

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE BASEADO NA PLATAFORMA ANDROID
PARA CÁLCULO E ANÁLISE DE FLECHA IMEDIATA EM VIGAS DE CONCRETO
ARMADO BIAPOIADAS**

**VICTOR AUGUSTO PEREIRA DE PAIVA
WESLEY SCHNEIDER FARIA RODRIGUES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**VICTOR AUGUSTO PEREIRA DE PAIVA
WESLEY SCHNEIDER FARIA RODRIGUES**

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE BASEADO NA PLATAFORMA ANDROID
PARA CÁLCULO E ANÁLISE DE FLECHA IMEDIATA EM VIGAS DE CONCRETO
ARMADO BIAPOIADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: José Nelson Vieira da Rocha .

Caratinga/MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE BASEADO NA PLATAFORMA ANDROIDE PARA CÁLCULO E ANÁLISE DE FLECHA IMEDIATA EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO BI-APOIADAS

por

VICTOR AUGUSTO PEREIRA DE PAIVA E WESLEY SCHNEIDER FARIA RODRIGUES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores José Nelson, João Moreira e Ricardo Botelho, às 10 horas e 30 minutos do dia 12/12/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho Aprovado, com a qualificação: reajustório.

Trabalho indicado para publicação: ()SIM (x)NÃO

Caratinga, 12 de dezembro de 2016.

José Nelson Vieira da Rocha
Professor Orientador e Presidente da Banca

[Assinatura]
Professor Avaliador 1

Ricardo Botelho Romão
Professor Avaliador 2

[Assinatura] / [Assinatura]
Aluno(a)

[Assinatura]
Coordenador(a) do Curso

À minha família, razão de toda minha existência...

A Deus que sempre cuidou de mim, me dando saúde e forças para chegar até aqui...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais Edmundo e Rosimere pela criação e educação exemplar que foram a base para me tornar a pessoa que eu sou hoje, por nunca terem deixado me faltar nada, por me oferecer amor incondicional a todo momento e sempre me apoiar na realização dos meus sonhos.

A minhas irmãs Rejane e Eloiza por serem fundamentais para meu crescimento, principalmente na minha infância. Não fosse pela minha família, eu não estaria hoje onde estou.

Agradeço também a todos os meus amigos, especialmente do BCIYA, por fazerem parte de grande parte dos meus momentos felizes e por proporcionarem outros tantos.

Aos meus professores e colegas que me acompanharam nessa longa caminhada e que foram peça chave para andamento e persistência no curso.

Enfim, a todos que me ajudaram direta ou indiretamente e sempre torceram para o meu sucesso.

Victor Augusto Pereira de Paiva

Agradeço a Deus que iluminou o meu caminho durante essa jornada;

A minha mãe Aucileia e minha avó Marlene, pela criação excepcional, por todos momentos de carinho e dedicação, por todo o incentivo, e por sempre me inspirarem a perseguir meus sonhos;

A minha namorada Thayze pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me trazer paz mesmo nas horas mais difíceis;

A todos os meus amigos e colegas e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Wesley Schneider Faria Rodrigues

"Forget your lust for the rich man's gold, all that you need is in your soul"
(LYNYRD SKYNYRD)

PAIVA, Victor e RODRIGUES, Wesley. **Desenvolvimento de software baseado na plataforma android para cálculo e análise de flecha imediata em vigas de concreto armado biapoiadas**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM de ensino, Caratinga, 2016.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar e analisar o comportamento de vigas de concreto armado, as ações que lhe são aplicadas e as respectivas consequências como, por exemplo, as deformações. O foco principal será a determinação de flecha imediata que terá seu cálculo deduzido por meio de revisão bibliográfica e que posteriormente será realizado por meio do software para plataforma Android a ser desenvolvido neste trabalho como ferramenta útil a essa função. Este software, poderá, futuramente, ser utilizado em operações reais in loco possibilitando verificar a existência de possíveis irregularidades nas deformações das vigas, deformações essas que são previsíveis, mas que podem ocorrer de forma excessiva, fugindo da normalidade que se espera de uma estrutura, seja por erro de execução da obra ou no projeto. Com esta verificação, poderá se prevenir uma possível e iminente patologia. Um aplicativo na plataforma Android que permita a integração com softwares mais sofisticados e ainda forneça uma alternativa de fácil manuseio auxiliando o executor a identificar e evitar possíveis problemas em obra, demonstra a evolução da funcionalidade de um aparelho portátil em caráter profissional, desconstruindo a imagem de que este sirva apenas como meio de entretenimento e/ou comunicação. Este trabalho foi fundamentado em obras publicadas, artigos científicos, em normas técnicas e outras fontes disponíveis, de modo a tentar trazer o mais preciso resultado possível, fiel à literatura de base e obedecendo rigorosamente às especificações prescritas na norma.

Palavras-chave: Software, Viga, Flecha, Android.

PAIVA, Victor e RODRIGUES, Wesley. **Development of software based on the android platform for calculation and analysis of immediate arrow in biapoiada reinforced concrete beams.** Caratinga, 2016. Completion of Higher Civil Engineering Course - Civil Engineering Course. Technological Institute of Caratinga, Network DOCTUM of teaching, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The present work aims to present and analyze the behavior of reinforced concrete beams, the actions that are applied to them and their consequences, such as deformations. The main focus will be the immediate arrow determination that will have its calculation deduced by means of bibliographic review and that will later be realized through the software for Android platform to be developed in this work as a useful tool to this function. This software, in the future, can be used in real operations in loco, making it possible to verify the existence of possible irregularities in the deformations of the beams, deformations that are foreseeable but that can occur in an excessive way, avoiding the expected normality of a structure, Either by mistake of execution of the work or in the project. With this check, may prevent a possible and imminent pathology. An application on the Android platform that allows integration with more sophisticated software and still provides an easy-to-use alternative, helping the executor identify and avoid possible problems on the job, demonstrates the evolution of the functionality of a portable device in a professional manner, deconstructing the image of That this serves only as a means of entertainment and / or communication. This work was based on published works, scientific articles, technical norms and other available sources, in order to try to bring the most accurate result possible, faithful to the basic literature and strictly comply with the specifications prescribed in the standard.

Key-words: Software, Beam, Arrow, Android.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Características do Aço CA-50	16
Figura 2 – Comportamento da seção transversal de uma viga de concreto na flexão normal simples.	19
Figura 3 – Viga de concreto armado simplesmente apoiada sob ações de serviço . .	27
Figura 4 – Seção Transversal “T” sem armadura	28
Figura 5 – Viga Submetida à Flexão	29
Figura 6 – Distribuição de tensão-deformação em vigas carregadas	29
Figura 7 – Viga Submetida à Flexão Valores do coeficiente φ_{f2}	32
Figura 8 – Menu Inicial	37
Figura 9 – Dados da seção	38
Figura 10 – Dados dos Materiais	38
Figura 11 – Área de aço	39
Figura 12 – Altura útil da viga	39
Figura 13 – Definição da Flecha imediata	40
Figura 14 – Declaração de Variáveis exibidas na interface	46
Figura 15 – Declaração de Variáveis para cálculo e início das comparações que estabelecerão a forma com que o Software trabalhará	47
Figura 16 – Continuação das comparações e início de cálculo	48
Figura 17 – Declaração de Variáveis utilizadas no cálculo e continuação do mesmo .	48
Figura 18 – Continuação do cálculo	49
Figura 19 – Sequência lógica em que os dados inseridos são captados pelo Software	50
Figura 20 – Continuação da sequência lógica e exibição do resultado final	50
Figura 21 – Representação dos comandos finais e finalização do programa	51
Figura 22 – Tabela 13.2 - Limites para deslocamentos	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPU	Unidade Central de Processamento
RAM	Random Access Memory
SMS	Short Message Service
LAN	Local Area Network

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Letra grega alfa
φ	Letra grega fi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 VIGAS	14
2.1.1 Concreto Armado	14
2.1.2 Aplicação das armaduras nas vigas de concreto armado	14
2.1.3 Aço na Construção Civil	15
2.1.3.1 AçoCA-50	15
2.1.4 Comportamento das Estruturas em Concreto armado	16
2.2 Estados Limites	17
2.2.1 Estado Limite Último	18
2.2.2 Estado limite de Serviço	18
2.3 Estádios de Deformação	18
2.4 Momento Fletor	19
2.5 Momento de Inércia de uma seção	20
2.5.1 Estado Limite de Deformação Excessiva	20
2.5.1.1 Flecha	21
2.5.1.1.1 Procedimentos para limitar a Flecha	21
2.6 Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia Civil	22
2.6.1 Android	24
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
3.1 Determinação da flecha	26
3.2 Desenvolvimento do Software	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 Exercício resolvido contendo determinação da flecha imediata	34
4.2 Resolução do exercício por meio do software	36
4.3 Comparação dos resultados	41
5 CONCLUSÃO	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE A Código fonte	46
ANEXO A Limites para deslocamentos definidos pela ABNT NBR 6118:2014	52

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil, todos os fatores que implicam na execução de um projeto são de grande importância pois há uma interdependência entre eles.

O cálculo estrutural de uma obra é a função mais expressiva dentre as diversas que podem ser executadas por um engenheiro civil, além de ser também a atividade de maior responsabilidade. Isto se deve ao fato de que mesmo que todas as etapas de segurança e execução sejam realizadas de forma rigorosa, caso o dimensionamento contenha algum erro toda a estrutura poderá ser comprometida.

Devido a essa grande responsabilidade, foram desenvolvidas diversas ferramentas para auxiliar a execução do cálculo estrutural, tendo como objetivo principal minimizar o erro durante a fase de projeto.

Através de uma análise de mercado, percebeu-se a falta de aplicações para dispositivos móveis nesse âmbito. Surgiu então, o interesse na execução deste trabalho para a plataforma Android. Buscou-se através deste, uma forma de desenvolver uma ferramenta portátil e de fácil acesso que permita determinar, de forma precisa, a Flecha imediata de deformação em uma estabelecida viga de concreto armado, assim, permitindo analisar a saúde da estrutura, de forma preliminar, indicando possíveis patologias iminentes, proporcionando maior precisão e controle na execução.

Este Sistema Operacional foi escolhido mediante seus concorrentes por apresentar grande domínio de mercado. “Estima-se que cerca de 84.7% dos dispositivos móveis em todo o mundo, utilizem esta tecnologia.” (FORBES:2013).

Sabe-se da existência de ferramentas para realização destes cálculos, porém, as mais complexas e elaboradas possuem preço muito elevado, enquanto as gratuitas apresentam recursos limitados. Existem ainda as aplicações gratuitas, que só mostram seu verdadeiro potencial mediante pagamento. Através de pesquisas de mercado, foi percebido que estas aplicações são encontradas em várias plataformas, porém, não atingem a função e o âmbito específico, que o software aqui desenvolvido realizará.

Uma aplicação para aparelhos móveis que realize cálculos de Estado Limite de Deformação, tem grande relevância no que diz respeito à aproximação do aspecto útil à comodidade. O profissional que tem em mãos uma ferramenta de tal funcionalidade, em qualquer lugar, não se restringe a realizar tal função em apenas um local específico. Ainda que não substitua softwares mais complexos para tal função, esta aplicação visa atender aos requisitos e situações típicos que possam surgir durante a execução da obra através da determinação da Flecha imediata, pelo cálculo do Estado Limite de Deformação Excessiva.

