

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS OLIVEIRA NÓBREGA DE ASSIS

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA CÁLCULO DE FREQUÊNCIA
NATURAL E FORMA MODAL DE VIGAS

JOÃO PESSOA

2019

MATHEUS OLIVEIRA NÓBREGA DE ASSIS

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA CÁLCULO DE FREQUÊNCIA
NATURAL E FORMA MODAL DE VIGAS

Trabalho de conclusão de curso do aluno **Matheus Oliveira Nóbrega de Assis** a ser apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Civil ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Andrea Brasiliano Silva

JOÃO PESSOA

2019

A848d Assis, Matheus Oliveira Nóbrega de.

Desenvolvimento de Aplicativo para Cálculo de
Frequência Natural e Forma Modal de Vigas / Matheus
Oliveira Nóbrega de Assis - João Pessoa, 2019.

57 f. : il.

Orientação: Andrea Brasiliano Silva.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Frequência Natural. 2. Forma Modal.
3. Programação. 4. Aplicativo. I. Silva, Andrea Brasiliano.
II. Título.

UFPB/BC.

FOLHA DE APROVAÇÃO

MATHEUS OLIVEIRA NÓBREGA DE ASSIS

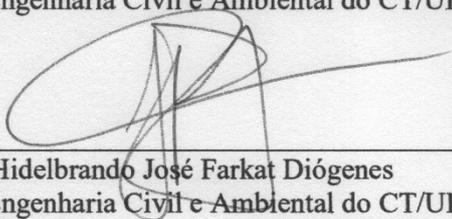
DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA CÁLCULO DE FREQUÊNCIA NATURAL E FORMA MODAL DE VIGAS

Trabalho de Conclusão de Curso em 08/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Andrea Brasiliano Silva

Prof.^a Dr.^a Andrea Brasiliano Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Marília Marcy Cabral de Araújo

Prof.^a Dr.^a Marília Marcy Cabral de Araújo
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Aprovado

ABSilva

Prof.^a Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557P
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Alexandre e Herielze, meu alicerce, pelo amor incondicional, por sempre confiarem e acreditarem em mim. Agradeço por sempre quererem me proporcionar tudo de melhor, pela minha educação e por todos os ensinamentos. Também a minha irmã, Mariana, pelo amor, carinho e companheirismo.

Aos amigos e confidentes que conquistei na vida, os quais tornaram toda essa caminhada mais fácil. Obrigado por todo o apoio, conversas e boas risadas, em especial aos que se mostraram mais presentes: João Victor Reis, Tiago Accioly, Felipe Cruz.

Aos amigos verdadeiros que conquistei durante o curso: Samuel Lustoza, Luiz Eduardo e Larissa Lima. Obrigado pelo companheirismo, pelas risadas nos momentos difíceis e por toda a ajuda.

A Rhoana Zanotelli por todo o amor e carinho, por sempre acreditar em mim e me incentivar a dar sempre o meu melhor.

A professora Andrea Brasiliano pela orientação nesse trabalho, por acreditar em minha capacidade e por todos os ensinamentos.

A todos aqueles que, mesmo de maneira indireta, contribuíram na minha vida durante esse tempo, participaram do meu crescimento e torcem pelo meu sucesso.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender,
nem tão pequeno que não possa ensinar.”

Esopo

RESUMO

O efeito das vibrações em estruturas, muitas vezes negligenciado, pode se revelar como fator de grande influência, tanto no conforto de seus ocupantes, como para parâmetro de dimensionamento. O estudo de frequências naturais mostra-se importante quando levados em conta os efeitos de ressonância sofridos pelas estruturas, podendo gerar diminuição de resistência e vida útil da edificação. Assim, o presente trabalho mostra o desenvolvimento de um aplicativo para *smartphones* com sistema operacional *Android*[®], com o objetivo de agilizar e aumentar a confiabilidade dos cálculos da frequência natural e formas modais de vigas de um único vão. Foi feita uma revisão bibliográfica com o objetivo de entender e dissertar sobre vibração em estruturas, seus efeitos, frequências naturais e formas modais, ainda sobre a linguagem de programação Java, e do *Android Studio*[®], utilizado para o desenvolvimento de aplicativos voltados à plataforma *Android*[®] *mobile*. Por fim, com os resultados obtidos pelo aplicativo, foi realizado um procedimento de verificação para esses dados, utilizando como base um modelo de cálculo no Excel. Diante dos resultados obtidos de tal comparação, concluiu-se a eficácia do aplicativo, produzindo, assim, um método ágil e confiável para uma primeira verificação quanto a solicitações dinâmicas.

Palavras-chave: Frequência Natural. Forma Modal. Programação. Aplicativo.

ABSTRACT

The vibrations effects on structures, often neglected, can prove itself as a factor of great influence, both in the comfort of its occupants, and in dimensioning parameters. The study of natural frequencies is important when considering the effects of resonance suffered by the structures, which can lead to a decrease in the resistance and the lifespan of the building. Thus, the present work shows the development of an application for smartphones with Android[®] operating system, with the purpose of streamline and increase the reliability of natural frequency calculations and modal shapes of single-span beams. Was made a bibliographical review with the objective of understanding and discussing vibration in structures, their effects, natural frequencies and modal shapes, also about the Java programming language, and Android Studio[®], used for the development of applications to Android[®] mobile platform. Finally, with the application's results, a verification procedure was performed for these data, based on a calculation model in Excel. Considering the results obtained from such comparison, the application's effectiveness is concluded, thus producing an agile and reliable method for a first check for dynamic requests.

Keywords: Natural Frequency. Mode Shape. Programming. App.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática de uma onda mecânica.....	15
Figura 2 - Janela principal do Android Studio®	24
Figura 3 - Interface inicial do aplicativo	26
Figura 4 - Segunda interface do aplicativo.....	27
Figura 5 - Modelo do seletor de material	28
Figura 6 - Modelo do campo de inserção de valor numérico	28
Figura 7 - Modelo dos seletores de tipos de apoio	30
Figura 8 - Interface da opção concreto	31
Figura 9 - Modelo de interface adicional para seção retangular.....	32
Figura 10 - Modelo de interface adicional para seção T	33
Figura 11 - Interface da opção aço	34
Figura 12 - Interface da página de resultados.....	35
Figura 13 - Interface inicial do aplicativo	36
Figura 14 - Segunda interface do aplicativo.....	37
Figura 15 - Interface de dados do concreto	39
Figura 16 - Interfaces dos diferentes tipos de seção.....	40
Figura 17 - Interface de seção do aço	41
Figura 18 - Interface de resultados	42
Figura 19 - Exemplo de mensagem a ser exibida em caso de falta de dados.....	43
Figura 20 - Fluxograma do aplicativo	44
Figura 21 - Dados inseridos no aplicativo para verificação de aço.....	46
Figura 22 - Resultados obtidos no aplicativo	47
Figura 23 - Dados inseridos no aplicativo para verificação de concreto.....	49
Figura 24 - Resultados obtidos no aplicativo	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência crítica para alguns casos de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas	19
Tabela 2 - Classes de resistência de concretos simples	20
Tabela 3 - Constantes físicas do aço para projeto	21
Tabela 4 - Dados inseridos no aplicativo para efeito de verificação	45
Tabela 5 - Valores de λ_i para viga engastada-apoiada	47
Tabela 6 - Resultados obtidos do modelo de comparação.....	48
Tabela 7 - Dados inseridos no aplicativo para efeito de verificação	48
Tabela 8 - Valores de λ_i para viga engastada-apoiada	50
Tabela 9 - Resultados obtidos do modelo de comparação.....	51
Tabela 10 – Perfis utilizados no aplicativo extraídos do banco de dados da Gerdau de perfis de aço laminado.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos do Trabalho	14
2	REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	15
2.1	Introdução à Vibração.....	15
2.2	Análise Modal.....	16
2.3	Frequência Natural.....	16
2.4	Forma Modal ou Modo de Vibração.....	17
2.5	Ressonância	17
2.6	Normas.....	18
2.7	Concreto.....	20
2.8	Aço.....	21
2.9	Java [®]	21
2.10	Aplicativos	22
2.11	<i>Android Studio</i> [®]	23
3	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.....	25
3.1	Interface Inicial.....	25
3.2	Segunda Interface	26
3.2.1.	Material.....	27
3.2.2.	Comprimento	28
3.2.3.	Condições de Contorno	29
3.3	Terceira Interface.....	30
3.3.1.	Concreto	30
3.3.2.	Aço	33
3.4	Interface de Resultado	34
4	RESULTADOS	36

4.1	Manual do Usuário.....	36
4.2	Fluxograma	43
4.3	Verificação do Modelo	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXO A – QUADRO	56

1 INTRODUÇÃO

O problema com vibrações em estruturas não é recente, em meados do século XIX, o engenheiro e pesquisador Thomas Tredgold já discutia sobre métodos de minimização dos efeitos prejudiciais das vibrações em pisos. Contudo, a visão atual de economia, sustentabilidade e redução de custos, implica que as estruturas sejam cada vez mais esbeltas, o que justifica o crescimento dos casos.

Tais vibrações podem ser ocasionadas por diversos fatores, entre esses podemos listar atividades normais humanas, como caminhar, vibrações ou deslocamentos de máquinas e veículos, ou ainda atividades humanas rítmicas, podendo-se destacar dança, esportes e ginástica. A resposta de uma estrutura a esses tipos de excitações é definida pela frequência natural e o modo de vibração, que irão depender, sobretudo, das propriedades dos materiais, da seção transversal, dimensões e condições de contorno.

O conforto é uma das prioridades das edificações, assim, ao longo dos anos tem surgido diversos critérios de projeto procurando estabelecer limites de vibração toleráveis ao bem-estar humano. Já em 1946, Reiher e Meister, elaboraram uma escala que permite descrever o nível de tolerância humana a vibrações permanentes. Mais tarde, em 1966, dando continuidade a pesquisa, Lezen, após estudar o comportamento de 46 diferentes tipos de pisos de edificações projetados para diversos tipos de ocupação, conclui que poderia ser utilizada para sistemas de pisos com amortecimento menores que 5%.

Os *softwares* se tornaram indispensáveis no cotidiano atual por representarem um enorme ganho de tempo em diversos tipos de atividades. Não é diferente na engenharia civil, essas ferramentas facilitam muito o trabalho do engenheiro, seja em projetos, gerenciamento, ou na execução, e podem ser vitais para cálculos com uma maior complexidade teórica. Além do mais, os *softwares*, quando utilizados corretamente, proporcionam a diminuição do risco de erros humanos e a agilização de tomadas de decisões, que são dois grandes fatores que influenciam no cronograma e custos.

No que diz respeito à programas computacionais voltados para dispositivos móveis, os aplicativos, a praticidade e ganho de tempo é ainda maior, já que a facilidade

de aquisição e transporte do aparelho é bem superior. Porém, o conhecimento técnico do engenheiro jamais poderá ser substituído por qualquer *software*, esses devem ser utilizados como ferramentas auxiliares, com seus resultados sempre devendo estar sujeitos a uma análise crítica.

