movimentos térmicos horizontais
- Desnível entre pavimentos (cm)
- Revestimentos colados
- Revestimentos pendurados, c/ juntas
- Desalinhamento de trilhos
- Altura do edifício (cm)

**Aceitabilidade sensorial**

- Deslocamentos visíveis em elementos
- Vibrações sentidas no piso

**Estruturas em serviço**

- Cobertura e varandas
- Ginásio e pista de boliche (total)
- Contra-flecha (cm)
- Ginásio e pista de boliche (após piso)

Flecha admissível (cm)

**CALCULAR**

**FLECHA NA VIGA**

**Dados de entrada**

Tempo aplicação carga (meses)

As (cm<sup>2</sup>)     d (cm)

A's (cm<sup>2</sup>)     d' (cm)

Flecha curta duração (cm)

Flecha longa duração (cm)

**CALCULAR**

**LIMPAR TELA**    **NOVO CÁLCULO**    **SAIR**

Figura 38: cálculo da flecha admissível

PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Consultar Tabelas NBR 6118 Ajuda

CARRREGAMENTO | MOMENTO DE SERVIÇO | VERIFICAÇÃO FISSURAÇÃO | VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO

**ENTRADA DE DADOS**

L (cm) 500

Carga P (KN) 0,00

Posição a (cm) 0

Carga Q (KN/cm) 0,18

Posição a (cm) 0

Posição b (cm) 500

Carga M (KN.cm) 0,00

Carga M (KN.cm) 0,00

**VERIFICAÇÃO DESLOCAMENTO**

**FLECHA ADMISSÍVEL**

**Efeitos elementos não estruturais**

- Alvenaria, caixilhos, revestimento
- Divisórias leves, caixilhos telescópicos
- Movimento lateral de edifício
  - Altura do edifício (cm)
- Movimentos térmicos verticais
- Movimentos térmicos horizontais
  - Desnível entre pavimentos (cm)
- Revestimentos colados
- Revestimentos pendurados, c/juntas
- Desalinhamento de trilhos
  - Altura do edifício (cm)

**Aceitabilidade sensorial**

- Deslocamentos visíveis em elementos
- Vibrações sentidas no piso

**Estruturas em serviço**

- Cobertura e varandas
- Ginásio e pista de bolche (total)
  - Contra-flecha (cm)
- Ginásio e pista de bolche (após piso)

Flecha admissível (cm) 2,00

**CALCULAR**

**FLECHA NA VIGA**

**Dados de entrada**

Tempo aplicação carga (meses) 2

As (cm<sup>2</sup>) 8,75 d (cm) 40

A's (cm<sup>2</sup>) 0,63 d' (cm) 4

Flecha curta duração (cm) 0,72

Flecha longa duração (cm) 1,54

**CALCULAR**

LIMPAR TELA NOVO CÁLCULO SAIR

VERSÃO FINAL PROGRA...  
Deslocamento aceitável.  
OK

Figura 39: verificação da flecha – deslocamento aceitável de acordo com a NBR 6118/2007

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, foi desenvolvido um programa para a verificação dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado. Inicialmente, apresentam-se os fundamentos teóricos e as recomendações das normas e referências bibliográficas.

O objetivo do trabalho, que era sistematizar a verificação dos estados limites de serviço em vigas de concreto armado com o intuito de obter um programa computacional que atendesse as recomendações da NBR 6118/2007, foi alcançado. O programa desenvolvido é capaz de receber o conjunto de dados da viga e de seu carregamento, podendo estar atuando uma carga de cada tipo por vez ou as quatro ao mesmo tempo. Também é capaz de apresentar o momento e o deslocamento da seção mais solicitada, o momento de fissuração, o deslocamento e abertura de fissura admissível pela Norma e fazer a verificação através da comparação dos resultados calculados com os admissíveis.

Foi desenvolvido um mecanismo de análise de erros na entrada de dados tendo como objetivo informar ao usuário que os dados que ele forneceu como, por exemplo, letras ou outros caracteres que não sejam números, foram inseridos nos campos de entrada de dados. Como essa entrada de dados indevida ocasionará um erro no programa, o mesmo informa ao usuário que os campos devem estar preenchidos somente com números, para a realização do cálculo, e ao mesmo tempo não permite a continuidade do cálculo antes da devida correção. O programa emite uma mensagem bem detalhada do problema, informando exatamente o campo em que o mesmo se encontra, bem como a sua descrição, possibilitando ao usuário a correção dos erros de forma fácil e rápida.

Para realizar todos os cálculos e verificações constantes no programa o usuário também deve selecionar algumas opções e realizar o procedimento na ordem em que o programa foi desenvolvido, para que o procedimento fique de acordo com a NBR 6118/2007. Por esse motivo, também existe um mecanismo de informação ao usuário de que ele deverá escolher determinada opção para efetuar a verificação e ao mesmo tempo não permite que ele siga adiante sem que a opção seja selecionada.

Para o cálculo do momento e deslocamento máximo, adotou-se no algoritmo do programa, que a viga deve ser dividida em cem partes iguais e ter o momento e deslocamento calculado em cada uma dessas seções. A partir disso, o programa compara os valores calculados nessas seções e apresenta para o usuário o maior deles. O programa fornece os valores máximos com duas casas decimais, tendo sido esta precisão julgada satisfatória.

De uma forma geral, a partir dos resultados obtidos pelo programa, pode-se concluir que sua utilização para fins acadêmicos é válida, pois apresenta didaticamente a solução encontrada. O programa pode ser utilizado para o cálculo, não só de vigas bi-apoiadas, como também para vigas contínuas e para vãos de pórticos planos. Considera-se que o programa atende à sua proposta e é eficaz na resolução dos problemas propostos. Nos exemplos testados, não foram detectados problemas, e os erros obtidos apresentam uma baixa magnitude. Como sugestão para a continuidade deste trabalho, cita-se:

- a) extensão do programa para vigas de concreto armado com seção T;
- b) aperfeiçoamento do carregamento atuante, possibilitando a consideração de mais de uma carga de cada tipo atuando na estrutura;
- c) criação de uma tela gráfica que exponha os diagramas de momentos atuantes na estrutura.

Para os alunos e público em geral que tiverem interesse de ter acesso ao programa, basta enviar um e-mail de solicitação para [camilaengcivil@gmail.com](mailto:camilaengcivil@gmail.com) e o mesmo lhe será enviado.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003. v. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo**. 5. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2008.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRÉ, F. M. **Hormigón Armado**. 14. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2000.

PFEIL, W. **Concreto Armado**. 3. ed. rev. e atualiz. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Concreto: concreto armado**. 3.ed. Porto Alegre: Globo, 1983. v. 1.