A Flecha é resultante dos esforços no Estado Limite de Deformação Excessiva e sua determinação é de grande relevância em todos os tipos de estruturas visto que a deformação excessiva pode acarretar perda de resistência e redução da proteção das armaduras, devido ao surgimento de fissuras, gerando vários problemas, até mesmo a ruína da estrutura.

Um aplicativo na plataforma Android que permita a integração com softwares mais sofisticados e ainda forneça uma alternativa de fácil manuseio que auxilie o executor a identificar e evitar possíveis problemas em obra, demonstra a evolução da funcionalidade de um aparelho portátil em caráter profissional, desconstruindo a imagem de que este sirva apenas como meio de comunicação e/ou entretenimento.

Apesar das metodologias aqui aplicadas também pertencerem à fase de projeto, podendo este aplicativo trabalhar em conjunto com aplicações mais elaboradas, como as existentes nos computadores, o foco desta, é ser utilizada já na parte de execução da obra o que não descarta suas demais utilidades.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 VIGAS

Vigas são “Elementos lineares em que a flexão é preponderante” (NBR:6118 14.4.1.1), isto significa que, quando se trata dos efeitos das forças aplicadas, os efeitos de flexão serão os mais expressivos. Elementos lineares por sua vez “São aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras” (NBR:6118 14.4.1), ou seja, é um elemento caracterizado pelo fato de a sua extensão ser mais do que três vezes maior que a maior dimensão de sua seção transversal, podendo esta ser dada pela altura da viga ou pela largura de sua base.

Neste trabalho serão apresentadas características das vigas de concreto armado e o seu comportamento na estrutura.

2.1.1 Concreto Armado

Segundo CARVALHO e FILHO (2014), o concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10 % da sua resistência à compressão).

Sendo assim, identificou-se a necessidade de incorporar ao concreto, um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, disposto convenientemente, resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, o que pode, também, ser auxiliado pelas armaduras. (PFEIL, 1989).

2.1.2 Aplicação das armaduras nas vigas de concreto armado

As ações atuantes em uma estrutura de concreto armado vão muito além da compressão simples, esforços de tração, torção e flambagem também fazem parte das solicitações existentes nas estruturas. O concreto simples não é capaz de resistir sozinho a todos estes esforços, por isso, é necessária a adição de armaduras de aço. O aço tem como função básica resistir aos esforços de tração, mas também auxilia na redução de outros esforços existentes na estrutura. Segundo CARVALHO e FILHO (2014), como o concreto é um material que resiste mal a tração, geralmente, não se conta com a ajuda dessa resistência para o cálculo estrutural.

2.1.3 Aço na Construção Civil

Segundo o indicado na NBR 7480 (Barras e fios de aço destinados à armadura para concreto armado) os fios e barras de aço utilizados nas estruturas de concreto são classificados em categorias conforme o valor característico da resistência de escoamento (f_{yk}) e os diâmetros das seções transversais nominais, esses diâmetros são indicados em milímetros, mas, também é comum utilizar seu valor em polegadas. A resistência ao escoamento representa a carga a partir da qual a barra passa a sofrer deformações plásticas, devido a tração, ou seja, é um indicativo da capacidade da barra de aço se deformar sem que essa deformação se torne permanente, permitindo-a retornar ao seu estado original. Nesta classificação, a unidade de medida usada é kgf/mm^2 .

No âmbito da construção civil, o tipo de aço mais usual é o CA-50, portanto, será adotado este para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1.3.1 Aço CA-50

A NBR 7480, item 4.2.1, estipula que as barras de aço CA-50 obrigatoriamente devem apresentar superfície com nervuras transversais e longitudinais, de modo que estas impeçam o giro da barra dentro do concreto.

Esta classe de aço apresenta resistência característica de tensão de escoamento (f_{yk}) de $50 kgf/mm^2$ ou $500MPa$; A seguir estão especificados os diâmetros usuais das barras e suas propriedades.

Figura 1: Características do Aço CA-50

Diâmetro nominal ^a mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
	Massa nominal ^b kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm ²	Perímetro mm
6,3	0,245	± 7%	31,2	19,8
8,0	0,395	± 7%	50,3	25,1
10,0	0,617	± 6%	78,5	31,4
12,5	0,963	± 6%	122,7	39,3
16,0	1,578	± 5%	201,1	50,3
20,0	2,466	± 5%	314,2	62,8
22,0	2,984	± 4%	380,1	69,1
25,0	3,853	± 4%	490,9	78,5
32,0	6,313	± 4%	804,2	100,5
40,0	9,865	± 4%	1256,6	125,7

^a Outros diâmetros nominais podem ser fornecidos a pedido do comprador, mantendo-se as faixas de tolerância do diâmetro mais próximo.

^b A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7 850 kg/m³.

Fonte: ABNT NBR 7480:2007, “Aço destinado a armaduras para estrutura de concreto armado”. ANEXO B; Tabela B.1.

2.1.4 Comportamento das Estruturas em Concreto armado

As deformações nas estruturas, ao contrário do que se pensa, não são lineares, como nos afirmam CARVALHO e FILHO (2014), para que isso fosse verdade seria necessário que estas deformações sofridas pela estrutura fossem proporcionais às cargas aplicadas, porém, isto não é verdade. De fato, a maioria dos cálculos para dimensionamento de armaduras utiliza uma verificação linear da estrutura, de forma generalizada. Porém, segundo a NBR 6118:2014, item 15.2; para a análises de deformações e estabilidade das estruturas, não bastam as verificações a partir dos esforços da análise linear.

CARVALHO e FILHO (2014) afirmam que um comportamento linear só é real quando a peça trabalha integralmente no estágio I, no qual as cargas solicitantes não provocam tração suficiente para superar a resistência a tração do concreto e, conseqüentemente, apenas o concreto estaria trabalhando, porém, para estruturas de concreto armado atuando em Estado Limite de Serviço, esta consideração não é verdadeira. A própria existência do aço nas estruturas contribui para este comportamento, uma vez que o estágio II considera, por definição, que os esforços de tração são resistidos integralmente pelo aço, caracterizando deformações diferentes para o aço e o concreto e explicitando o comportamento não-linear da estrutura.

Outros fatores, que atuam simultaneamente na estrutura, e contribuem para este comportamento são o surgimento de fissuras e vibrações; a fluência dos materiais que compõem a peça; as alterações físicas e químicas sofridas pelos materiais ao longo do tempo e as alterações na geometria da própria estrutura. Cabe ressaltar que essas alterações são normais e, atualmente, imprevisíveis, podendo gerar, ou não, adversidades, portanto, a análise não-linear da estrutura não pode ser levada em conta para fins de dimensionamento, apenas para verificação. (NOBREGA; 2004).

As próprias ações mudam a sua forma e/ou intensidade de atuação ao longo do tempo. Exemplo emblemático encontra-se nos estádios de futebol, onde o comportamento das atuais torcidas organizadas diverge significativamente (por vezes radicalmente) da sobriedade e calma apresentada nos anos 50, cujos torcedores a eles compareciam, de paletó, gravata e chapéu, década em que os projetos de várias destas estruturas foram concebidos. Em relação às pontes, os veículos têm alterado suas características: desenvolvem maiores velocidades, transportam cargas mais pesadas possuem dimensões maiores e mais eixos. (NOBREGA; 2004)

Pode-se citar também que a estrutura não é perfeitamente simétrica em toda a sua extensão, sempre existirão pequenas divergências no posicionamento das armaduras, na espessura do revestimento, no alinhamento dos pisos, entre outras. Estas pequenas divergências, na grande maioria das vezes, não são prejudiciais a estrutura, porém determinam o comportamento da mesma e devem ser consideradas durante o dimensionamento, para tanto a NBR 6118:2014, aplica, ao longo de seu desenvolvimento, vários critérios de segurança.

Uma das características do concreto armado é a fissuração, como CARVALHO e FILHO (2014), afirmam, se trata de um processo inevitável, uma vez que para que a estrutura trabalhe no estágio II e, conseqüentemente, o aço contribua em resistir à tração, é necessário que as tensões de tração superem a resistência do concreto a tração, resultando em fissuras na parte tracionada o que faz parte do funcionamento normal da peça.

Apesar de a fissuração fazer parte do funcionamento normal da estrutura é preciso o acompanhamento da fissuração, pois, ela pode se tornar nociva e causar danos a edificação. Caso necessário devem ser tomadas medidas para limitar o surgimento destas fissuras.

2.2 ESTADOS LIMITES

Espera-se que uma edificação, atenda às condições adequadas de segurança, durabilidade e funcionalidade para que atendam aos parâmetros e finalidades para os quais foi projetada. Quando uma estrutura deixa de atender a esses requisitos, pode se dizer que atingiu o seu Estado Limite. Os estados limites podem ser classificados como Estados Limite Últimos e Estados Limites de Utilização (Serviço).

Como mencionam COVAS e KIMURA (2009), se tratando de estruturas usuais de concreto-armado, todos os elementos são usualmente dimensionados para estado limite último (ELU) e depois verificados em cada um dos estados limites de serviço (ELS).

2.2.1 Estado Limite Último

Ainda segundo COVAS e KIMURA (2009), Estado Limite Último (ELU) é caracterizado pela ruína ou esgotamento da capacidade resistente da estrutura, podendo ser consequência de diversos fatores como de ruptura de seções, colapso da estrutura, deterioração por fadiga e perda de estabilidade.

Espera-se que uma estrutura nunca atinja esta situação, para se assegurar essa suposição, se faz o uso de diversos coeficientes de segurança, vistos na NBR 8681:2003, assim afastando a estrutura da situação de ruína. Estes coeficientes são aplicados através de redução das resistências dos materiais e de majoração dos esforços solicitantes.

2.2.2 Estado limite de Serviço

A NBR 6118:2014, item 10.4, define Estado limite de Serviço (ELS) como sendo estados “relacionados à durabilidade das estruturas, aparência conforto do usuário e à boa utilização funcional das mesmas”, este Estado Limite é caracterizado pela limitação da utilização adequada da estrutura, podendo ser resultado de fissuração excessiva, deformações excessivas; vibrações excessivas; ou por efeitos de descompressão de elementos, que resultem na inexistência de tração em parte destes elementos. No item 17.3.1, a norma dispõe, também, que nos estados limites de serviço as estruturas trabalham parcialmente no estágio I e parcialmente no estágio II.

2.3 ESTÁDIOS DE DEFORMAÇÃO

Para se caracterizar o desempenho de uma seção de concreto armado aplicam-se carregamentos sucessivos, que vão de zero até a ruptura do elemento. Uma vez avaliado o comportamento da peça diante destes carregamentos, pode-se distinguir, basicamente, três fases denominadas: Estádio I, Estádio II e Estádio III. (PINHEIRO; 2003).