1.1 Objetivos do Trabalho

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis *Android*[®] que possibilite o cálculo analítico de frequências naturais de vigas com um único vão de modo prático, com o objetivo de auxiliar em decisões necessariamente rápidas, permitindo a verificação dos limites de vibração de forma preliminar.

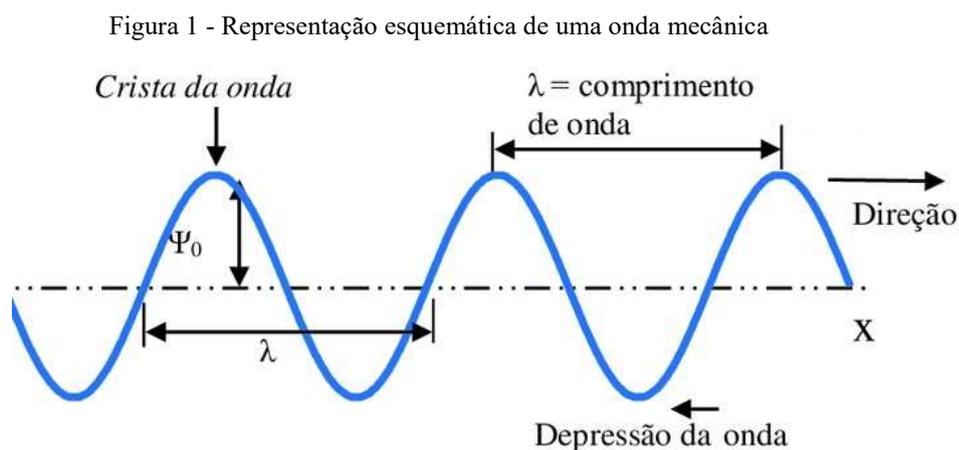
2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

2.1 Introdução à Vibração

Define-se por vibração qualquer movimento alternado de um corpo sólido que se repete em um dado intervalo de tempo, dado em relação ao centro de equilíbrio do corpo. A vibração é a resposta a uma dada excitação. Uma vez que todo corpo que possua massa e elasticidade é passível de vibração, pode-se concluir que essa estará presente na maioria das atividades humanas.

Um sistema oscilatório, em geral, inclui meios de armazenar energia potencial e energia cinética, e meios de dissipar, gradualmente, tais energias (RAO, 2004). A vibração de um sistema envolve a transformação de sua energia potencial em energia cinética, e vice-versa.

É possível marcar a trajetória do movimento oscilatório na forma de onda, em relação ao tempo gasto para sua formação. Quando se tem apenas uma frequência atuando em um corpo torna-se fácil a visualização gráfica da amplitude x tempo, representado na Figura 1, temos assim seu traçado senoidal. A amplitude relaciona-se com a quantidade de energia contida na onda.



Fonte: VIVAS 2017

Esses sistemas oscilatórios podem ainda ter diferentes graus de liberdade, dados pelo menor número de coordenadas independentes necessário para determinar

completamente as posições de todas as partes do sistema em qualquer instante de tempo. Podendo ser classificado como discreto, quando possui finitos graus de liberdade, ou ainda, contínuo, quando o sistema possui infinitos graus de liberdade. Normalmente, os sistemas contínuos são aproximados a modelos discretos, fazendo com que haja simplificação nos cálculos.

2.2 Análise Modal

A análise modal é um processo de determinar as características dinâmicas inerentes a um sistema na forma de frequências naturais, fatores de amortecimento e formas modais, e ainda usá-los para formular um modelo matemático para seu comportamento.

Baseia-se no fato de que a resposta vibratória de um sistema dinâmico linear invariável no tempo pode ser expressa como a combinação linear de um conjunto de movimentos harmônicos simples chamados de modos naturais de vibração. Os modos naturais de vibração são inerentes a um sistema dinâmico e são determinados completamente por suas propriedades físicas (massa, rigidez, amortecimento) e suas distribuições espaciais. Cada modo é descrito em termos de seus parâmetros modais: frequência natural, fator de amortecimento e forma modal. (HE & FU, 2001)

2.3 Frequência Natural

É a frequência com que um sistema, sem dissipação de energia, vibra após ser excitado por uma perturbação inicial. Um sistema não apresenta apenas uma frequência natural, o número de frequências naturais de um sistema é igual ao seu número de graus de liberdade. Para um sistema simples de massa-mola, com um grau de liberdade, essa pode ser definida pela Equação 1.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Sistemas de maior complexidade, como o que se baseia esse trabalho, requerem análises mais detalhistas por envolverem uma maior quantidade de variáveis e

interdependências. Segundo Blevins (1979), a frequência natural, em hertz, para uma viga, pode ser expressa pela Equação 2.

$$f_i = \frac{\lambda_i^2}{2\pi L^2} \left(\frac{EI}{m} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Onde λ_i é um parâmetro adimensional dado em função das condições de contorno aplicadas à viga, L é o comprimento da viga, e m , sua massa por unidade de comprimento, E é o módulo de elasticidade e I o momento de inércia.

2.4 Forma Modal ou Modo de Vibração

Forma modal é um padrão específico de vibração executado por um sistema mecânico em uma frequência específica, em uma linguagem mais simples, é o padrão deformado de um objeto em determinada frequência. Diferentes formas modais são associadas a diferentes frequências. A técnica experimental de análise modal é responsável pelo estudo e identificação das frequências e dos modos naturais de vibração.

Segundo Blevins (1980), a forma modal é a função que descreve o deslocamento relativo de qualquer ponto sobre a estrutura ao que essa vibra. Se a deflexão de uma estrutura linear ao vibrar em alguma direção é denotada por $Y(x, t)$, onde x é um ponto qualquer da estrutura e t é o tempo, então se a estrutura vibrar apenas no modo k , a deflexão pode ser descrita pela Equação 3.

$$Y(x, t) = \tilde{y}_k(x) * y_k(t) \quad (3)$$

Onde $\tilde{y}_k(x)$ é a forma modal, que depende apenas do espaço, e $y_k(t)$ é a função apenas do tempo.

2.5 Ressonância

Quando se tem um movimento harmônico não amortecido este movimento resultará em um aumento de amplitude ao longo do tempo. Este aumento de amplitude

ao longo do tempo é denominado de ressonância. Essa acontece devido à existência de sobreposição de esforços a cada período pela pouca frequência natural da peça. (CUTNELL; JOHNSON, 2009)

A importância do estudo das vibrações vem com compreensão dos efeitos da ressonância nas estruturas. Assim, com o conhecimento das frequências naturais de vibração, pode-se evitar a ocorrência de ressonância e consequentes danos a estrutura.

O papel desempenhado pela frequência de uma força de excitação é fundamental para que a ressonância ocorra, pois, quando essa frequência coincidir com uma frequência natural de vibração da peça, fará com que forças de excitação, inicialmente fracas provoquem uma vibração de grande amplitude, ou seja, há o acúmulo do efeito a cada ciclo.

Existem casos famosos de ruína de estruturas devido ao efeito da ressonância, um objeto de estudo de notável interesse na engenharia é o caso da ponte pênsil de *Tacoma Narrows*. Situada no condado de Pierce, em Washington, nos Estados Unidos, a ponte possuía um vão pênsil de, aproximadamente, 853 metros, e extensão de 1600 metros. Gaspar (2001) afirma que o motivo da queda da ponte em 1940, foi devido aos ventos que a atingiram lateralmente, dando origem a oscilações laterais de torção. Essas oscilações tinham uma frequência muito próxima da frequência natural da ponte, sendo assim, a amplitude foi aumentando e a estrutura entrou em ressonância, provocando a sua ruptura por fadiga.

2.6 Normas

As vibrações não causam apenas problemas de desconforto humano, essas devem ser consideradas no dimensionamento da própria estrutura. Segundo a ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, para assegurar comportamento satisfatório das estruturas sujeitas a vibrações, deve-se afastar o máximo possível a frequência natural da estrutura (f) da frequência crítica (f_{crit}). Essa depende da destinação da respectiva edificação, quando a ação crítica é originada por uma máquina, a frequência crítica passa a ser a da operação da mesma. A fórmula apresentada na norma para verificação de aceitação do projeto quanto a vibração,

apresentada da Equação 4, e a tabela das frequências críticas para cada um dos casos, apresentada na Tabela 1:

$$f > 1,2 * f_{crit} \quad (4)$$

Tabela 1 – Frequência crítica para alguns casos de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas

Caso	f_{crit} (Hz)
Ginásio de esportes	8,0
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Escritórios	3,0 a 4,0
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,4
Passarelas de pedestres ou ciclistas	1,6 a 4,5

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Ainda segundo a NBR 6118, quanto a segurança, para garantir o bom desempenho de uma estrutura em serviço, deve-se, usualmente, respeitar limitações de flechas, de abertura de fissuras, ou de vibrações, mas também é possível que seja importante pensar na estanqueidade, no conforto térmico ou acústico etc.

De acordo com a NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, quando a estrutura, pelas suas condições de uso, estiver sujeita a choques ou vibrações, os respectivos efeitos devem ser considerados na determinação das solicitações. O problema da vibração em pisos deve ser considerado no projeto da estrutura por meio de análise dinâmica, levando-se em conta as características e a natureza das excitações dinâmicas, como, por exemplo, as decorrentes do caminhar das pessoas e de atividades rítmicas, os critérios de aceitação para conforto humano em função do uso e ocupação das áreas do piso, a frequência natural da estrutura, a razão de amortecimento modal e os pesos efetivos do piso.

Segundo a NBR 8800, os estados-limites que prevêm danos relacionados ao conforto dos usuários e ao funcionamento de equipamentos, tais como vibrações excessivas, são tidos como estados-limites reversíveis, isto é, que não causam danos permanentes à estrutura ou a outros componentes da construção. Diz ainda que não é permitido o aperto manual de parafusos ASTM A325 sujeitos tração ou cisalhamento,

quando o afrouxamento ou a fadiga devidos a vibração precisarem ser considerados no projeto.

2.7 Concreto

Devido a necessidade de informações físicas dos materiais para os cálculos a serem realizados, fez-se indispensável breves pesquisas bibliográficas sobre os materiais selecionados.

O concreto é a mistura em proporções predefinidas e determinadas de forma racional, composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. As propriedades que o concreto irá apresentar durante seu preparo, aprovação e vida útil dependerá do planejamento e controle durante sua preparação e execução (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2013).

De acordo com a NBR 8953:2015 – Concreto para Fins Estruturais, entende-se como concreto normal, aquele com massa específica seca compreendida entre 2000 e 2800 kg/m³. Os concretos para fins estruturais são classificados em dois grupos, conforme sua resistência característica à compressão (fck), no caso de concretos com resistência inferior a 20MPa, estes não são considerados estruturais. As classes de concretos simples estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de resistência de concretos simples

Classe de Resistência	Resistência Característica à Compressão MPa	Classe de Resistência	Resistência Característica à Compressão MPa
Grupo I		Grupo II	
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953:2015

2.8 Aço

As estruturas de aço vêm sendo largamente utilizadas nos países desenvolvidos por propiciarem construções limpas e rápidas que geram mínima interferência em seu entorno (GUANABARA, 2010).