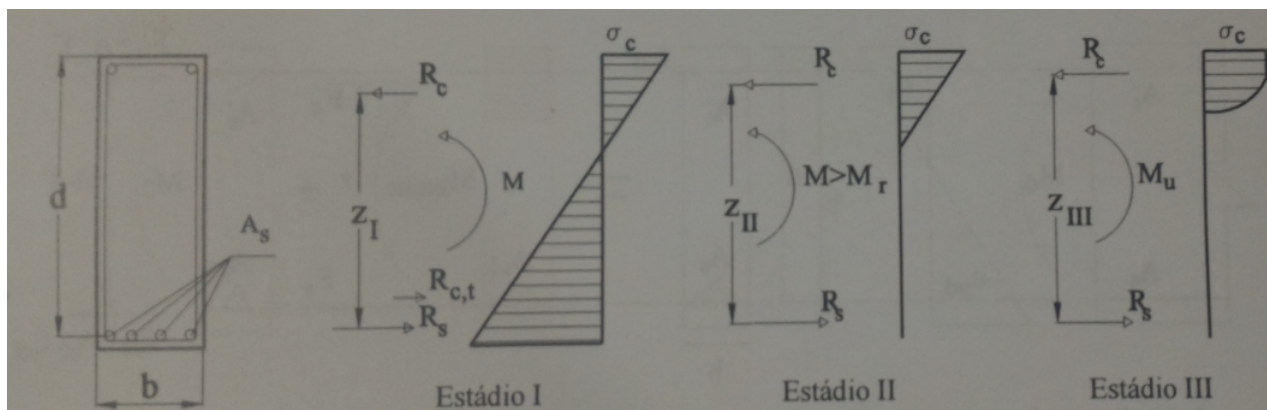
Segundo CARVALHO e FILHO (2014), no estágio I, quando o elemento avaliado é submetido a um momento fletor M_1 de baixa intensidade, a tração no concreto não ultrapassa sua resistência característica à tração, desta forma, pode-se dizer que o concreto resiste sozinho a estas cargas.

Ainda segundo CARVALHO e FILHO (2014), no Estádio II, aumentando-se o valor do momento fletor aplicado na peça, observa-se um estado em que o concreto não consegue mais resistir sozinho à tração e por isso sua resistência à mesma deve ser desprezada, todavia, a sua

resistência à compressão ainda deve ser levada em consideração. Neste caso, considera-se que apenas o aço esteja resistindo à tração. O Estádio II é a fase onde ocorre o surgimento de fissuras.

No estágio III o momento fletor é aumentado a um valor próximo ao de ruína (denominado M_u), a zona comprimida do concreto começa a plastificar e este se encontra na iminência da ruptura. Explicam CARVALHO e FILHO (2014).

Figura 2: Comportamento da seção transversal de uma viga de concreto na flexão normal simples.



Fonte: "Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118:2014", CARVALHO, Roberto e FILHO, Jasson. 2014

Onde: d – altura útil

b – largura da viga

A_s – área de aço da viga

Z_I, Z_{II}, Z_{III} – braço de alavanca

R_c – Reação do concreto à compressão

$R_{c,t}$ – Reação do concreto à tração

R_s – Reação do aço à tração

M – Momento fletor

M_r – Momento de fissuração

M_u – Momento estado de ruptura

2.4 MOMENTO FLETOR

Como explicado por SORIANO (2013) e SUSSEKIND (1981), momento é o efeito, de uma força aplicada, que tende a provocar um giro na estrutura. Ao abrir uma porta, por exemplo, ela gira em torno de seu eixo vertical, no caso, as dobradiças. Observa-se também que

quanto mais próximo desse eixo, maior é a força necessária para realizar o giro, pode-se afirmar, então que o efeito do momento está diretamente relacionado com o ponto de aplicação da força. Se tratando de vigas em geral, as peças se mantêm estáticas, assim, o momento representa a tendência de uma força em provocar rotação na peça, cuja resultante é a flexão da mesma, este é denominado Momento Fletor. Este momento provoca esforços de tração nas fibras externas e compressão nas fibras internas do elemento avaliado.

2.5 MOMENTO DE INÉRCIA DE UMA SEÇÃO

Como define MACGRAWHILL (1998), o momento de inércia, também é conhecido como momento de segunda ordem. Levando em consideração uma seção em relação a um eixo pré-definido no plano da área, o momento de inércia é obtido pelo somatório dos momentos de inércia em relação a esse mesmo eixo comum a todos os elementos de área contidos na seção.

2.5.1 Estado Limite de Deformação Excessiva

Conforme a NBR 6118:2014, item 3.2.4, Estado Limite de Deformações Excessivas é o "estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para utilização normal da edificação".

Para verificação do comportamento da estrutura, são definidos, pela NBR 6118:2014 no item 13.3 os deslocamentos limites aceitáveis para diversos elementos estruturais e não-estruturais, classificados de acordo com a finalidade da restrição da flecha, assim sendo, as deformações devem ser controladas para se manterem dentro destes limites. Como define a norma, ainda no item 13.3 "Deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura".

Como afirmam CARVALHO e FILHO (2014), existem diversas razões para se limitar os deslocamentos e deformações nas estruturas, sendo quatro classificações básicas: limitação da flecha para prevenir vibrações e efeitos visuais indesejados, em condições especiais, garantindo a aceitabilidade sensorial; limitação dos deslocamentos provenientes de efeitos específicos que podem impedir a utilização adequada da construção; reduzir os efeitos que podem afetar o funcionamento de elementos não estruturais; limitação dos efeitos que possam prejudicar o funcionamento de elementos estruturais.

Ainda segundo CARVALHO e FILHO (2014), os modelos de deformação e rotação das estruturas deverão ser determinado por meio da rigidez efetiva das seções da peça, levando em conta a presença de armaduras, fissuras e as deformações diferidas no tempo. Como as deformações reais dependem do processo construtivo e das propriedades dos materiais no momento de sua solicitação, existe uma grande variabilidade desses valores e, portanto, não se pode esperar grande precisão de deslocamentos dados por métodos analíticos.

Mesmo que não apresentem grande precisão, essas determinações são necessárias para se garantir um funcionamento adequado das estruturas e são de grande importância na prevenção de efeitos indesejados, que possam ser incômodos ou até prejudiciais aos usuários e a na prevenção de patologias.

2.5.1.1 Flecha

Para vigas de concreto armado o deslocamento máximo, verificado no ponto de maior deslocabilidade da peça, que no caso de vigas biapoiadas será o centro da peça, provocado por uma força uniformemente distribuída, aplicada em toda a sua extensão, e por uma força unitária, concentrada no ponto de maior deslocabilidade, é chamado de Flecha, de acordo com a definição da NBR 6118:2014. Ainda segundo a norma, sempre é necessário verificar a flecha nos elementos estruturais, não importando a altura útil do elemento.

2.5.1.1.1 Procedimentos para limitar a Flecha

Caso sejam detectadas deformações excessivas nas estruturas existem diversas medidas que podem ser tomadas para reduzir seus efeitos sobre as peças estruturais. Abaixo estão descritos alguns métodos, listados pela revista *Téchne* (Edição 81 – dezembro de 2003), baseados no capítulo nove, "Deformações em peças de concreto", escrito por Russell S. Fling, do livro organizado por Edward G. Nawy, chamado "Concrete Construction Engineering Handbook". (TÉCHNE; 2003).

- Aumentar as dimensões de vigas e lajes: este procedimento leva a uma redução direta da fissuração, porém, muitas vezes é limitado por razões arquitetônicas. Quando for possível, deve ser aplicado, pois, pode mudar a peça do estado de fissurado para o não-fissurado.
- Aumentar as armaduras: O aumento da armadura de tração pode diminuir significativamente as deformações de vigas fissuradas. Já o aumento da armadura de compressão não diminui as deformações imediatas, mas pode reduzir o aumento das deformações com o tempo, decorrentes da retração e da fluência. Implementar ou aumentar a armadura de protensão também pode influenciar positivamente, pois, a protensão é projetada para provocar uma carga equivalente para cima, que equilibra parte da carga aplicada sobre a estrutura.
- Retardar o primeiro carregamento do concreto: a resistência da peça no primeiro carregamento, isto é, quando submetida a cargas pela primeira vez, irá determinar o comportamento da mesma diante das deformações, portanto, para assegurar o bom funcionamento do elemento, devem ser asseguradas altas resistências quando for aplicado o primeiro carregamento. Nessa fase, embora tenha resistência necessária para suportar o carregamento,

não tem resistência à tração adequada para não fissurar e um elemento fissurado pode ter uma flecha várias vezes maior que um não-fissurado.

- Planejar os procedimentos de escoramento e reescoramentos: Muitos estudos indicam que a carga introduzida nos pavimentos pelo escoramento e reescoramento pode alcançar até o dobro das cargas provenientes do peso próprio desses. Nota-se ainda que os pavimentos, mesmo com reescoramento, são submetidos a mais de 30% do seu peso próprio com a idade de quatro a cinco dias, momento em que ainda apresentam baixas resistências, resultando em um comportamento desfavorável e causando uma fissuração indesejada no elemento. Aplicar reescoras a um maior número de pavimentos, assim como uso de escoras permanentes e um planejamento adequado das sequências de retirada das escoras ajudam a diminuir essas cargas.
- Utilizar contraflechas em lajes e vigas: Contraflechas não modificam o valor real das flechas, mas possibilitam reduzir a flecha visível, reduzindo a necessidade de acertos com enchimentos e proporcionando menor percepção visual. Com os sistemas modernos de fôrmas a introdução de contraflechas não é conveniente, porém existem situações onde tal procedimento pode ser útil e aplicável.

2.6 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NA ENGENHARIA CIVIL

Antes do surgimento dos microcomputadores, a fase de projetos da construção civil era particularmente simplificada, ainda que existissem edificações mais elaboradas, poucas ousavam sair do modelo “padrão” retangular, isto pois, todo o projeto era executado manualmente, com desenhos em pranchetas e os cálculos feitos em calculadoras científicas. Tais procedimentos consumiam um tempo muito maior e utilizavam de vários recursos e modelos simplificados para agilizar e facilitar todo o processo, resultando em pouca precisão.

Antes, o projeto era feito por modelos matemáticos simples, porque havia ferramentas para isso, como as pequenas máquinas de calcular. Entretanto, à medida que as estruturas foram se sofisticando, o custo também foi crescendo. Com a evolução dos microcomputadores e dos softwares, ferramentas poderosas foram criadas com a finalidade de auxiliar os engenheiros a executar os projetos. (FISCHER, 2003).

A possibilidade de se construir estruturas cada vez mais esbeltas e arrojadas trouxe, sem dúvida, um grande avanço tecnológico à construção civil. Na mesma medida, porém, foi preciso pagar um alto preço: o cálculo dessas estruturas é cada vez mais complexo e refinado. (FISCHER, 2003).

Com a evolução dos recursos e da capacidade de se construir edificações cada vez mais complexas, e com o surgimento de clientes mais exigentes, o uso da informática na construção civil tornou-se imprescindível.

Além de proporcionarem economia de tempo, os softwares permitem, também, que os profissionais testem inúmeras alternativas até chegarem a um modelo estrutural tecnicamente viável, com segurança, durabilidade e custos compatíveis com o orçamento da obra.

A contribuição dos microcomputadores no processo de projeto começou de forma simples, com a automatização de tarefas específicas, como planilhas eletrônicas, sistemas de banco de dados e editores de texto. Posteriormente, começaram a ser desenvolvidas ferramentas especializadas para ajudar no desenvolvimento de desenhos, os chamados Desenhos Assistidos por Computador (CAD, ou Computer-Aided Design). Mas foi somente com a chegada das redes locais de computadores (LAN), na década de 90 que as várias ferramentas começaram a se integrar. A partir daí surgiram programas mais elaborados que comunicavam entre si, mesmo os que eram desenvolvidos por empresas diferentes, houve um grande investimento na área e as grandes aplicações que são utilizadas até hoje foram criadas.

Porém, o que poderia ser apenas um avanço acabou gerando um problema, de fato aplicações mais completas e fáceis de trabalhar foram surgindo, essa facilidade permitiu que uma grande quantidade de profissionais não especializados (e muitas vezes não formados) se aventurassem a operar essas tecnologias, desenvolvendo projetos arquitetônicos e até estruturais sem o menor conhecimento sobre estruturas.