O aço é uma liga de ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11% . O carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tração, porém são mais dúcteis (PFEIL, 2009). Devido a isso, os diferentes tipos de aço possuem grande variação com relação as propriedades mecânicas. Assim, a NBR 8800:2008 – Projeto em Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, define propriedades a serem consideradas em todos os projetos de estruturas de aço:

Tabela 3 - Constantes físicas do aço para projeto

Módulo de Deformação Longitudinal (E)	200 GPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3
Coefficiente de Dilatação Térmica (β)	$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Massa Específica (ρ)	7850 kg/m ³
Módulo de Elasticidade Transversal (G)	77 GPa

Fonte: ABNT NBR 8800:2008

2.9 Java®

Java® é uma linguagem de programação e uma plataforma computacional para desenvolvimento de aplicações. Foi lançada inicialmente pela *Sun Microsystem*® em 1995 e, posteriormente, adquirida pela *Oracle Corporation*®. É uma das linguagens de programação mais utilizadas atualmente. Existem muitas aplicações e *sites* que não funcionarão a menos que a máquina possua o Java instalado. De *laptops a datacenters*, consoles de jogos a supercomputadores científicos, telefones celulares à Internet, o Java está em muitos lugares.

A plataforma Java é uma coleção de programas que ajudam a desenvolver e processar os códigos computacionais escritos na linguagem Java. Essa inclui uma ferramenta de execução de programas, um compilador e um conjunto de bibliotecas.

O Java foi projetado para permitir o desenvolvimento de aplicações portáteis para a mais ampla variedade possível de plataformas de computação. Este segue da filosofia computacional “*Write once, run anywhere*”, que em português significa “Escreva uma vez, execute em qualquer lugar”, pois a plataforma utiliza-se de uma máquina virtual, instalada no computador, ou aparelho utilizado, para compilar e executar o código na linguagem nativa do sistema operacional em uso. Assim, qualquer operador pode executar a mesma aplicação sem necessidade de alterações. Ao disponibilizar aplicações entre ambientes heterogêneos, as empresas podem fornecer mais serviços e aumentar a produtividade, a comunicação e a colaboração do usuário final.

2.10 Aplicativos

Aplicativos móveis, também conhecidos como apps, são *softwares* desenvolvidos para dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. Esses tornam os dispositivos móveis em potentes agentes de funções e diversão. Alguns dispositivos já são pré-carregados com alguns aplicativos, mas muitos outros podem ser instalados posteriormente, disponíveis em lojas de aplicativos específicas para cada sistema operacional.

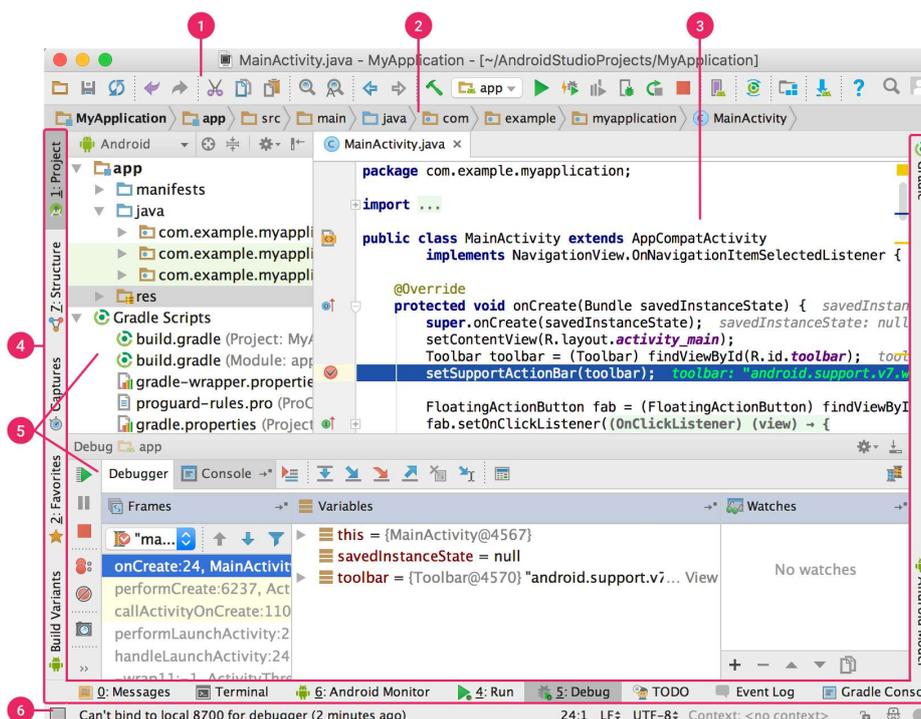
Tais aplicativos possuem uma vasta gama de propósitos, desde auxiliar na produtividade, navegação, entretenimento, esportes e ginástica. Mídias sociais é um dos campos mais populares. Muitas empresas possuem, atualmente, páginas *Web* e aplicativos. Em geral a diferença encontra-se no propósito, um aplicativo é, geralmente, menor em esfera de ação que um *website*, porém oferece maior interatividade e apresenta informações mais específicas, em uma forma mais fácil e intuitiva para um dispositivo móvel.

Segundo o instituto de pesquisa Gartner, no ano de 2016, 86,2% dos sistemas operacionais vendidos são *Android*[®], com o *iOS*[®] em segundo lugar com 12,9% do mercado (PAYÃO, 2016). Portanto, torna-se natural que o mercado de desenvolvimento de aplicativos baseie-se em tais informações e direcione seu foco a esses sistemas, pois juntos representam uma fatia de aproximadamente 99% dos sistemas operacionais dos *smartphones* existentes.

O *Android*[®] é uma plataforma operacional para dispositivos móveis desenvolvida pelo *Google*, lançado em 2013, em um consórcio chamado *Open Handset Alliance*. Há muitas razões para tamanha adoção do *Android*[®], uma dessas é a acessibilidade quanto ao preço, em média muito mais barato. Além disso, esse é um sistema operacional de código aberto, isso significa que o poder de edição do usuário na programação do aplicativo é quase pleno, exceto por funções restritas pelos fabricantes, diferente da concorrente *Apple*[®], onde o *hardware* e *software* dos dispositivos são completamente integrados e muito controlados (CASSAVOY, 2019).

2.11 *Android Studio*[®]

Segundo o próprio *site* do *Android Studio*[®], o *software* foi inicialmente anunciado na *Google I/O*, em maio de 2013. O *Android Studio*[®] é o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) oficial para o desenvolvimento de aplicativos *Android*[®] e é baseado no IntelliJ IDEA. Além do editor de código e das ferramentas de desenvolvedor, o *Android Studio* oferece ainda mais recursos para aumentar a produtividade do usuário. A janela principal é composta de diversas áreas lógicas, tais como apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Janela principal do *Android Studio*[®]

Fonte: A STUDIO - Recuperado em 2017

De acordo com a Figura 2, na janela principal da plataforma utilizada, dispomos de:

1. A **barra de ferramentas** permite executar diversas ações, incluindo executar aplicativos e inicializar ferramentas do *Android*[®].
2. A **barra de navegação** ajuda na navegação pelo projeto e na abertura de arquivos para edição. Essa oferece uma visualização mais compacta da estrutura visível na janela *Project*.
3. A **janela do editor** é o local em que se cria e modifica o código.
4. A **barra de janela de ferramentas** fica fora da janela do IDE e contém os botões que permitem expandir ou recolher a janela de cada ferramenta.
5. A **janela das ferramentas** dá acesso a tarefas específicas, como gerenciamento de projetos, busca, controle de versão e muitos outros.
6. A **barra de status** mostra o status do projeto e do próprio IDE, além de advertências e mensagens.

3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Antes de dar início ao desenvolvimento do aplicativo em questão, foi realizada previamente uma revisão bibliográfica da linguagem e plataforma Java, com enfoque principal na elaboração de aplicativos para dispositivos com sistema operacional *Android*. Foram realizados em conjunto estudos sobre dinâmica das estruturas, mais especificamente o cálculo de frequências naturais e formas modais tomando como base o livro de Blevins (1980).

O principal objetivo do aplicativo é fornecer ao usuário dados confiáveis a respeito das frequências naturais de vibração de vigas e suas respectivas formas modais, assim, o *layout* foi inicialmente pensado para solicitar, gradativamente, os dados necessários para os cálculos e, por fim, expor na tela os resultados de maneira fácil de serem compreendidos. Previamente à sua montagem e desenvolvimento digitalmente, tais *layouts* foram planejados e esboçados a mão livre, atividade que se mostrou excepcionalmente útil, pois as mudanças realizadas em um esboço manual eram menos custosas em termos de tempo e esforço aplicado.

Outro fator importante na elaboração do *layout* foi o esforço de torná-lo o mais intuitivo possível, fazendo com que seu modo de utilização fosse o mais claro e natural possível, a fim extinguir todas as margens de interpretação e, conseqüentemente, a diminuição de erros devido a má utilização.

Para a criação do aplicativo foi utilizado o *software* de código aberto, totalmente gratuito, já citado anteriormente, o *Android Studio*. O qual possibilitou a produção de forma prática e inteligente, por meio de suas funcionalidades, otimizando as informações exibidas e os campos de digitação.

3.1 Interface Inicial

A tela inicial foi pensada como um campo de interação de boas vindas ao usuário, uma interface prévia à solicitação dos dados para o cálculo a ser realizado. Nessa apresenta-se o nome dado ao aplicativo e apenas um botão que dará início ao processo. Ao clicar no botão, o usuário saberá intuitivamente que o andamento do *software* foi iniciado.

Figura 3 - Interface inicial do aplicativo

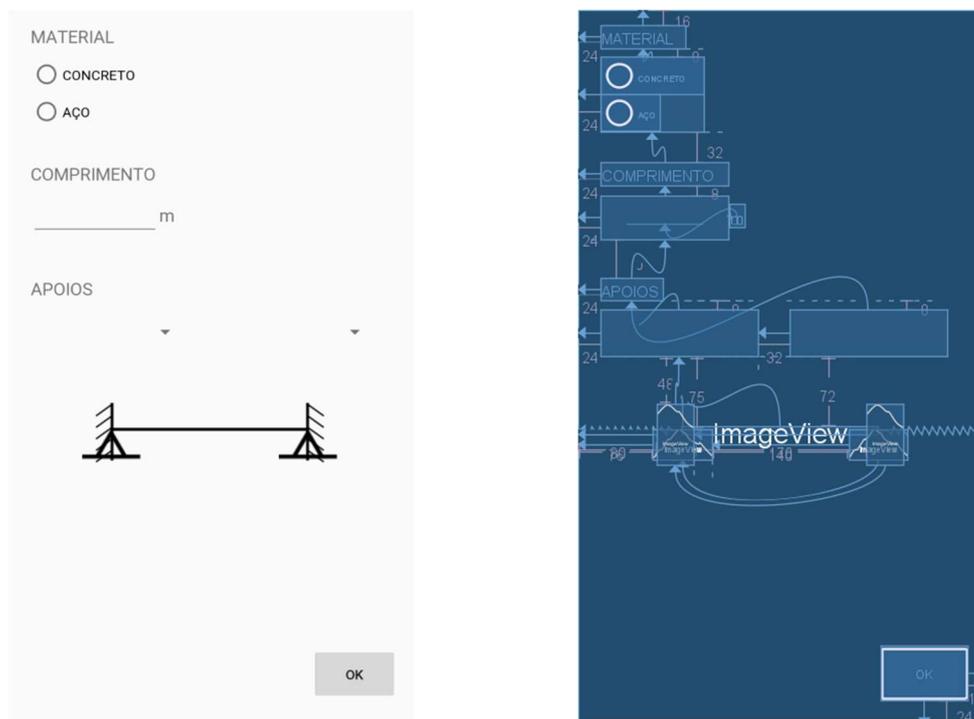


Fonte: Autoria Própria

3.2 Segunda Interface

Ao dar continuidade no procedimento, a interface seguinte solicita ao usuário as seguintes características da viga a ser estudada: material, comprimento e condições de contorno. Para evitar erros nos cálculos devido a ausência de dados, todos os *layouts* foram programados de forma a consentir que o usuário avance o processo apenas com todos os devidos campos preenchidos.

Figura 4 - Segunda interface do aplicativo



Fonte: Autoria Própria

3.2.1. Material

A seleção do material da viga é importante pois com essa característica definida podem-se estabelecer informações importantes para a execução do cálculo, que são o módulo de elasticidade e o peso próprio, necessário para o cálculo do peso por unidade de comprimento.

Os materiais eleitos para integrarem o processo de cálculo do aplicativo foram o concreto e o aço, justamente por serem os componentes mais comuns na constituição de elementos estruturais na construção civil, procurando assim atender à maior gama de público possível.

As opções ao utilizador estão dispostas em forma de marcadores selecionáveis excludentes, logo, só poderá ser selecionado um material, pois o *software* fora programado para cancelar automaticamente a opção não marcada. Porém é possível o usuário fazer a troca do material selecionado apenas clicando sobre seu nome.

Figura 5 - Modelo do seletor de material



Fonte: Autoria Própria

3.2.2. Comprimento

Outra característica solicitada para o cálculo da frequência natural e da forma modal é o comprimento da viga em questão. Tal aspecto é solicitado nas equações 2 e 3, porém no modelo da frequência natural, o quadrado do valor em pauta apresenta-se inversamente proporcional ao valor da frequência.

A entrada do valor se dá por um campo de digitação, programado para aceitar apenas valores numéricos, com a opção para valores decimais. Ao selecionar o campo de inserção, aparecerá ao usuário apenas um teclado numérico. Junto ao campo de inserção, disposto na extremidade direita, fora colocada a letra “m”, tornando intuitivo que o valor deverá ser disponibilizado em metros.

Figura 6 - Modelo do campo de inserção de valor numérico



Fonte: Autoria Própria

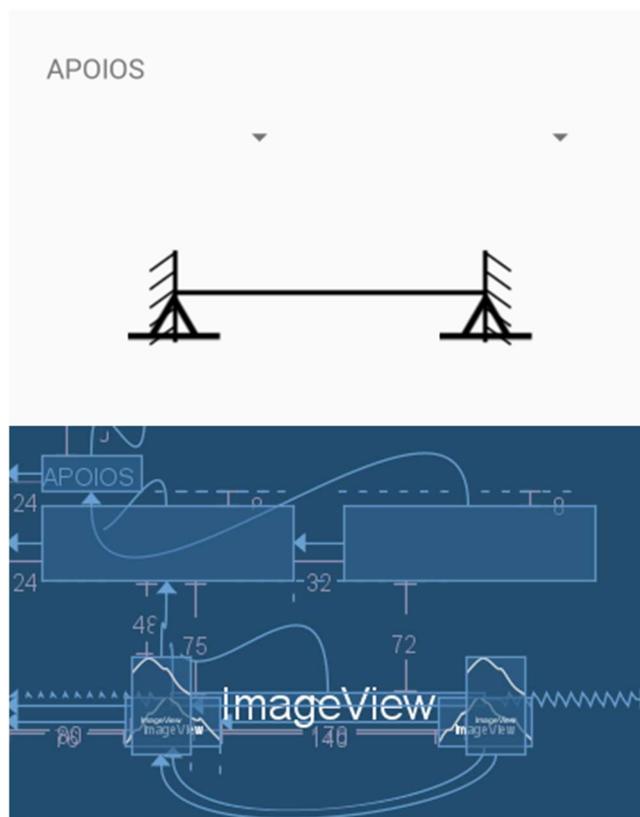
3.2.3. Condições de Contorno

As condições de contorno de uma viga de único vão são os tipos de apoios que a mesma possui em cada extremidade. Assim como os materiais escolhidos, os tipos de apoios adotados neste trabalho foram os considerados mais usuais, dentre os dispostos na literatura de Blevins (1979), na construção civil. Dentre os casos de combinação expostos, foram descartados aqueles que possuíam qualquer categoria de apoio com liberdade de movimento transversal, desconsiderando a opção de extremidade livre.

A forma mais intuitiva encontrada de dispor as alternativas a serem escolhidas pelo usuário, foi com o auxílio de um balão expansível com as opções. Fora disposto um balão para cada extremidade da viga, ambos com as mesmas opções. O balão exibe apenas a opção selecionada, o que economiza espaço na tela do dispositivo, porém, sob o clique do usuário, esse expande, exibindo todas as alternativas de seleção, sem que interfira nos demais elementos do *layout*.

Visando facilitar o entendimento do usuário sobre o que está a ser selecionado, fora disposto abaixo dos balões de seleção um esboço bidimensional da viga, à medida que é selecionado um tipo de e apoio diferente, a imagem se altera para corresponder à viga que está sendo criada pelo utilizador.

Figura 7 - Modelo dos seletores de tipos de apoio



Fonte: Autoria Própria

3.3 Terceira Interface

A interface seguinte a ser exibida ao utilizador dependerá da escolha do material realizada previamente, pois o programa deverá solicitar informações distintas para cada tipo de material.

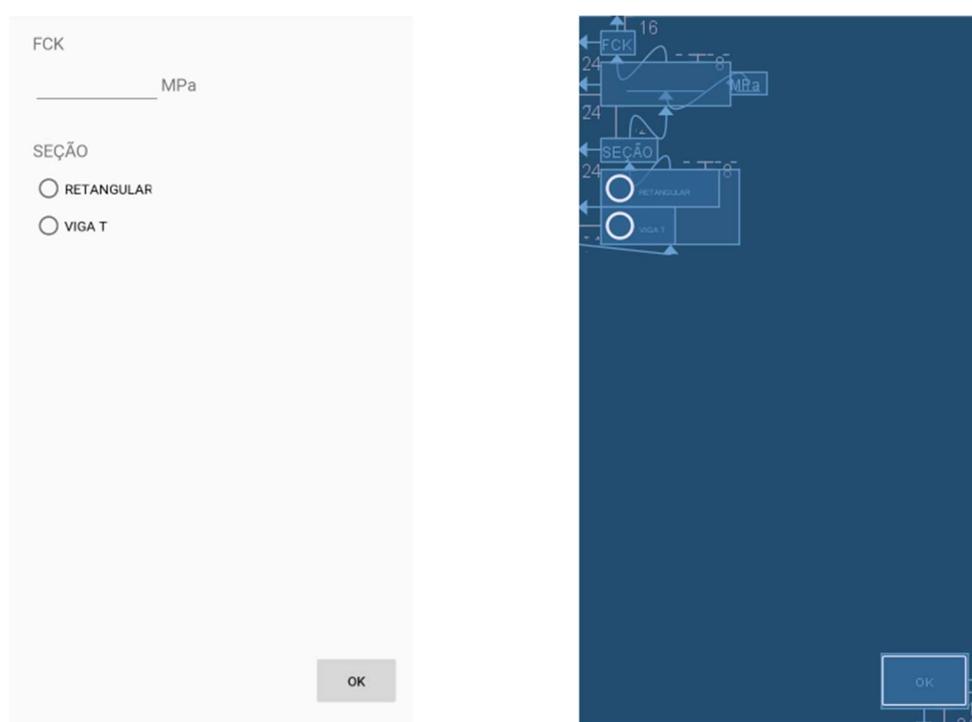
3.3.1. Concreto

Na segunda interface, quando selecionada a opção do concreto, a programação do aplicativo irá direcionar o usuário a tela que solicitará as informações referentes a esse tipo de material. Será requerido o valor do f_{ck} do concreto utilizado na composição da viga, pois, segundo a NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto, o módulo de elasticidade do concreto é dado pela Equação 5.

$$E = 5600 * f_{ck}^{1/2} \quad (5)$$

Em seguida o usuário deverá escolher o tipo de seção a ser utilizada em sua viga de concreto. Mais uma vez as opções de escolha dispostas no aplicativo foram baseadas numa possível demanda, escolhendo assim os tipos de seção julgadas mais usuais a vigas de concreto, foram essas retangular e seção em T. Tal informação tornará possível o cálculo do momento de inércia e, juntamente com o peso próprio ao ser multiplicado pela área da seção, da massa por unidade de comprimento.

Figura 8 - Interface da opção concreto



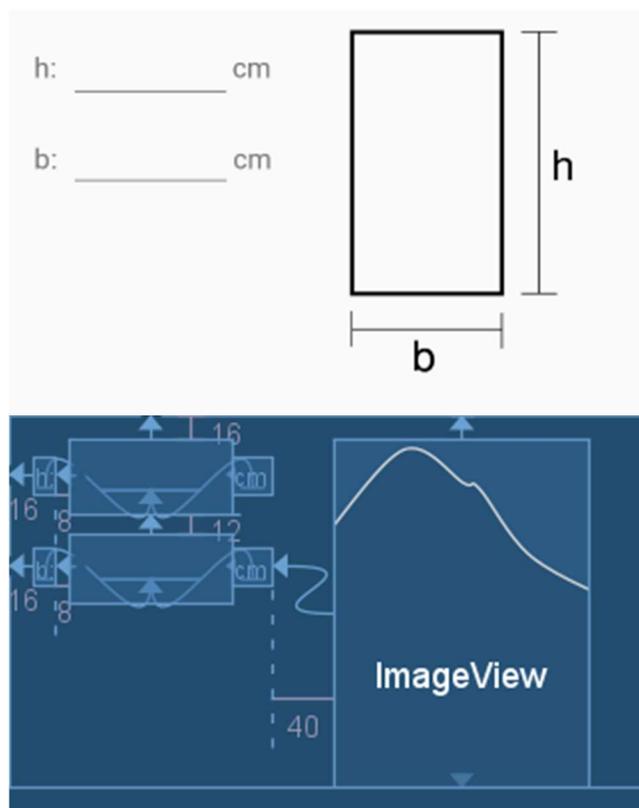
Fonte: Autoria Própria

O artifício utilizado para a seleção do tipo de seção foi o mesmo empregado para a determinação do tipo de material. Porém, a página em questão dispõe de dois *layouts* adicionais, elaborados separadamente, inicialmente ocultos, que estarão visíveis ao usuário de acordo com a seleção do tipo de seção. Cada *layout* corresponde a uma opção diferente.