França, (2003), em relato à revista *Techne*, faz algumas considerações sobre o fato, ressaltando que o uso de softwares só adquire um resultado satisfatório se for operado por um engenheiro capacitado e experiente, capaz de encontrar os possíveis erros de execução, assim sendo, a falta de experiência é a causa da grande maioria dos erros. França ainda afirma que:

Para se chegar a um bom resultado, vale lembrar que são tomadas uma série de decisões técnicas enquanto se projeta com essas ferramentas e que, para isso, o pré-requisito é o conhecimento de engenharia e não a habilidade de se lidar com o software... A resposta real das estruturas de concreto é chamada resposta não-linear. O que os nossos programas, mesmo os mais sofisticados, fornecem são respostas aproximadas desse comportamento. Daí é imprescindível que o profissional saiba avaliar quando uma resposta aproximada não é válida. (TÉCHNE, 2003).

Mesmo com suas limitações, não se pode negar o fato de que esses programas são essenciais para a engenharia civil atual. A própria Abece (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) estimula o uso das ferramentas nos escritórios e reforça que a aprendizagem deve ocorrer ainda durante a graduação, buscando integrar à grade curricular dos cursos as matérias referentes e incentivando os alunos a procurar cursos de especialização ou estágios em escritórios especializados em cálculos estruturais. Porém, ressalva a necessidade de que sejam manipuladas por profissionais com experiência de projeto.

Assim como a tecnologia continua a evoluir, é lógico pensar que a engenharia civil tende a tirar proveito dos aparelhos tecnológicos mais avançados que se tem hoje. Assim como um dia os microcomputadores foram uma revolução, hoje os smartphones é que tomam esse lugar. A

integração de vários aparelhos que há dez anos deveriam ser comprados separadamente, como câmeras fotográficas, leitores de e-mails, leitores de livros digitais, e os próprios celulares, entre outros; tudo isto com uma capacidade de processamento e armazenamento milhares de vezes maior que os primeiros microcomputadores e ainda com a vantagem de poderem ser levados a qualquer lugar e terem uma gigantesca autonomia de bateria que permite que os aparelho mais atuais trabalhem por um dia inteiro sem a necessidade de recarga mostra o quão promissora é esta plataforma e como ela pode rapidamente assumir também o mercado dos aplicativos para engenharia civil, assim como já assumiu a liderança no mercado consumidor. Mesmo que atualmente os aplicativos ainda sejam modesto, a tendência é o surgimento de aplicações cada vez mais completas e complexas, capazes de explorar todos os recursos que esses aparelhos podem oferecer.

2.6.1 Android

O Android é uma plataforma para smartphones, baseada no sistema operacional Linux, que possui diversos componentes, com uma variada disponibilidade de bibliotecas e interface gráfica, além de disponibilizar ferramentas para a criação de aplicativos. (LECHETA, 2009 apud HUBSCH, 2012)

O grande diferencial desta tecnologia está em disponibilizar um sistema de código aberto, permitindo que qualquer fabricante possa utilizá-lo em seu aparelho móvel, além de permitir que os desenvolvedores de softwares independentes (que não fazem parte de uma grande empresa) pudessem desenvolver de forma livre para a plataforma.

HUBSCH (2012), ressalta que outro ponto atrativo sobre esta tecnologia é o seu funcionamento que se dá através de camadas chamadas de: Applications; Application Framework, Libraries e Android Runtime; e Linux Kernel. Esta arquitetura foi consequência da busca por um funcionamento leve e fluido mesmo com recursos limitados de processamento, mesmo que atualmente esses recursos não sejam mais tão limitados quanto eram na época em que o sistema foi lançado, esta ainda é uma de suas maiores funcionalidades.

Na camada Applications, estão listadas as aplicações padrão que veem inclusos no aparelho como e-mail, programa de SMS, calendário, mapas, navegador, gerenciador de contatos, e todas as aplicações desenvolvidas pela comunidade.

Já na camada Application Framework estão diversos componentes que permitirão a utilização de vários recursos por futuras aplicações, enfatizando a reutilização de código e a liberdade de criação e publicação.

O Kernel é responsável por permitir a união entre a parte física do aparelho (hardware), como processador e memórias, e os softwares. De certa forma ele traduz a linguagem de programação para a linguagem de hardware, permitindo o envio de informações e recursos de processamento para os aplicativos que necessitem, e também, reduzindo o consumo destes

recursos, quando necessário. Também gerencia o uso da memória RAM, possibilitando seu uso em seu potencial sem riscos.

O Runtime e Libraries são bibliotecas que atuam em segundo plano para automatizar tarefas comuns realizadas por diferentes aplicativos rodando ao mesmo tempo. Também são utilizados para melhorar o desempenho do aparelho, agilizando a execução de aplicativos e para reduzir os recursos necessários, tais como o espaço de armazenamento em disco, o uso de memória e de uso da CPU.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto desenvolvido nesse trabalho, é norteado por pesquisas quantitativas inerentes ao cálculo estrutural em vigas de concreto armado, buscou-se estabelecê-lo e fundamentá-lo de forma coesa e clara, tendo como principais referenciais a ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de Estruturas de Concreto) e a obra “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado”. Uma vez explicitados e deduzidos, todos os cálculos, foram portados e adaptados para serem compatíveis com a criação de um software para aparelhos portáteis compatíveis com a plataforma Android.

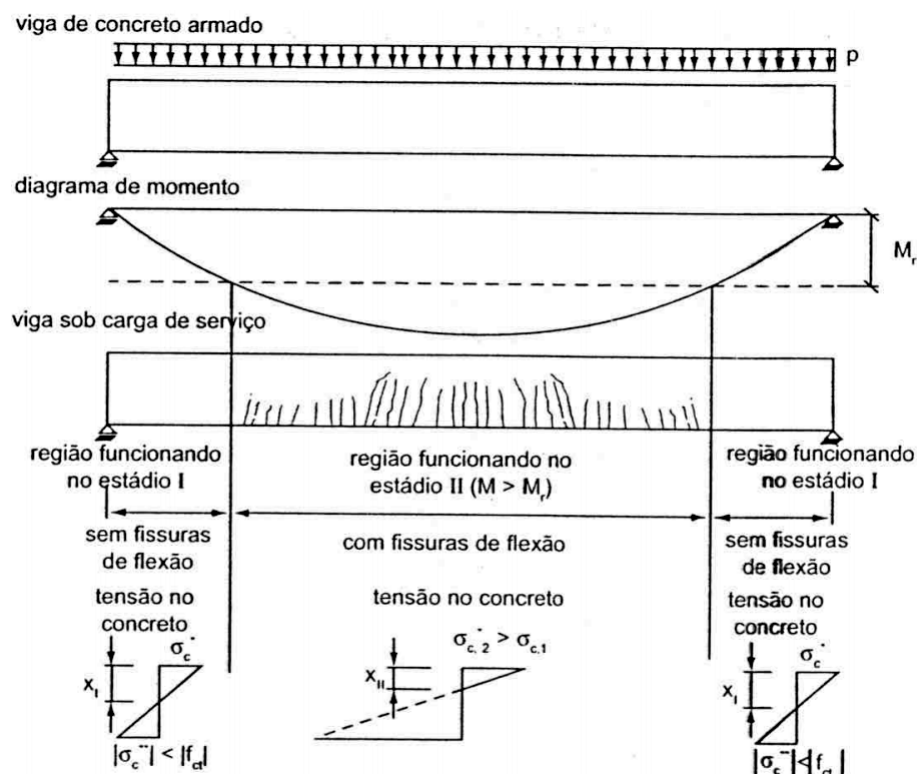
Este trabalho foi desenvolvido após revisão bibliográfica de literatura, à qual teve como principal finalidade o desenvolvimento da aprendizagem por parte dos envolvidos neste trabalho quanto aos conceitos e definições inerentes ao conteúdo abordado no âmbito do Cálculo e Determinação do Estado Limite de Deformação Excessiva em Vigas de Concreto Armado (Flecha de Deformação).

3.1 DETERMINAÇÃO DA FLECHA

Para vigas executadas com materiais que seguem as leis da resistência dos materiais (aqueles que apresentam comportamento elástico e linear), o cálculo do deslocamento a , em um ponto K , caso este seja o ponto de maior deslocamento da peça, será chamado de Flecha, como nos afirma a NBR 6118.

Para execução dos cálculos necessários a este trabalho, foi seguida a metodologia descrita por Carvalho e Filho (2014) em “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014”, apresentado no capítulo 4, "Detalhamento da Armadura Longitudinal (Flexão) na Seção Transversal e Estados Limites de Utilização.

Segundo esta metodologia, é necessário primeiramente determinar a inércia média do trecho da viga que está atuando no estágio I, descrita por eles como sendo os trechos próximos aos apoios, como pode ser visto na figura a seguir que é um exemplo genérico das ações em que uma viga é submetida e as consequências proveniente destas.

Figura 3: Viga de concreto armado simplesmente apoiada sob ações de serviço

Fonte: “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014” CARVALHO, Roberto e FILHO, Jasson. 2003

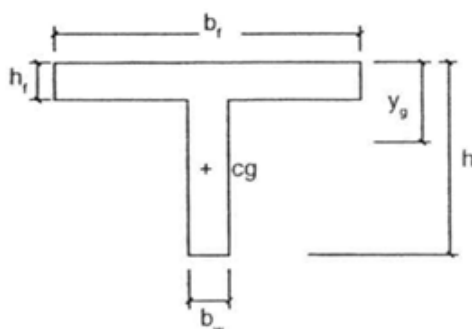
Para determinar a flecha será necessário, primeiramente, devido as deformações não-lineares da estrutura, homogeneizar as ações atuantes na peça para que estas deformações sejam incorporadas ao cálculo, isto pois, a metodologia de cálculo considera as deformações como sendo lineares, este processo pode ser feito através da determinação da inércia média da peça, dada pela combinação dos efeitos das inércias nos Estádios I e II.

Dando início as determinações, será, primeiramente, verificado o valor da inércia média do trecho da viga que está atuando no estágio I.

Uma vez que, assim como afirmam CARVALHO e FILHO (2014), a contribuição do aço em resistir às cargas de compressão é desprezível, e este não é solicitado em estruturas que atuam no Estádio I, pode-se desprezar a sua área. Desta forma é possível obter a área da seção bruta de concreto (A_g), necessária aos cálculos, e que representa a área da seção que está resistindo as cargas atuantes, através da equação abaixo:

$$A_g = (b_f - b_w).h_f + b_w.h \quad (1)$$

Para resolução da equação acima é necessário conhecer os valores de b_f , que representa a largura da mesa (topo) de uma viga de seção “T”; b_w , que é a largura da base da viga em questão; h_f , que se trata da altura da mesa da viga de seção “T” e h que é a altura da viga propriamente dita. Estas definições podem ser melhor vistas na figura abaixo:

Figura 4: Seção Transversal “T” sem armadura

Fonte: “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014” CARVALHO, Roberto e FILHO, Jasson. 2014; p. 194.