Os *layouts* adicionais dispõem de campos de inserção de valor numérico, assim como elaborado para o comprimento, aceitando apenas números, podendo ser decimais.

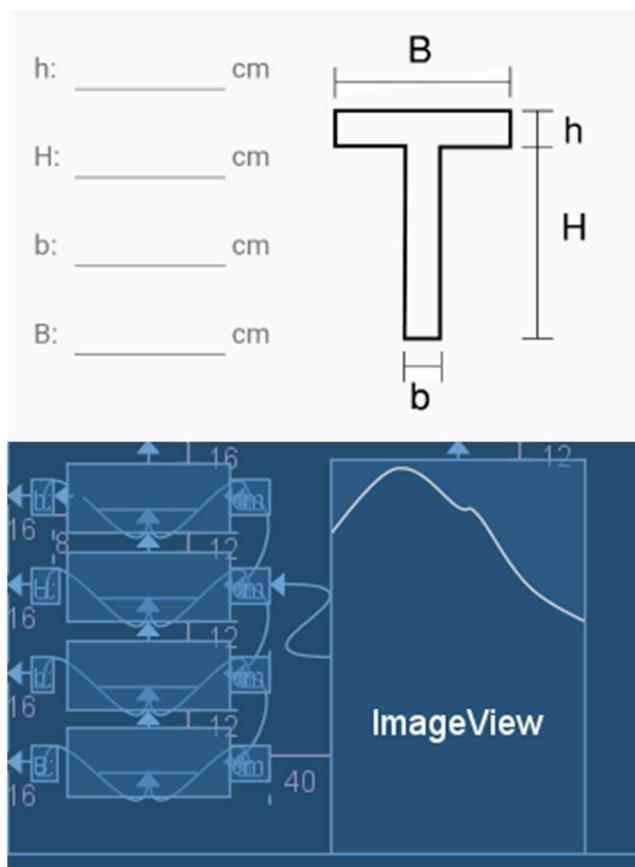
Cada dimensão da seção possui uma caixa de inserção própria. Possuem também representações gráficas das seções em questão, apresentando as associações da nomenclatura utilizada para as dimensões, evitando assim margem para a interpretação do usuário, tornando o programa intuitivo e diminuindo a possibilidade de erros.

Figura 9 - Modelo de interface adicional para seção retangular



Fonte: Autoria Própria

Figura 10 - Modelo de interface adicional para seção T



Fonte: Autorial Própria

3.3.2. Aço

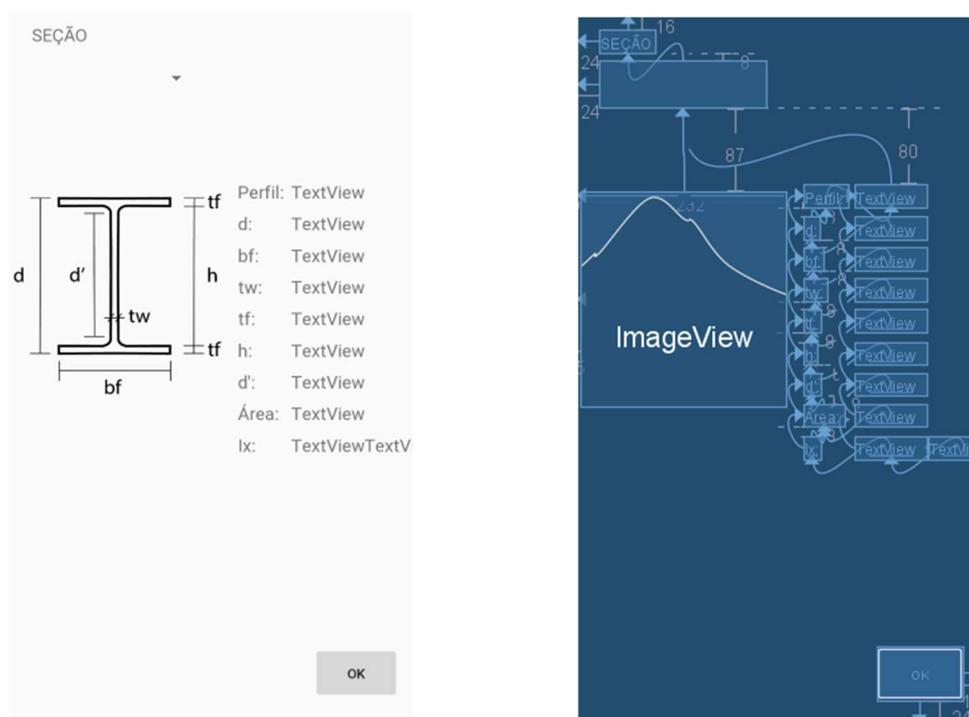
A segunda interface poderá ainda ser diferente da apresentada anteriormente, uma vez que for selecionado o aço como material da viga. O *software* irá direcionar o usuário à página diagramada para solicitar a seção a ser considerada.

Os tipos de perfis presentes nesse trabalho e suas propriedades necessárias foram retiradas dos catálogos comerciais disponibilizados gratuitamente pela Gerdau, empresa brasileira produtora de aço, uma das principais fornecedoras de aços longos nas Américas e aços especiais no mundo.

A seleção de perfis foi realizada mais uma vez elegendo aqueles julgados mais usuais à construção civil, assim, foi escolhido o perfil metálico tipo I, considerado mais frequente para construção de vigas estruturais. Do catálogo utilizado como referência, foram excluídos os perfis do tipo H, por serem considerados mais usuais à pilares.

Para a seleção do perfil desejado, foi utilizado o mesmo recurso que para a escolha das condições de contorno, o balão expansível, uma vez que a quantidade de perfis a serem disponibilizados era tamanha que a acomodação no *layout* se tornaria confuso ao usuário. Foi projetada também uma representação gráfica para o perfil, assim como feito para os perfis de concreto. Mas dessa vez, como cada tipo de perfil já possui suas especificações de dimensões, massa por unidade de comprimento, momento de inércia e área, optou-se por dispor tais informações no *layout*, mais uma vez com o objetivo evitar erros devido a má interpretação do usuário. As informações exibidas correspondem a cada tipo de perfil, sendo alteradas à medida que o utilizador seleciona um perfil diferente.

Figura 11 - Interface da opção aço



Fonte: Autoria Própria

3.4 Interface de Resultado

Finalmente, após todo o processo de solicitação de dados e todas as escolhas realizadas pelo usuário, os resultados são dispostos na última interface. De acordo com o objetivo do aplicativo de realizar apenas uma primeira análise quanto à vibração,

optou-se por exibir apenas os resultados para os cinco primeiros modos. Os valores de frequência natural são exibidos juntamente com suas respectivas formas modais, dispostas em formato de gráfico.

A página de resultados dispõe de um botão “reiniciar”, que remeterá o usuário à interface inicial, sendo possível que retome do processo de cálculo para uma nova viga, ou ainda saia da aplicação de maneira normal ao sistema operacional.

Figura 12 - Interface da página de resultados



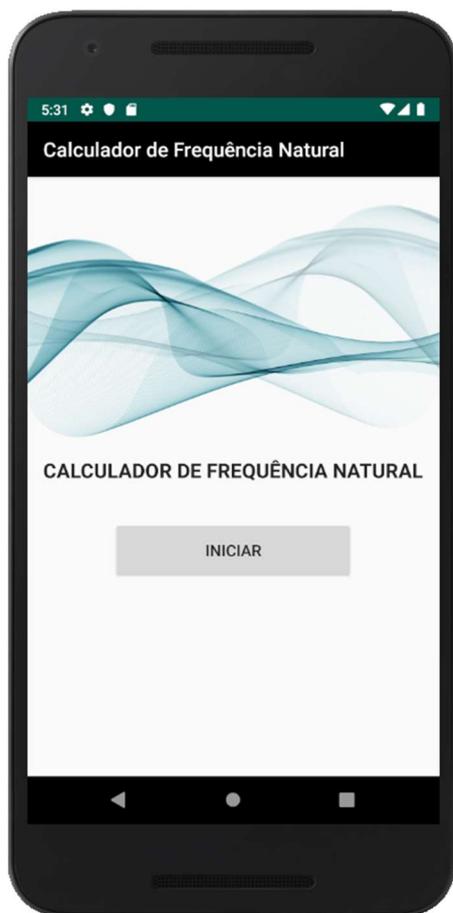
Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS

4.1 Manual do Usuário

Após a instalação do aplicativo e sua inicialização, a página inicial será exibida. Nessa página, a única interação do usuário será com o botão “Iniciar”, que dará início ao processo de cálculo, dirigindo o utilizador à página seguinte.

Figura 13 - Interface inicial do aplicativo



Fonte: Autoria Própria

O aplicativo é composto por quatro páginas que dependerão das escolhas realizadas pelo utilizador, sendo duas delas destinadas à inserção de dados e a última para exibição dos resultados calculados. As páginas serão exibidas ao usuário no decorrer do processo e na respectiva ordem em que deverão ser preenchidas. A recepção dos dados inicia-se na segunda página.

Figura 14 - Segunda interface do aplicativo

The image shows a smartphone screen with the following interface elements:

- Top status bar: 5:31, signal strength, Wi-Fi, and battery icons.
- Title bar: "Calculador de Frequência Natural"
- Section: "MATERIAL"
 - Radio button for "CONCRETO"
 - Radio button for "AÇO"
- Section: "COMPRIMENTO"
 - Text input field followed by "m"
- Section: "APOIOS"
 - Two dropdown menus, both currently set to "LIVRE"
- Bottom right: "OK" button

Fonte: Autoria Própria

Nessa tela o usuário deverá introduzir as informações solicitadas, o *software* dará continuidade à solicitação de dados quando pressionado o botão “OK”, mas só, e somente se, todos os campos estiverem preenchidos. Caso contrário, o aplicativo deverá exibir uma mensagem temporária na parte inferior da tela solicitando as informações ausentes, isso ocorrerá para ambas as interfaces de inserção de dados.

Para inserir as informações, basta o usuário clicar sobre o campo que se deseja preencher. As informações deverão ser preenchidas da seguinte forma:

- **Material:** refere-se ao material de composição da viga, o utilizador deverá escolher entre concreto e aço, visto que o campo de seleção só permite selecionar um;

- **Comprimento:** deverá ser fornecido o valor numérico do comprimento da viga, em metros;
- **Apoios:** o usuário deverá selecionar o tipo de apoio referente a cada extremidade da viga, os balões de seleção estão dispostos respectivamente sobre a extremidade correspondente. Mais uma vez o tipo de seletor só permitirá o usuário selecionar um tipo para cada extremidade.