Uma vez tendo estes valores em mãos é possível determinar a área da seção bruta de concreto que é necessária para a determinação da posição y do centro de gravidade da viga (y_{cg}), que por sua vez auxiliará na determinação da Inércia média da seção. A posição do centro de gravidade da peça pode ser obtida pela expressão a seguir:

$$y_{cg} = \frac{(bf-bw).(hf^2/2)+bw.h^2/2}{A_g} \quad (2)$$

Após, então, determinar a área da seção bruta de concreto e a posição do centro de gravidade, é possível determinar o momento de inércia à flexão, dado pela expressão:

$$I_g = \frac{(bf-bw).hf^3}{12} + \frac{bw.h^3}{12} + (bf - bw).hf.(y_{cg} - \frac{hf}{2})^2 + bw.h.(y_{cg} - \frac{h}{2})^2$$

Como este caso trata do detalhamento de uma viga de seção retangular, pode-se considerar $bf = bw$ ou $hf = 0$. Após simplificar as expressões, tem-se que:

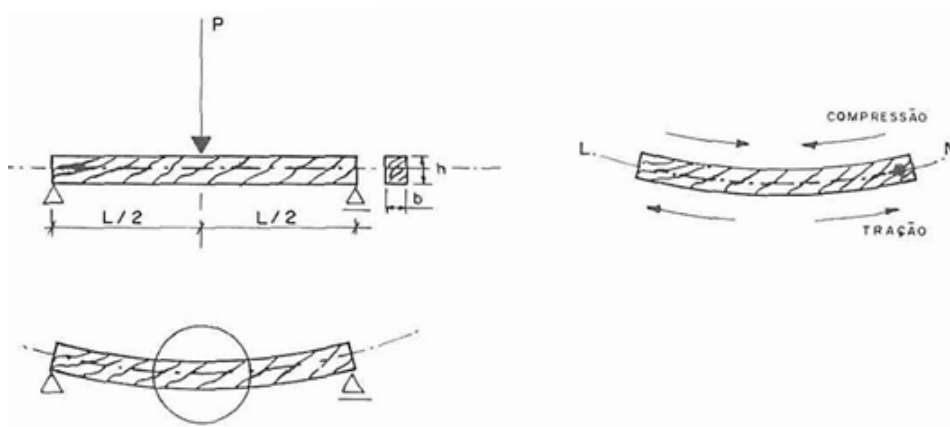
$$\bullet \quad A_g = bw.h \quad (3)$$

$$\bullet \quad y_{cg} = \frac{bw.h^2/2}{A_g} \quad (4)$$

$$\bullet \quad I_g = \frac{bw.h^3}{12} + bw.h.(y_{cg} - \frac{h}{2})^2 \quad (5)$$

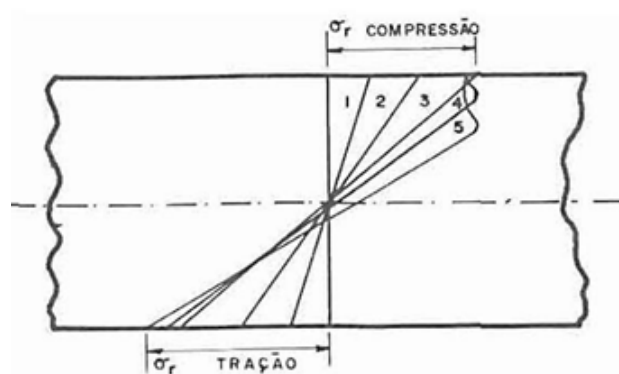
Uma vez determinada a inércia da seção no Estádio I, resta a definição da inércia no Estádio II, no qual tem-se uma situação em que o concreto está comprimido e o aço tracionado, portanto, é preciso determinar a posição da linha neutra. A linha neutra é o ponto em que as deformações e tensões na peça são nulas, ela delimita o ponto em que as tensões se invertem, ou seja, as tensões atuantes acima e abaixo deste ponto terão efeitos contrários. Como explicam ROCHA, et al. (1988), a viga é deformada em forma de um arco circular devido as ações das cargas externas, provocando encurtamento da seção na parte côncava e alongamento na parte convexa, a seção encurtada sofre compressão, e a seção alongada sofre tração, isto pode ser melhor observado nas figuras a seguir:

Figura 5: Viga Submetida à Flexão



Fonte: FONTE: ROCHA, et al. (1988). Acta Amazônica, v. 18; p. 149.

Figura 6: Distribuição de tensão-deformação em vigas carregadas



Fonte: FONTE: ROCHA, et al. (1988). Acta Amazônica, v. 18; p. 150.

Por definição, o próximo passo é o cálculo da inércia da seção no estágio II puro, concreto comprimido e aço tracionado. Para tanto é preciso determinar a posição da linha neutra e, assim, determinar a seção comprimida e a seção tracionada da viga. A posição da linha neutra pode ser determinada pela expressão:

$$x = \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} \tag{6}$$

Para solucionar esta expressão é preciso calcular os coeficientes dimensionais a1, a2 e a3, que relacionam as dimensões da viga e as propriedades físicas dos materiais que a compõem, permitindo determinar a profundidade da linha neutra, os quais podem ser obtidos através das expressões:

$$a_1 = \frac{bw}{2} \tag{7}$$

$$a_2 = hf \cdot (bf - bw) + (\alpha_e - 1) \cdot As' + \alpha_e \cdot As \tag{8}$$

$$a_3 = d' \cdot (\alpha_e - 1) \cdot As' - d \cdot \alpha_e \cdot As - \frac{hf^2}{2} \cdot (bf - bw) \tag{9}$$

Também será necessário determinar o coeficiente α_e que representa a relação entre os módulos de deformação longitudinal do aço e do concreto e que pode ser obtido através da expressão: $\alpha_e = \frac{E_s}{4760\sqrt{f_{ck}}}$ Em que E_s é o Módulo de Deformação Longitudinal do Aço.

Para, enfim, determinar-se a Inércia no Estádio II é preciso, primeiramente, verificar a posição da linha neutra em relação à mesa, podendo ser realizadas, mais uma vez, as simplificações devido a situação de vigas de seção retangular, como visto anteriormente. A equação que determina seu cálculo depende da posição da linha neutra em relação a h_f , sendo necessário observar se esta estará contida na mesa ou abaixo dela. Uma vez que $h_f = 0$ sempre haverá uma relação em que a posição da linha neutra estará abaixo da mesa, assim, a inercia no Estádio II será dada pela expressão abaixo:

$$I_{II} = \frac{bf.x^3}{3} + \alpha_e.As.(x-d)^2 + (\alpha_e - 1).As'.(x-d')^2 \quad (10)$$

Caso a posição da linha neutra seja maior que h_f , poderá ser definido I_{II} pela expressão:

$$I_{II} = \frac{(bf-bw).hf^3}{12} + \frac{bw.x^3}{3} + (bf-bw).(x-\frac{hf}{2})^2 + \alpha_e.As.(x-d)^2 + (\alpha_e - 1).As'.(x-d')^2$$

Como o caso adotado para definição deste trabalho trata-se de vigas de seção retangular, poderá ser considerado $bw = bf$, $hf = 0$. Uma vez que $hf = 0$, sempre irá se obter a relação $x > hf$, assim, as expressões devidamente simplificadas ficarão como:

$$\bullet a_1 = \frac{bw}{2} \quad (11)$$

$$\bullet a_2 = (\alpha_e - 1).As' + \alpha_e.As \quad (12)$$

$$\bullet a_3 = -d'.(\alpha_e - 1).As' - d.\alpha_e.As \quad (13)$$

$$\bullet \alpha_e = \frac{E_s}{4760.\sqrt{f_{ck}}} \quad (14)$$

$$\bullet I_{II} = \frac{bw.x^3}{3} + \alpha_e.As.(x-d)^2 + (\alpha_e - 1).As'.(x-d')^2 \quad (15)$$

$$\bullet E_{cs} = 4760.\sqrt[2]{f_{ck}} \quad (16)$$

Uma vez obtidos os valores das Inércias das seções, é possível determinar a Inércia média em toda a viga, para tanto, será utilizado o modelo simplificado de Branson, um modelo para análise da inércia média em seções de vigas de concreto armado, que considera, de forma resumida, as ações das fissuras ao longo da peça. Na execução deste trabalho foi utilizada a expressão adaptada pela NBR 6118:2014, item 17.3.2.1.1, que permite o cálculo da rigidez equivalente, através da expressão de Branson, que pode ser vista na equação a seguir, e que é utilizada na determinação da Flecha imediata em vigas de concreto armado. Por definição, rigidez representa a força que provoca uma deformação unitária no elemento analisado.

$$(E.I) = E_{cs}.\left\{\left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3.I_g + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right].I_2\right\} \leq E_{cs}.I_g \quad (17)$$

Neste modelo, M_r é o momento de fissuração do concreto; M_a é o momento solicitante na seção de maior dissociabilidade, no caso de vigas biapoiadas é dado pelo momento máximo;

E_{cs} é o módulo de elasticidade secante do concreto; estes valores podem ser obtidos pelas seguintes expressões:

$$\bullet M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ctm} \cdot I_g}{y_t}; \quad (18)$$

Como define a NBR 6118:2014, item 17.3.1, α é o fator que relaciona a resistência a tração na flexão e a resistência a tração direta do concreto, este fator depende da seção da viga estudada, para vigas de seção retangular seu valor é: $\alpha = 1,5$.

Ainda por definição da NBR 6118:2014, item 8.2.5, f_{ctm} será dado pela equação a seguir e representa a resistência média do concreto à tração. Este valor de f_{ct} (resistência do concreto à tração) deve ser utilizado para o cálculo de M_r devido ao fato de estar sendo verificado o estado limite de deformação excessiva.

$$\bullet f_{ctm} = 0,3 \cdot F_{ck}^{(2/3)} \quad (19)$$

Por sua vez, y_t é a distância do centro de gravidade à fibra mais tracionada da peça, que pode ser obtida por: $y_t = h - y_{cg}$. Estas expressões são válidas para concretos até C50.

O momento solicitante na seção crítica, será:

$$\bullet M_a = \frac{p l^2}{2}; \quad (20)$$

Neste caso, l é o comprimento do vão da viga avaliada e p é a carga solicitante, obtida pela combinação quase permanente entre as cargas permanentes e variáveis (também chamadas de cargas acidentais), atuando em estado limite de serviço, no qual as cargas acidentais serão submetidas a um fator de redução φ_{f2} , que depende do tipo de carga atuante, da situação do local em que estas cargas serão aplicadas e do estado no qual estará atuando a peça submetida a estas cargas, esta redução é realizada porque são raros os momentos em que estas cargas estarão atuando em sua totalidade, no caso de ações em estado limite de serviço, será dado pelo coeficiente φ_2 , que pode ser observado na figura a seguir:

Figura 7: Viga Submetida à Flexão Valores do coeficiente φ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_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 ^b	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 ^c	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

^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.
^b Edifícios residenciais.
^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: FONTE: ABNT NBR 6118:2014, “Aço destinado a armaduras para estrutura de concreto armado”. Item 11.7.1; Tabela 11.2; p. 65.

Assim, a carga solicitante p pode ser determinada pela expressão abaixo, onde q representa a carga permanente e g a carga acidental.

$$\bullet p = q + \varphi_2 \cdot g \quad (21)$$

Por fim utiliza-se, para determinação da Flecha, a expressão:

$$\bullet a = \frac{\alpha_c \cdot p l^4}{(E \cdot I)}$$

na qual o coeficiente α_c representa a condição estática do sistema e o tipo de ações atuantes, no caso de vigas simplesmente apoiadas e cargas distribuídas, é dado por:

$$\alpha_c = \frac{5}{384}$$

3.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento do software, foi escolhida a plataforma Unity, muito comum na criação de jogos mobile (jogos para celular) sendo apresentada como Game engine ou motor de jogo. O estilo de programação e organização são simples o que a torna viável para realização deste trabalho.

A linguagem em que o software foi desenvolvido foi o C# (leia-se C-Sharp).

Como define COIMBRA (2013), é uma linguagem de programação orientada a objetos, desenvolvida pela Microsoft e que faz parte da plataforma .NET. Embora C# tenha sido criada do zero, esta é baseada na linguagem C++ e possui diversos elementos das linguagens Java e Pascal.

Todos os códigos utilizados em sua execução, estão presentes no apêndice deste trabalho. Nestes estão definidas todas as variáveis e equações a serem executadas pelo software.

Basicamente, o funcionamento desta ferramenta se dará através da inserção dos valores das variáveis, por parte do usuário, inerentes à estrutura a ser analisada. Uma vez informados os dados, o software realizará os cálculos em segundo plano, exibindo, como resultado final, a flecha imediata.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mencionado, o cálculo de flecha a ser executado pelo aplicativo, se aplica em situações onde a viga está simplesmente apoiada. Ainda que esta situação não seja a mais usual, sua determinação auxilia na detecção de irregularidades na viga e não deve ser descartada. Apesar das considerações abordadas serem mais comuns em pontes e viadutos pode-se citar que as vigotas pré-fabricadas também se encaixam no contexto abordado por este trabalho.

Para determinar a precisão do software desenvolvido, no que diz respeito à determinação da flecha imediata, foi realizada a validação do aplicativo mediante a resolução de um exercício proposto, cujo desenvolvimento se deu por método de cálculo manual e, posteriormente, sua dedução através do aplicativo. Então, foi feita uma análise comparatória entre os resultados obtidos através da resolução manual e da resolução através do aplicativo, onde pode-se verificar a sua efetiva precisão na realização dos cálculos.

4.1 EXERCÍCIO RESOLVIDO CONTENDO DETERMINAÇÃO DA FLECHA IMEDIATA

Fonte: Prof. ALVA, Gerson M.S. "Verificação dos ELS em viga de concreto armado", Universidade Federal de Santa Maria

Dados do Exercício:

- b_w (largura da viga): 15cm
- A_s (área de aço): $6,03\text{cm}^2$
- g_k (carga permanente): $14\text{KN}/\text{m}^2$
- q_k (carga acidental): $5\text{KN}/\text{m}^2$
- h (altura da seção): 40cm
- d (altura útil da viga): $36,7\text{cm}$
- f_{ck} (resistência do concreto à compressão): 20MPa
- l (medida do vão): $4,8\text{m}$

Em um primeiro momento o autor, realiza uma comparação entre M_r (momento de fissuração) e M_a (momento relativo à combinação rara de serviço) para descobrir em que estágio a peça irá trabalhar.

- Momento de Fissuração

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t}$$

$\alpha = 1,5$ (fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta, seu valor varia de acordo com a seção que, neste exemplo, é retangular)

$$I_c = \frac{14 \cdot 40^3}{12} = 80000 \text{ cm}^4 \text{ (momento de inércia da seção bruta de concreto)}$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm} \text{ (distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada)}$$

Para a verificação de formas de fissuras, f_{ct} é igualado ao valor de $f_{ctk,inf}$ (resistência inferior do concreto à tração) enquanto na verificação (ou cálculo) de deformações excessivas, f_{ct} será igualado ao valor de $f_{ct,m}$ (resistência média do concreto à tração).

$$f_{ct} = f_{ctk,inf}$$

$$f_{ct} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,21 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$$

$$f_{ct} = 0,21 \cdot (20)^{(2/3)} = 1,55 \text{ Mpa} = 0,155 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,155 \cdot 80000}{20} = 928 \text{ KN.cm}$$

Na combinação rara as cargas aplicadas nas vigas são tomadas com seus valores frequentes.

$$p_d = g_k + q_k = 14 + 5 = 19 \text{ KN/m}^2 \text{ (combinação rara)}$$

$M_a = \frac{p_d \cdot L^2}{8} = \frac{19 \cdot 4,8^2}{8} = 54,72 \text{ KN.m} = 5472 \text{ KN.cm}$ (momento fletor atuante relativo à combinação rara)

$$M_a = 5472 \text{ KN.cm} > M_r = 928 \text{ KN.cm} \text{ (viga trabalhará no estágio II)}$$

Para a verificação (ou cálculo) de deformações excessivas leva-se em consideração a combinação quase-permanente, e a resistência do concreto à tração é igualada à sua resistência média à tração.

$$f_{ct} = f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$$

$$f_{ct} = 0,3 \cdot (20)^{(2/3)} = 2,21 \text{ Mpa} = 0,221 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,221 \cdot 80000}{20} = 1326 \text{ KN.cm}$$

Na combinação quase-permanente a carga acidental é multiplicada por um fator de redução que faz com que o seu valor se aproxime de uma situação real de serviço.

$$p_d = g_k + \varphi \cdot q = 14 + 0,45 = 16 \text{ KN/m}^2$$

$$M_a = \frac{p_d \cdot L^2}{8} = \frac{16 \cdot 4,8^2}{8} = 46,08 \text{ KN.m} = 4608 \text{ KN.cm}$$

$$M_a = 4608 \text{ KN.cm}$$

Para o cálculo do momento de inércia no estágio II (I_{II}), é necessário estabelecer uma relação (α_e) entre o módulo de deformação longitudinal do aço (E_s) e a secante do concreto (E_{cs}), além de determinar a posição da linha neutra (x).

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}}$$

$$E_s = 210000 \text{ Mpa}$$

$$E_{cs} = 0,85.5600\sqrt{f_{ck}} = 21290 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_e = \frac{210000}{21290} = 9,87$$

A linha neutra é determinada igualando o momento estático a zero, em seguida, isola-se a variável x e este, corresponderá ao valor da posição da mesma.

$$15.x.\left(\frac{x}{2} - 9,87.6,03.(36,7 - x)\right) = 0$$

$$x = 13,55 \text{ cm}$$

Por fim, realiza-se o cálculo do momento de inércia no estágio II que será imprescindível para determinação do momento de inércia equivalente (I_{eq}) que é uma das variáveis determinantes da flecha imediata.

$$I_{II} = \frac{15.13,55^3}{12} + 15.13,55.\left(\frac{13,55}{2}\right)^2 + 9,87.6,03.(36,7 - 13,55)^2 = 44319 \text{ cm}^4$$

Momento de Inércia Equivalente

$$I_{eq} = \left(\frac{Mr}{Ma}\right)^3 . I_c + \left[1 - \left(\frac{1326}{4608}\right)^3\right].44319 = 45170 \text{ cm}^4$$

Cálculo de flecha imediata (a) (válida apenas para viga biapoiada)

$$a = \frac{5.p.l^4}{384.E.I}$$

$$p = 16 \text{ KN/m}^2 = 0,0016 \text{ KN/cm}^2$$

$$I = I_{eq} = 45170 \text{ cm}^4$$

$$E = E_{cs} = 0,85.5600\sqrt{f_{ck}} = 21990 \text{ Mpa} = 2129 \text{ KN/cm}^2$$

$$a = \frac{5.0,16.480^4}{384.2129.45170} = 1,147 \text{ cm (valor da flecha imediata)}$$

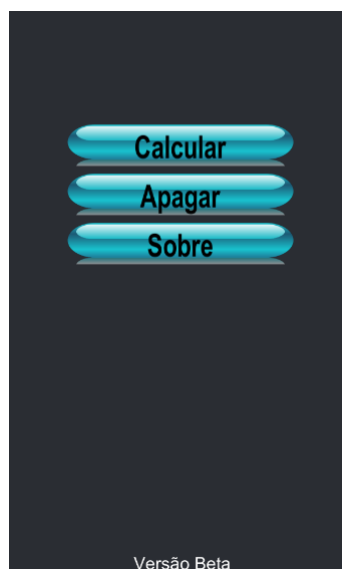
4.2 RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO POR MEIO DO SOFTWARE

O valor da flecha imediata, determinada através do aplicativo, bem como os procedimentos tomados para a sua determinação, está descrita abaixo. A resolução do exercício proposto através do aplicativo será utilizado como forma de apresentação do mesmo e, conseqüentemente, possibilitará uma análise comparativa com o resultado da determinação manual.

Vale ressaltar que mesmo que todos os procedimentos não sejam explicitados na interface do aplicativo, estes são realizados em segundo plano. Isso contribui para tornar o aplicativo mais interativo, reduzindo a quantidade de dados a serem inseridos.

Na Figura abaixo, pode-se ver o menu inicial, onde estão explicitados, respectivamente, os ícones para iniciar o cálculo, apagar dados anteriores e as informações sobre o aplicativo.

Para iniciar o cálculo basta clicar em "Calcular".

Figura 8: Menu Inicial

Fonte: Elaborada pelos autores

Clicando no botão calcular, começa-se a introdução ao cálculo. Os primeiros dados a serem inseridos são relacionados com a viga, sendo estes altura, base e o vão da viga, posteriormente é selecionado qual seção está sendo analisada, neste caso, seção retangular. Os dados que foram inseridos no aplicativo e mostrados nas figuras 9, 10, 11 e 12, correspondem ao exercício previamente resolvido.

Observando-se o código fonte, disposto pela Figura 14, disponível no Apêndice deste trabalho, é possível identificar, entre as linhas 8 a 25, a inserção dos botões que permitem retornar a um menu anterior e avançar ao próximo menu (linhas 8 e 12), e das caixas de diálogo, que permitem que o usuário indique os dados referidos. A partir desta imagem pode-se, também, observar a declaração das primeiras variáveis, linhas 33 a 35. Estas variáveis são declaradas, inicialmente, com valor zero, pois futuramente serão substituídos por aqueles inseridos pelo usuário.

Prosseguindo com as verificações do código fonte observa-se na Figura 15, disponível no Apêndice deste trabalho, a inicialização do Menu 1 e os comandos que armazenam os valores inseridos pelo usuário (linhas 49 a 61).

Figura 9: Dados da seção

Verificação de Flechas

h (cm): 40

b (cm): 15

vão(m): 4.8

Seção retangular

Fonte: Elaborada pelos autores

Prosseguindo ao Menu 2, mostrado pela Figura 10, verificam-se os campos que permitem a inserção dos dados da resistência do concreto; das cargas atuantes, permanentes e acidentais; além do módulo de elasticidade do aço. Os códigos que permitem estas inserções e o seu armazenamento estão visíveis nas linhas 66 a 70 (Figura 15), e nas linhas 71 a 76 (Figura 16), do Apêndice.

Figura 10: Dados dos Materiais

Verificação de Flechas

fck(Mpa): 20

Q(kN/m²): 5

G(kN/m²): 14

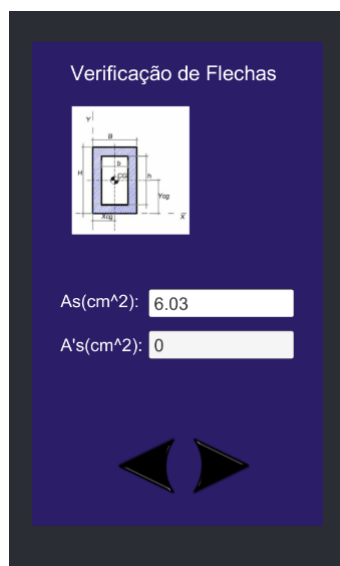
E(MPa): 210000

Fonte: Elaborada pelos autores

Posteriormente são inseridos os dados da área de aço utilizada na viga. A armadura superior ($A's$) não foi considerada pelo autor neste exemplo. Por este motivo o valor foi definido como zero. O mesmo poderia ser informado como área de aço mínima se assim o autor decidisse.