Após a inserção de todos os dados, clicando no botão “OK”, os dados serão salvos no sistema e o usuário será direcionado à página seguinte, que dependerá da escolha do material.

Caso tenha sido selecionada a opção concreto no *layout* anterior o usuário deverá ser encaminhado para a interface mostrada nas Figuras 15 e 16, onde será solicitado:

- **fck:** deverá ser fornecido o valor numérico da resistência característica à compressão, conhecido comumente como fck, do concreto, em Megapascal. Este valor será utilizado, como visto anteriormente, para o cálculo do módulo de elasticidade do concreto;
- **Seção:** o usuário deverá selecionar o tipo de seção desejada dentre as disponíveis, o tipo de seletor só permitirá o usuário escolher uma das opções, excluindo as demais automaticamente;

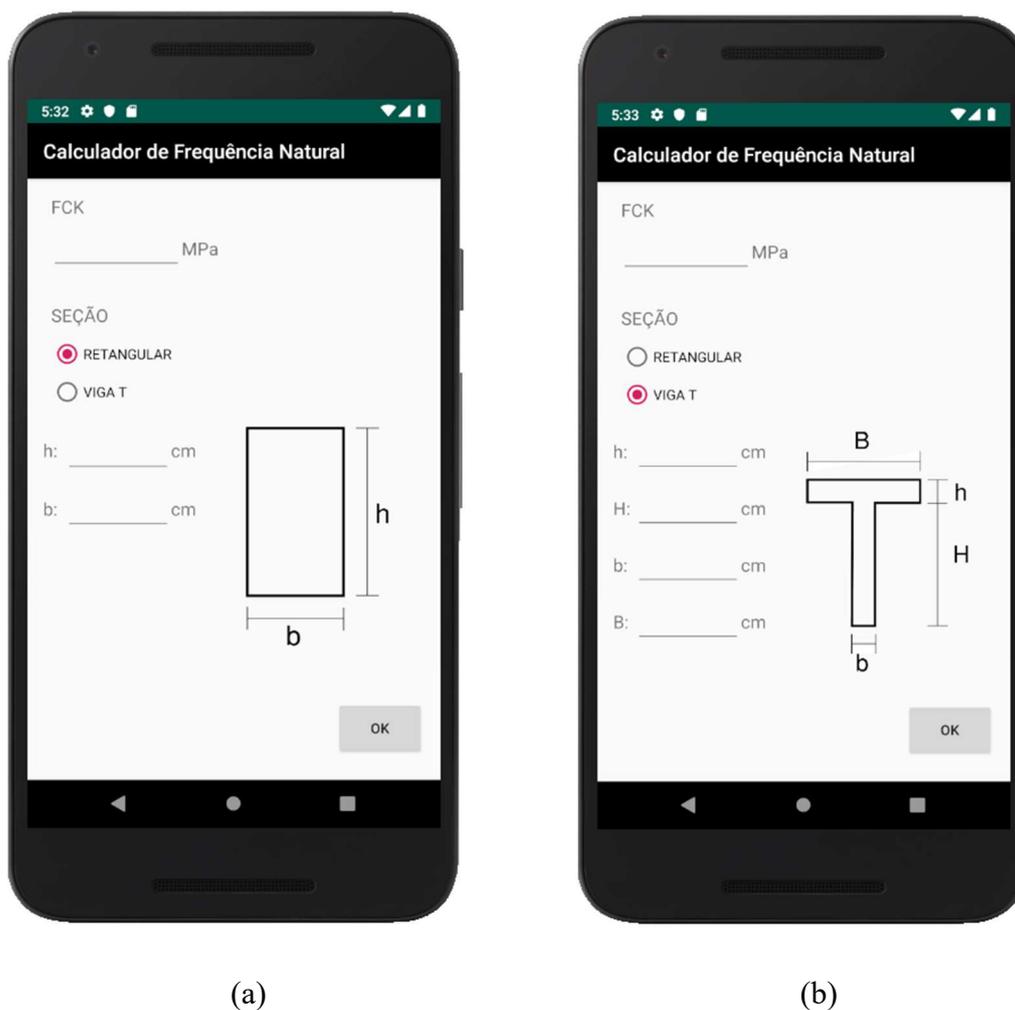
Figura 15 - Interface de dados do concreto



Fonte: Autoria Própria

- **Dimensões:** para cada tipo de escolha diferente do tipo de seção será exibido um *layout* distinto ao usuário, onde deverão ser introduzidos os valores numéricos das dimensões referentes à seção da viga. Para cada informação solicitada, há a representação gráfica na imagem disposta ao lado dos campos de inserção de valores.

Figura 16 - Interfaces dos diferentes tipos de seção

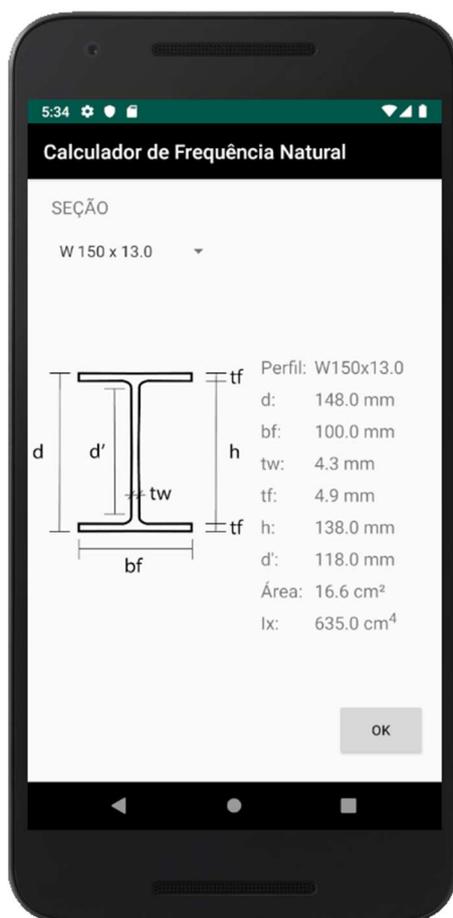


Fonte: Autoria Própria

Porém, no caso de o usuário ter selecionado como material o aço, no *layout* anterior, ele será direcionado à página indicada na Figura 17, onde deverá selecionar apenas o tipo de seção do tipo I, dentre as disponibilizadas. As opções serão exibidas ao clicar sobre o balão de seleção, e, para selecionar a opção desejada, basta clicar sobre essa.

Ao optar pela alternativa desejada, serão exibidas ao lado da representação do perfil I as informações do perfil selecionado, como dimensões, área, momento de inércia.

Figura 17 - Interface de seção do aço

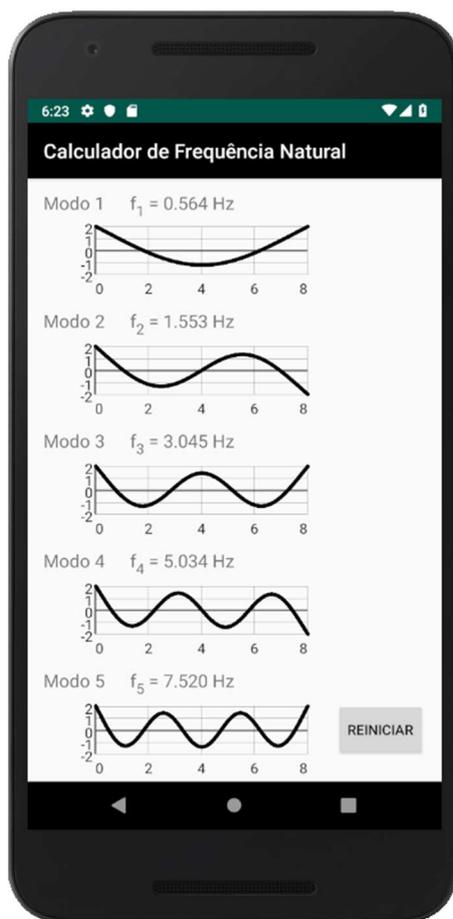


Fonte: Autoria Própria

Independente da interface encontrada pelo utilizador, para dar continuidade ao processo e avançar para a exibição dos resultados, basta ao usuário clicar sobre o botão “OK”.

Após a coleta e armazenamento de todos os dados necessários, o usuário será encaminhado para a interface de resultados, dispostos verticalmente, separados de acordo com as formas modais, onde cada modo dispõe do valor da frequência natural e do gráfico da forma modal, como mostrado na Figura 18. Os dados expostos são referentes às cinco primeiras formas modais da viga estudada pelo usuário.

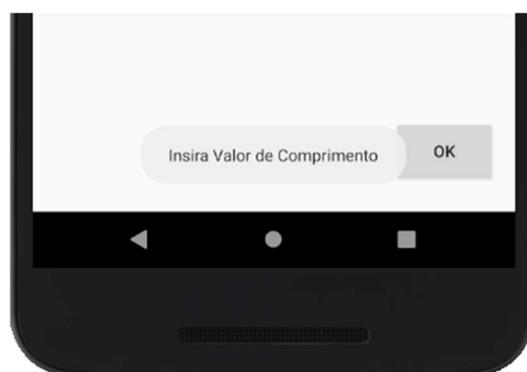
Figura 18 - Interface de resultados



Fonte: Autoria Própria

Os dados apresentados na Figura 18 são dados arbitrários, pois para o avanço das páginas do aplicativo, faz-se necessário que o usuário insira todos os dados solicitados, assim, o programa poderá realizar o cálculo de maneira correta. Caso um dos dados não seja fornecido, ao tentar prosseguir, o *software* exibirá uma mensagem temporária no parte inferior da tela, exemplificada na Figura 19.

Figura 19 - Exemplo de mensagem a ser exibida em caso de falta de dados

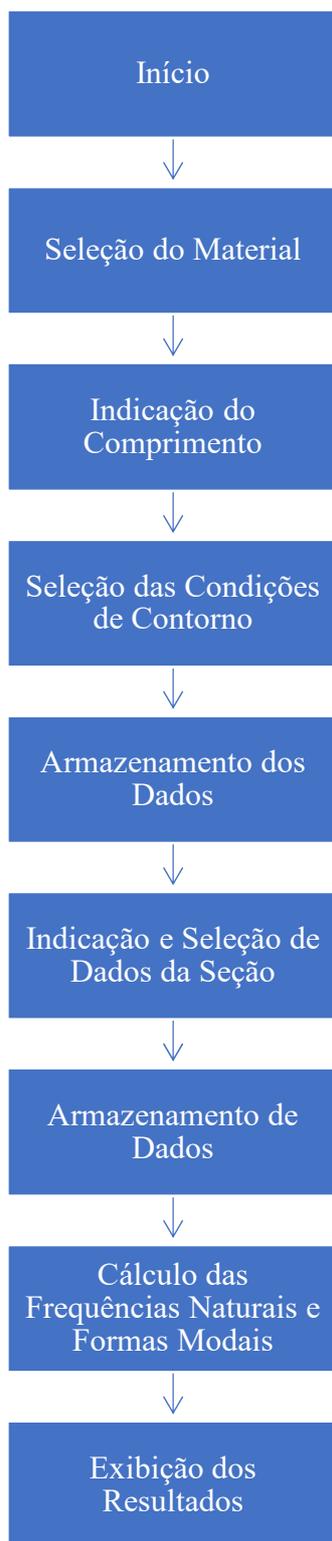


Fonte: Autoria Própria

4.2 Fluxograma

Para o funcionamento adequado do aplicativo, elaborou-se um fluxograma, ao qual o usuário deverá estar atento, para que compreenda a sequência que deve ser seguida. Para facilitar o entendimento, tem-se o fluxograma do aplicativo apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Fluxograma do aplicativo



Fonte: Autoria Própria

4.3 Verificação do Modelo

Para efeito de conferência dos resultados das frequências naturais, exibidos pelo aplicativo, será utilizado como base um modelo de cálculo criado no Excel para as mesmas equações empregadas no aplicativo, a fim de validar a sequência de cálculo do programa. Serão arbitradas características e propriedades a uma viga fictícia, disponibilizados na Tabela 4.

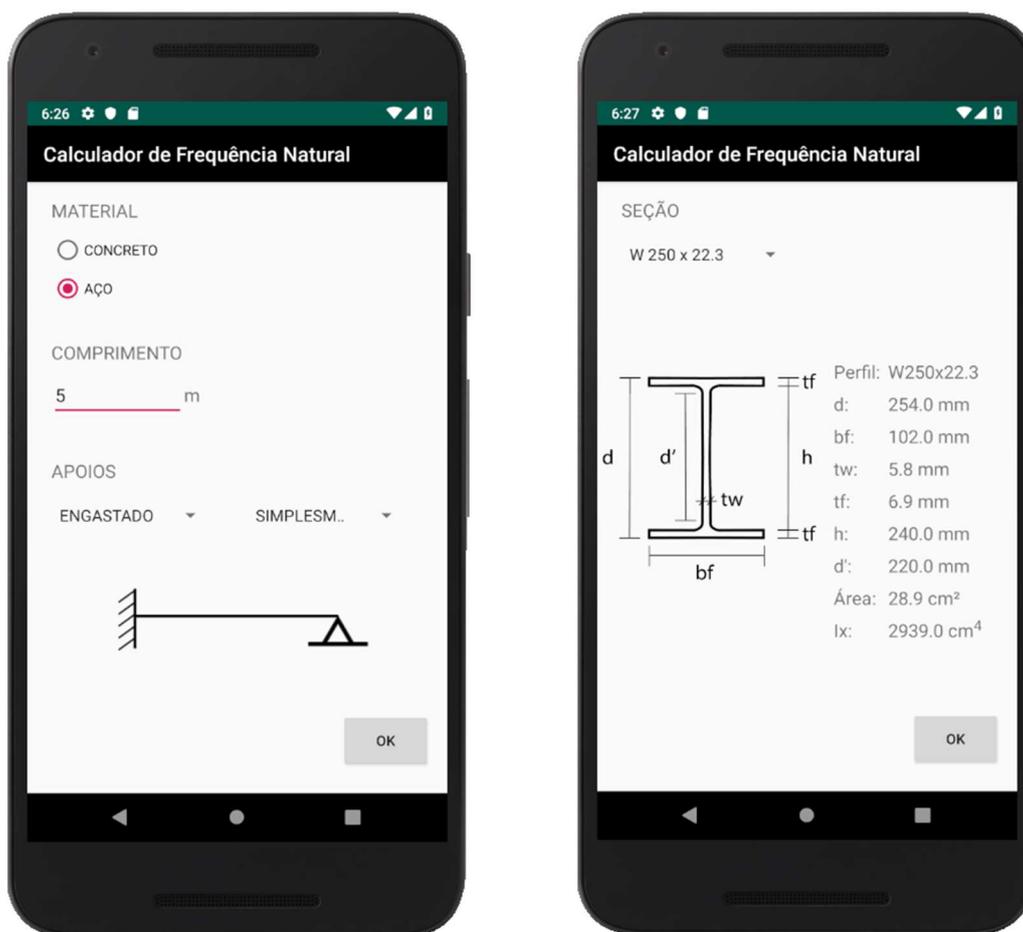
Tabela 4 - Dados inseridos no aplicativo para efeito de verificação

Material	Aço
Comprimento	5 metros
Apoio 1	Engastado
Apoio 2	Simplesmente apoiado
Seção	W 250 x 22,3
Módulo de Elasticidade	200 GPa
Momento de Inércia	2939,0 cm ⁴
Área	28,9 cm ²
Massa linear	22,3 kg/m

Fonte: Autoria Própria

Tais informações foram inseridas no aplicativo desenvolvido, como mostrado na Figura 21, e dado início ao procedimento de cálculo.

Figura 21 - Dados inseridos no aplicativo para verificação de aço

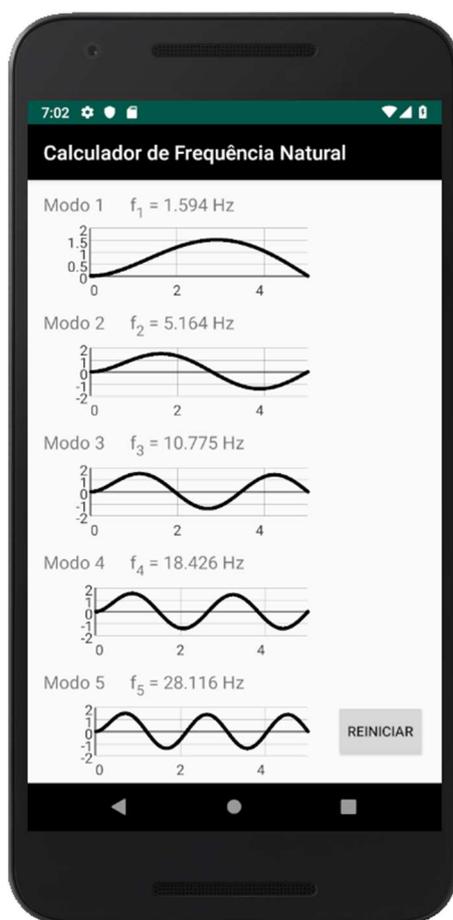


Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos pelo aplicativo, como exposto na Figura 22, foram os seguintes:

- $f_1 = 1,594$ Hz
- $f_2 = 5,164$ Hz
- $f_3 = 10,775$ Hz
- $f_4 = 18,426$ Hz
- $f_5 = 28,116$ Hz

Figura 22 - Resultados obtidos no aplicativo



Fonte: Autoria Própria

A comparação de cálculo criada no Excel, para os mesmos dados de entrada fornecidos para o aplicativo desenvolvido nesse trabalho e os valores de λ_i apresentados na Tabela 5, forneceu os resultados dispostos na Tabela 6.

Tabela 5 - Valores de λ_i para viga engastada-apoiada

λ_1	3,92660231
λ_2	7,06858275
λ_3	10,21017612
λ_4	13,35176878
λ_5	16,49336143

Fonte: Adaptado de Blevins (1980)

Tabela 6 - Resultados obtidos do modelo de comparação

f_1	1,59358898
f_2	5,16424901
f_3	10,77479334
f_4	18,42553420
f_5	28,11647259

Fonte: Autoria Própria

Devido as divergências entre o modo de determinação, dentro do aplicativo, para as propriedades físicas e geométricas dos diferentes materiais, faz-se necessário a criação de um modelo de verificação também para as seções de concreto, para garantir a veracidade dos resultados fornecidos pelo aplicativo. Assim, serão arbitrados novamente dados para uma viga fictícia, dessa vez utilizando o material concreto, dispostos na Tabela 7.

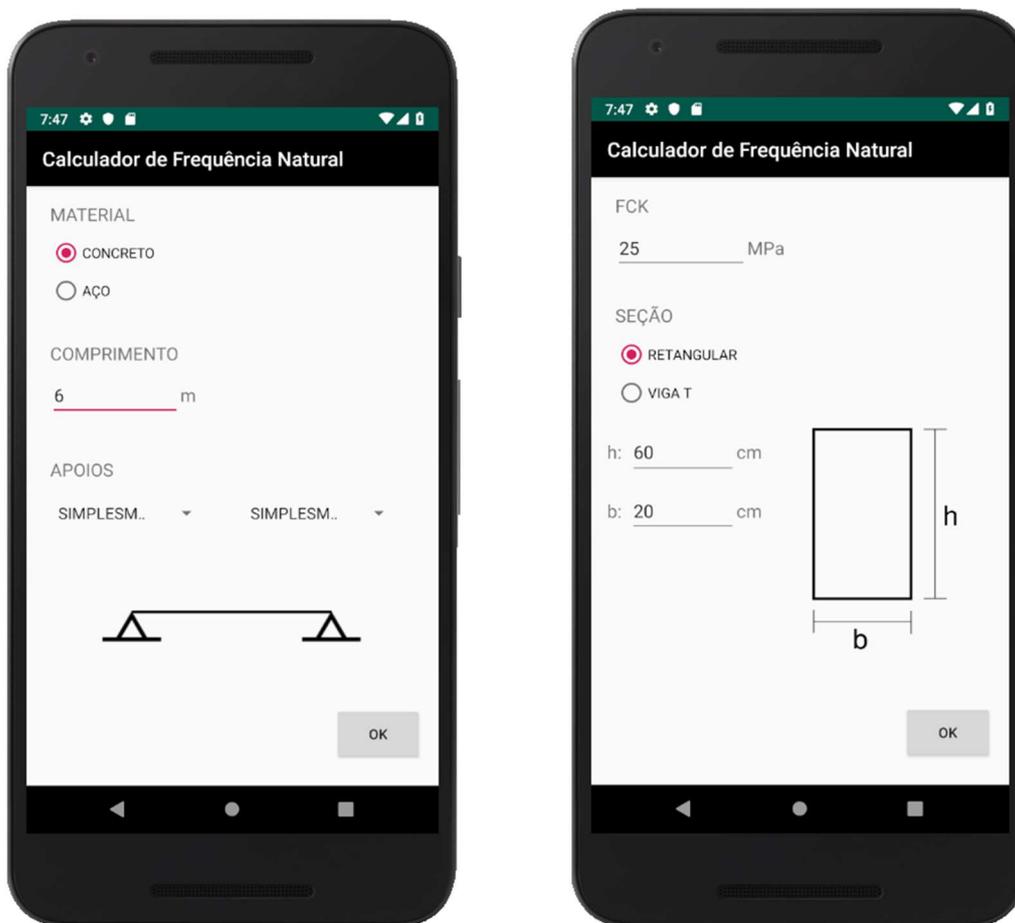
Tabela 7 - Dados inseridos no aplicativo para efeito de verificação

Material	Concreto
Comprimento	6 metros
Apoio 1	Simplesmente apoiado
Apoio 2	Simplesmente apoiado
Tipo de Seção	Retangular
Seção	60 x 20 cm
fck	25 MPa
Módulo de Elasticidade	GPa
Momento de Inércia	cm ⁴
Área	1200 cm ²
Massa linear	300 kg/m

Fonte: Autoria Própria

As informações presentes na tabela acima foram inseridas ou calculadas pelo aplicativo desenvolvido, como mostrado na Figura 23, e foi dado início ao procedimento de cálculo para encontrar as frequências naturais e formas modais.