Vale ressaltar que em ambas situações o aplicativo realiza o cálculo. O código fonte que permite a inserção e o armazenamento destes dados, referentes ao Menu 3, pode ser visto na Figura 16 do Apêndice, nas linhas 78 a 89.

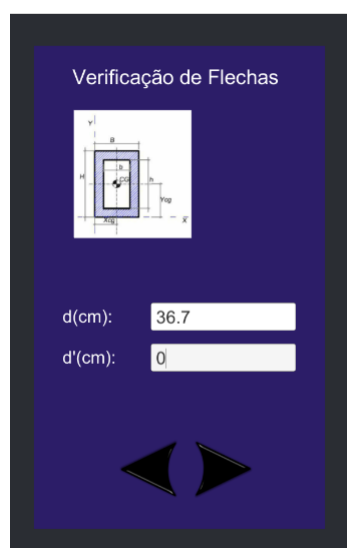
Figura 11: Área de aço



Fonte: Elaborada pelos autores

O Menu 4, permite que sejam inseridos os dados referentes a altura útil da viga. Como a armadura superior não foi considerada, e no exemplo que está sendo solucionado o autor não utiliza armadura mínima, o valor de d' é desprezível, assim tem-se os dados da Figura 12. Os códigos referentes a este menu podem ser vistos na Figura 16 do Anexo e são referentes às linhas 90 a 96.

Figura 12: Altura útil da viga



Fonte: Elaborada pelos autores

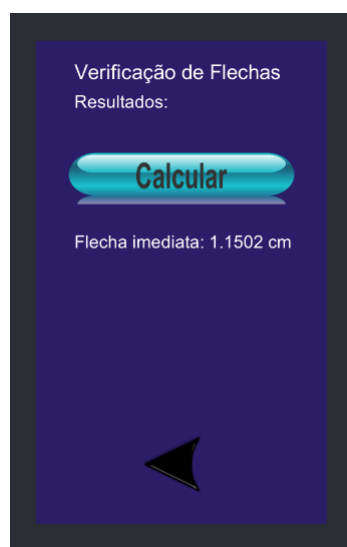
No Menu 5 (Figura 13) é possível calcular, então, o valor da flecha, o aplicativo executa os cálculos, determina a flecha imediata da viga descrita e exibe seu valor.

Uma vez pressionado o botão “Calcular”, iniciam-se uma série de processos que resultam na determinação da flecha. Nas linhas 102 a 104, Figura 16, pode-se ver o código responsável por substituir os valores das variáveis, previamente declaradas, representantes da altura, largura e fck do concreto por aqueles inseridos pelo usuário.

Na figura 17, linhas 107 e 108, são declaradas as variáveis, que serão necessárias para as etapas de cálculo. A partir da linha 118 até a linha 140, são realizados os cálculos das variáveis necessárias a determinação da Inércia Equivalente.

O cálculo prossegue nas linhas 144 a 150 (Figura 18), onde será determinada a posição da linha neutra. Logo em seguida, na linha 154, é verificado o Momento de Inercia no Estádio II, o que possibilita o cálculo da inércia equivalente, que é realizado na linha 158. Finalizando as determinações, a flecha imediata é calculada na linha 161 e armazenada em forma de variável declarada na linha 163. Pode ser observado, na linha 168 o código que exibe o valor da flecha no Menu 4.

Figura 13: Definição da Flecha imediata



Fonte: Elaborada pelos autores

A partir da linha 171 até a linha 250, que podem ser vistas nas Figuras 18 a 21, disponíveis em Apêndice, estão os códigos responsáveis por determinar a forma que as variáveis serão armazenadas.

4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

É notório que a diferença entre os valores (1,147 e 1,150) é oriunda dos métodos em que os cálculos foram realizados, o aplicativo não realiza quaisquer arredondamentos diferentemente do que normalmente ocorre quando se realiza um cálculo "à mão".

A proximidade dos valores é um fator que comprova a eficácia do software na realização deste cálculo.

No anexo deste trabalho consta a Tabela da norma NBR 6118:2014 que dispõe o deslocamento limite aceitável para elementos estruturais aos quais pode-se verificar, caso a deformação ocorra acima da encontrada pelo cálculo estabelecido pelo aplicativo, se esta encontra-se dentro dos parâmetros de segurança.

5 CONCLUSÃO

Durante execução deste trabalho verificou-se a sua relevância na fase de projeto, como forma de analisar a capacidade de receber e suportar as cargas de serviço em uma determinada viga de concreto armado. Mesmo que a situação abordada (viga bi apoiada) não seja a mais comum em obras residenciais, sendo sua maior utilização em pontes e viadutos, sua verificação é de grande relevância para fins de análise e segurança da peça.

Contudo percebe-se a possibilidade de integração do dado aplicativo com outras aplicações nas verificações in loco, em um pós-dimensionamento, ajudando a garantir as condições de estabilidade da peça.

No meio acadêmico funciona como útil ferramenta para o ensino de engenharia, sendo utilizado em análise estrutural com inserção dos dados inerentes ao cálculo e com os parâmetros fiéis à normas, especialmente a NBR 6118:2014.

É preciso ressaltar que os métodos de cálculo apresentados são relevantes caso as suposições realizadas sejam verdadeiras, ou seja, para vigas de concreto armado bi apoiadas de seção retangular os resultados obtidos por esta aplicação serão bastante satisfatórios, como descrevem Carvalho e Filho (2014).

Mesmo em verificações de vigas que não atendam exatamente as determinações feitas, seus resultados podem apontar possíveis patologias na estrutura, que deverão ser verificadas posteriormente. Assim como ressalta França (2003), a utilização de um software sempre trará resultado, mesmo que não seja satisfatório, pois, a capacidade de lidar com o resultado do cálculo está no engenheiro e não na ferramenta, assim, todo resultado é importante desde que se saiba como lidar com ele. (TÉCHNE; 2003)

Mesmo sabendo que, em uma obra residencial, a situação mais comum de estabilidade em vigas seja uma combinação de esforços de flexão, torção, tração, compressão e cisalhamento, e que vigas biapoiadas não sejam muito usuais, além da existência de vigas contínuas e a possibilidade de seções em balanço, não se pode descartar os resultados obtidos sabendo que estes podem indicar a necessidade de intervenções, cabendo ao utilizador interpretar estes resultados, podendo utilizá-los em conjunto com as análises prévias permitindo a verificação posterior destes resultados, com detalhes.

De fato, estes resultados podem ser utilizados também em situações de vistoria, em paralelo ao que acontece com os deflectômetros móveis, onde seu resultado não tem a mesma relevância de um ensaio realizado em laboratório, mas, ajuda a identificar deformações excessivas e a necessidade de intervenções. Um simples indicativo já é o suficiente para iniciar uma possível intervenção possibilitando evitar a ruína de toda a peça e a manter a saúde da obra como um todo.

Uma vez verificada a sua aplicabilidade e a relevância da determinação da Flecha é preciso citar que este aplicativo não é determinante para fins de dimensionamento, como afirma a NBR 6118:2014. Este trabalho determina apenas uma parte da combinação de efeitos que atuam sobre uma viga, sendo uma forma de se verificar a segurança e estabilidade da estrutura através da deformação de flecha imediata e sua atuação se limita a fins de vistorias, além do uso no meio acadêmico.

Como se restringe a tais características (vigas de concreto armado simplesmente apoiadas), este trabalho abre margem para continuidade onde outras situações possam ser levadas em considerações, tais como as vigas engastadas e/ou de materiais que não o concreto armado (como por exemplo perfis metálicos). De caráter complementar, pode-se citar o cálculo da armadura, inserção de apenas carga total aplicada à estrutura e verificação da flecha diferida com o tempo. Estes, são uma extensão da análise abordada neste trabalho e podem ser integradas para se obter uma amplitude maior na área de atuação da aplicação desenvolvida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, Roberto; JASSON, Filho. “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado”. 4a Edição. Editora EduFSCar, São Carlos, 2014.

NATANSON, Elad. Breaking The Android-iOS Duopoly: Will Android And iOS Ever Get A Serious Third Competitor?. FORBES, 6 de junho de 2016. Disponível em: <<http://migre.me/vCN31>>. Acesso em: 14/10/2016.

DISCIPLINA de ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. Disponibilizado pela UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, Prof.: JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. Disponível em: <<http://migre.me/vCN8l>>. Acesso em: 14/10/2016.

DISCIPLINA de Grandes Estruturas. Apostila de “COMPORTAMENTO E ESTABILIDADE GLOBAL DAS ESTRUTURAS”. Disponibilizado pela UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, Prof.: GARCEZ, Estela.

SORIANO, Humberto Lima. Estática das estruturas. 3ª Edição. Ciência Moderna, 2013.

DISCIPLINA de Grandes Estruturas. Apostila de “Comportamento e Estabilidade Global das Estruturas”. Disponibilizado pela UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, Prof.: GARCEZ, Estela.

Deformações estruturais em concreto e soluções. Técnica. Edição 81, dezembro de 2003. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/81/artigo285621-1.aspx>> Acesso em: 05/11/2016

HUBSCH, Eduardo. Uma Abordagem Comparativa do desenvolvimento de aplicações para dispositivo Móveis. Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2012.

LECHETA, R.R. (2013). Google Android – Aprenda a criar aplicações para dispositivo móveis com o Android SDK. 3ª Edição, São Paulo: Editora Novatec, 2013.

RABELLO, Ramon Ribeiro. Android: um novo paradigma de desenvolvimento móvel. WebMobile, Edição 18.

Android Developers. Disponível em: <<http://developer.android.com>> Acesso em: 10/11/2016.

Fischer, Nádia. Softwares auxiliam o cálculo estrutural. Técnica (Edição 73, Abril de 2003). Disponível em: . Acesso em: 15/11/2016.

NASCIMENTO, Luiz Antonio do; SANTOS, Eduardo Toledo. A Contribuição da Tecnologia da Informação ao Processo de Projeto na Construção Civil. Universidade de São Paulo, 2001.

NASCIMENTO, Luiz Antonio do; SANTOS, Eduardo Toledo. A indústria da construção na era da informação. *Ambiente Construído*, v. 3, n. 1, p. 69-81, 2003.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. Verificação dos ELS em viga de concreto armado. Disciplina de “Estruturas de Concreto”. Universidade Federal de Santa Maria.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ROCHA, Jadir de Souza; PAULA, Estevão V. C. M. de; SIQUEIRA, Milton Luiz. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. *Acta Amazônica*. Manaus, v. 18, n. 1-2, p. 147-162, Junho, 1988 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59671988000100147&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13/12/2016.

ARAÚJO, José Milton de. O módulo de deformação longitudinal do concreto. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande. No.1, p.9-16. Novembro, 2000.

PFEIL, Walter. Concreto armado. Livros Tecnicos e Cientificos, 1989.

COIMBRA, Everton. Introdução à linguagem C#. DevMedia, 2013. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/introducao-a-linguagem-c/27711>> Acesso em: 12/12/2016

APÊNDICE A CÓDIGO FONTE

Imagens constando o código fonte do Software.

Figura 14: Declaração de Variáveis exibidas na interface

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3 using System.Collections;
4 using System;
5
6 public class interact : MonoBehaviour {
7
8     public Button btnNext;
9     public InputField inpAlturaViga;
10    public InputField inpLarguraViga;
11    public InputField inpVaoTramo;
12    public Dropdown dpSecao;
13
14    public InputField fckConcreto;
15    public InputField cargaPermanente;
16    public InputField cargaAcidental;
17    public InputField moduloElasticidade;
18
19    public Dropdown agregadoGraudo;
20    public InputField armaduraNegativa;
21    public InputField armaduraPositiva;
22    public InputField Tempo;
23
24    public InputField alturaUtil;
25    public InputField atl;
26
27    public Text flechaImediata;
28    public Text flechaDiferida;
29    public Text flechaTotal;
30    public Text flechaLimite;
31    public Text resultados;
32
33    double altura = 0, largura = 0, vao = 0, cargaA = 0, cargaP = 0, armNeg = 0, armPos = 0, d = 0, d1 = 0;
34    int section = 0, fck = 0, agregGraudo = 0, temp = 0;
35    double modElas = 0;
```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 15: Declaração de Variáveis para cálculo e início das comparações que estabelecerão a forma com que o Software trabalhará

```
36
37 //VARIABLES PARA CALCULO
38
39
40 double alfa, alturaCalc, larguraCalc, fckCalc, pd;
41
42
43 // Use this for initialization
44 void Start ()
45 {
46     btnNext.interactable = false;
47
48
49     if (Application.loadedLevelName == "activt1") {
50         //CARREGAR DADOS
51
52         dpSecao.value = PlayerPrefs.GetInt ("section");
53
54         if (PlayerPrefs.GetFloat ("altura") > 0) {
55             inpAlturaViga.text = PlayerPrefs.GetFloat ("altura").ToString ();
56         }
57         if (PlayerPrefs.GetFloat ("largura") > 0) {
58             inpLarguraViga.text = PlayerPrefs.GetFloat ("largura").ToString ();
59         }
60         if (PlayerPrefs.GetFloat ("vao") > 0) {
61             inpVaoTramo.text = PlayerPrefs.GetFloat ("vao").ToString ();
62         }
63     } else if (Application.loadedLevelName == "activt2") {
64         //CARREGAR DADOS
65
66         if (PlayerPrefs.GetInt ("fck") > 0) {
67             fckConcreto.text = PlayerPrefs.GetInt ("fck").ToString ();
68         }
69         if (PlayerPrefs.GetFloat ("cargaP") > 0) {
70             cargaPermanente.text = PlayerPrefs.GetFloat ("cargaP").ToString ();
71     }
```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 16: Continuação das comparações e início de cálculo

```

71     }
72     if (PlayerPrefs.GetFloat ("cargaA") > 0) {
73         cargaAcidental.text = PlayerPrefs.GetFloat ("cargaA").ToString ();
74     }
75     if (PlayerPrefs.GetFloat ("modElas") > 0) {
76         moduloElasticidade.text = PlayerPrefs.GetFloat ("modElas").ToString ();
77     }
78 } else if (Application.loadedLevelName == "activt3") {
79     agregadoGraudo.value = PlayerPrefs.GetInt ("agregGraudo");
80
81     if (PlayerPrefs.GetFloat ("armNeg") > 0) {
82         armaduraNegativa.text = PlayerPrefs.GetFloat ("armNeg").ToString ();
83     }
84     if (PlayerPrefs.GetFloat ("armPos") > 0) {
85         armaduraPositiva.text = PlayerPrefs.GetFloat ("armPos").ToString ();
86     }
87     if (PlayerPrefs.GetInt ("temp") > 0) {
88         Tempo.text = PlayerPrefs.GetInt ("temp").ToString ();
89     }
90 } else if (Application.loadedLevelName == "activt4") {
91     if (PlayerPrefs.GetFloat ("d") > 0) {
92         alturaUtil.text = PlayerPrefs.GetFloat ("d").ToString ();
93     }
94     if (PlayerPrefs.GetFloat ("d1") > 0) {
95         atl1.text = PlayerPrefs.GetFloat ("d1").ToString ();
96     }
97 }
98 }
99
100 public void calcular()
101 {
102     alturaCalc = PlayerPrefs.GetFloat ("altura");
103     larguraCalc = PlayerPrefs.GetFloat ("largura");
104     fckCalc = PlayerPrefs.GetInt ("fck");
105

```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 17: Declaração de Variáveis utilizadas no cálculo e continuação do mesmo

```

105
106 //VARIÁVEIS QUE NÃO NECESSITAM DE BD
107 double yt = 0, ic = 0, fct = 0, mr = 0, ma = 0, fctm = 0, mr2 = 0, pdQp = 0, es = 0, alfaE = 0, dx2 = 0, x2 = 0, i2 = 0;
108 double asC, alsC, dC, dL, ieQ, ai, ecs;
109
110 if (PlayerPrefs.GetInt ("section") == 0) {
111     alfa = 1.2;
112 }
113 else if (PlayerPrefs.GetInt ("section") == 1)
114 {
115     alfa = 1.5;
116 }
117
118 yt = alturaCalc / 2;
119 ic = (larguraCalc*Math.Pow(alturaCalc, 3))/12; //MOMENTO DE INERCIA
120
121 fct = 0.21 * Math.Pow (fckCalc, 0.66666666);
122
123 mr = ((alfa * fct * ic) / yt)/10; //MOMENTO DE FISSURACAO
124
125 pd = PlayerPrefs.GetFloat ("cargaA") + PlayerPrefs.GetFloat ("cargaP"); //CARGA DE CALCULO
126
127 ma = ((pd * Math.Pow(Convert.ToDouble(PlayerPrefs.GetFloat("vao")), 2))/8)*100;
128
129 fctm = (0.3 * Math.Pow (fckCalc, 0.66666666))/10;
130
131 mr = ((alfa * fctm * ic) / yt); //MOMENTO DE FISSURACAO DEFORMACOES EXCESSIVAS
132
133 pdQp = PlayerPrefs.GetFloat ("cargaA") + (0.4*PlayerPrefs.GetFloat ("cargaP"));
134
135 ma = ((pdQp * Math.Pow(Convert.ToDouble(PlayerPrefs.GetFloat("vao")), 2))/8)*100;
136
137 es = PlayerPrefs.GetFloat ("modElas"); //MODULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO
138
139 ecs = (0.85 * 5600 * Math.Sqrt (fckCalc)); //ESC
140 alfaE = PlayerPrefs.GetFloat("modElas")/ ecs; //ALFA E

```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 18: Continuação do cálculo

```

141
142 //LINHA NEUTRA NO ESTADIO II
143
144 asC = PlayerPrefs.GetFloat ("armNeg");
145 alsC = PlayerPrefs.GetFloat ("armPos");
146 dC = PlayerPrefs.GetFloat ("d");
147 dL = PlayerPrefs.GetFloat ("d1");
148
149 dx2 = Math.Sqrt(Math.Pow(((asC * (2 * alfaE) / larguraCalc) + (alsC * (2 * alfaE) / larguraCalc)), 2) + 4*((2 * alfaE * asC *
150 x2 = (- ((asC*((2*alfaE)/larguraCalc))+(alsC*((2*alfaE)/larguraCalc))) + dx2)/2;
151
152 //MOMENTO DE INERCIA NO ESTADIO II
153
154 i2 = ((larguraCalc * Math.Pow (x2, 3)) / 3) + alfaE * PlayerPrefs.GetFloat ("armNeg") * (Math.Pow ((PlayerPrefs.GetFloat ("d")
155
156 //MOMENTO DE INÉRCIA EQUIVALENTE
157
158 ieQ = Math.Pow((mr/ma),3)*ic + (1 - Math.Pow((mr/ma),3))*i2;
159
160 //FLECHA IMEDIATA
161 ai = (5 * (pdQp/100)*Math.Pow((PlayerPrefs.GetFloat("vao") *100), 4))/(384*(ecs/10)*ieQ);
162
163 PlayerPrefs.SetFloat ("ai", (float) ai);
164
165 }
166 public void ResultadosEx()
167 {
168     flechaImediata.text ="Flecha imediata: " + Math.Round((PlayerPrefs.GetFloat ("ai")), 4).ToString() + " cm";
169 }
170
171 public void activit1TextChanged()
172 {
173     try
174     {
175         altura = Convert.ToDouble(inpAlturaViga.text);
176         largura = Convert.ToDouble(inpLarguraViga.text);

```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 19: Sequência lógica em que os dados inseridos são captados pelo Software

```

177         vao = Convert.ToDouble(inpVaoTramo.text);
178         section = Convert.ToInt16(dpSecao.value);
179
180         PlayerPrefs.SetFloat("altura", (float) altura);
181         PlayerPrefs.SetFloat("largura", (float) largura);
182         PlayerPrefs.SetFloat("vao", (float) vao);
183         PlayerPrefs.SetInt("section", (int) section);
184
185         btnNext.interactable = true;
186     }
187     catch
188     {
189         btnNext.interactable = false;
190     }
191 }
192 public void activit2TextChanged()
193 {
194     try
195     {
196         fck = Convert.ToInt16(fckConcreto.text);
197         cargaP = Convert.ToDouble(cargaPermanente.text);
198         cargaA = Convert.ToDouble(cargaAcidental.text);
199         modElas = Convert.ToDouble(moduloElasticidade.text);
200
201         PlayerPrefs.SetInt("fck", (int) fck);
202         PlayerPrefs.SetFloat("cargaP", (float) cargaP);
203         PlayerPrefs.SetFloat("cargaA", (float) cargaA);
204         PlayerPrefs.SetFloat("modElas", (float) modElas);
205
206         btnNext.interactable = true;
207     }
208     catch
209     {
210         btnNext.interactable = false;
211     }
212 }

```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 20: Continuação da sequência lógica e exibição do resultado final

```

212     }
213     public void activit3TextChanged()
214     {
215         try
216         {
217             //temp = Convert.ToInt16(Tempo.text);
218             //agregGraudo = Convert.ToInt16(agregadoGraudo.value);
219             armNeg = Convert.ToDouble(armaduraNegativa.text);
220             armPos = Convert.ToDouble(armaduraPositiva.text);
221
222             //PlayerPrefs.SetInt("agregGraudo", (int) agregGraudo);
223             PlayerPrefs.SetFloat("armNeg", (float) armNeg);
224             PlayerPrefs.SetFloat("armPos", (float) armPos);
225             //PlayerPrefs.SetInt("temp", (int) temp);
226
227             btnNext.interactable = true;
228         }
229         catch
230         {
231             btnNext.interactable = false;
232         }
233     }
234     public void activit4TextChanged()
235     {
236         try
237         {
238             d = Convert.ToDouble(alturaUtil.text);
239             d1 = Convert.ToDouble(alt1.text);
240
241             PlayerPrefs.SetFloat("d", (float) d);
242             PlayerPrefs.SetFloat("d1", (float) d1);
243
244             btnNext.interactable = true;
245         }
246         catch
247         {

```

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 21: Representação dos comandos finais e finalização do programa

```
247     {
248         btnNext.interactable = false;
249     }
250 }
251 public void limparCampos()
252 {
253     PlayerPrefs.DeleteAll();
254 }
255 }
256 }
257 }
```

Fonte: Elaborada pelos autores

**ANEXO A LIMITES PARA DESLOCAMENTOS DEFINIDOS PELA ABNT NBR
6118:2014**

Figura 22: Tabela 13.2 - Limites para deslocamentos

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	$\ell / 350$

Fonte: ABNT NBR 6118:2014, P. 70