Figura 23 - Dados inseridos no aplicativo para verificação de concreto

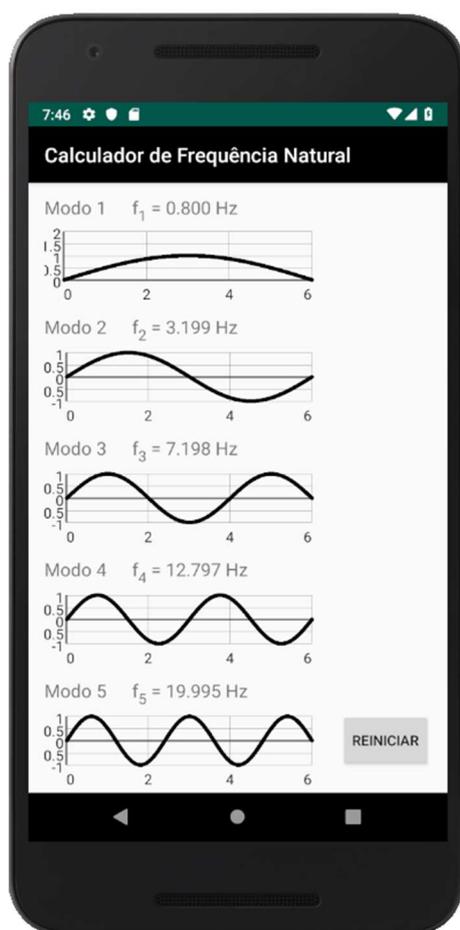


Fonte: Autoria Própria

Os resultados obtidos pelo aplicativo, como exposto na Figura 24, foram os seguintes:

- $f_1 = 0,800$ Hz
- $f_2 = 3,199$ Hz
- $f_3 = 7,198$ Hz
- $f_4 = 12,787$ Hz
- $f_5 = 19,995$ Hz

Figura 24 - Resultados obtidos no aplicativo



Fonte: Autoria Própria

O modelo de cálculo criado no Excel, para os mesmos dados de entrada fornecidos para o aplicativo e os valores de λ_i apresentados na Tabela 8, forneceu os resultados dispostos na Tabela 9.

Tabela 8 - Valores de λ_i para viga engastada-apoiada

λ_1	3,14159265
λ_2	6,28318531
λ_3	9,45477796
λ_4	12,56637061
λ_5	15,70796327

Fonte: Adaptado de Blevins (1980)

Tabela 9 - Resultados obtidos do modelo de comparação

f_1	0,79981034
f_2	3,19924136
f_3	7,19829307
f_4	12,79696546
f_5	19,99525852

Fonte: Autoria Própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aplicativo desenvolvido neste trabalho teve como objetivo a simplificação do cálculo das frequências naturais e representação gráfica para as cinco primeiras formas modais de uma viga. Gerando dados confiáveis e de forma ágil, o *software* cumpre com seu propósito, tornando a análise dinâmica inicial, com relação a vibração, mais interativa, acessível e segura.

Como observado anteriormente, o modelo de cálculo do aplicativo encontra-se alinhado a sua base teórica, concebendo assim dados fidedignos, passíveis de sua utilização em projetos, ou canteiros de obra. Vale ressaltar que a função do aplicativo é o cálculo analítico das frequências naturais de vibração, e não sua medição experimental.

Em um ambiente como o canteiro de obras, onde o profissional encontra-se sob elevado nível de estresse e pressão, equívocos podem ocorrer facilmente, algo que pode ser evitado ao retirar a necessidade de realização de cálculos mais complexos por colaboradores *in loco*. Fato que não retira, em hipótese alguma, a responsabilidade da decisão do engenheiro, logo, a ideia do aplicativo elaborado neste trabalho vem para auxiliar o engenheiro em sua tomada de decisão, fornecendo dados confiáveis e de forma eficiente.

Além disso, como exemplificação de uso, a compreensão da forma modal ajudará na realização de ensaios de vibração, uma vez que o operador conhecerá os pontos nodais (deslocamento nulo) da viga a ser ensaiada, e com isso saberá posicionar os equipamentos de modo a adquirir os resultados necessários para a análise.

Por fim, conclui-se que a incorporação desse aplicativo no cotidiano da construção civil, nas atividades relacionadas à concepção e execução de estruturas, auxilia o profissional responsável no cálculo das frequências naturais e na compreensão da sua forma modal de vibração. Agiliza a obtenção de informações e aumenta sua qualidade, cumprindo os objetivos deste trabalho, como também, permitindo que usuários com diferentes níveis de conhecimento sejam capazes de utilizá-lo, devido à sua simplicidade. Gerando assim, a modernização de uma área tão importante quanto a de análise dinâmica de estruturas, muitas vezes renegada pelos profissionais.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas sugestões do que pode ser adicionado ou desenvolvido posteriormente com base neste trabalho:

- Adicionar a opção para o cálculo das frequências naturais e formas modais em lajes;
- Adicionar a opção para o usuário gerar um relatório com os dados fornecidos;
- Adicionar mais opções de materiais e seções transversais;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLEVINS, Robert D.; PLUNKETT, R. **Formulas for natural frequency and mode shape**. Journal of Applied Mechanics, v. 47, p. 461, 1980.

CUTNELL, John D.; JOHNSON, Kenneth W. **Física–vol. 1**. Editora LTC, sexta edição, Rio de Janeiro, v. 3, 2006.

VIVAS, Deise Benn Pereira; TEIXEIRA, Elder Sales; CRUZ, Juan Alberto Leyva. **Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 1, p. 197-215, 2017.

GASPAR, A. **Oscilações**. In: **Física volume único**. 1º Ed. São Paulo: Editora Ática, 2001. p. 179 - 89.

Amann, O. H., T. von Karman, e Woodruff, G. B. **The Failure of the Tacoma Narrows Bridge**. Federal Works Agency, 1941.

ARQUITETURAJAVA. **A plataforma Java**. Disponível em <<http://www.arquiteturajava.com.br/livro/java-como-plataforma-alem-da-linguagem.pdf>> Acesso em: 17 de abril de 2019

ANDROID STUDIO. **Conheça o Android Studio**. 2017. Disponível em <<https://developer.android.com/studio/intro>> Acesso em: 17 de abril de 2019

LIFEWIRE. **What is mobile application**. Disponível em <<https://www.lifewire.com/what-is-a-mobile-application-2373354>> Acesso em: 18 de abril de 2019

TECNOLOGIA, JAVA **Obtenha Informações**. Java, 2017. Disponível em <https://www.java.com/pt_BR/about/> Acesso em: 18 de abril de 2019

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

CARVALHO, R. C., FIGUEIREDO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2003**. 3ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. Grupo Gen-LTC, 2009.

ABNT, NBR 8953:2015. **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**, 2015.

ABNT, NBR. 6118:2003. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, 2003.

ABNT, NBR. 8800:2008. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, 2008.

ABNT, NBR. 7497:1982. **Vibrações mecânicas e choques**, 1982.

ANEXO A – QUADRO

Tabela 10 – Perfis utilizados no aplicativo extraídos do banco de dados da Gerdau de perfis de aço laminado

Bitola mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	bf mm	Espessuras		h mm	d' mm	Área cm ²	Ix cm ⁴
				tw mm	tf mm				
W 150 x 13.0	13.0	148	100	4.3	4.9	138	118	16.6	635
W 150 x 18.0	18.0	153	102	5.8	7.1	139	119	23.4	939
W 150 x 24.0	24.0	160	102	6.6	10.3	139	115	31.5	1384
W 200 x 15.0	15.0	200	100	4.3	5.2	190	170	19.4	1305
W 200 x 19.3	19.3	203	102	5.8	6.5	190	170	25.1	1686
W 200 x 22.5	22.5	206	102	6.2	8	190	170	29	2029
W 200 x 26.6	26.6	207	133	5.8	8.4	190	170	34.2	2611
W 200 x 31.3	31.3	210	134	6.4	10.2	190	170	40.3	3168
W 250 x 17.9	17.9	251	101	4.8	5.3	240	220	23.1	2291
W 250 x 22.3	22.3	254	102	5.8	6.9	240	220	28.9	2939
W 250 x 25.3	25.3	257	102	6.1	8.4	240	220	32.6	3473
W 250 x 28.4	28.4	260	102	6.4	10	240	220	36.6	4046
W 250 x 32.7	32.7	258	146	6.1	9.1	240	220	42.1	4937
W 250 x 38.5	38.5	262	147	6.6	11.2	240	220	49.6	6057
W 250 x 44.8	44.8	266	148	7.6	13	240	220	57.6	7158
W 310 x 21.0	21	303	101	5.1	5.7	292	272	27.2	3776
W 310 x 23.8	23.8	305	101	5.6	6.7	292	272	30.7	4346
W 310 x 28.3	28.3	309	102	6	8.9	291	271	36.5	5500
W 310 x 32.7	32.7	313	102	6.6	10.8	291	271	42.1	6570
W 310 x 38.7	38.7	310	165	5.8	9.7	291	271	49.7	8581
W 310 x 44.5	44.5	313	166	6.6	11.2	291	271	57.2	9997
W 310 x 52.0	52	317	167	7.6	13.2	291	271	67	11909
W 360 x 32.9	32.9	349	127	5.8	8.5	332	308	42.1	8358
W 360 x 39.0	39	353	128	6.5	10.7	332	308	50.2	10331
W 360 x 44.0	44	352	171	6.9	9.8	332	308	57.7	12258
W 360 x 51.0	51	355	171	7.2	11.6	332	308	64.8	14222
W 360 x 57.8	57.8	358	172	7.9	13.1	332	308	72.5	16143
W 360 x 64.0	64	347	203	7.7	13.5	320	288	81.7	17890
W 360 x 72.0	72	350	204	8.6	15.1	320	288	91.3	20169
W 360 x 79.0	79	354	205	9.4	16.8	320	288	101.2	22713
W 410 x 38.8	38.8	399	140	6.4	8.8	381	357	50.3	12777
W 410 x 46.1	46.1	403	140	7	11.2	381	357	59.2	15690
W 410 x 53.0	53	403	177	7.5	10.9	381	357	68.4	18734
W 410 x 60.0	60	407	178	7.7	12.8	381	357	76.2	21707
W 410 x 67.0	67	410	179	8.8	14.4	381	357	86.3	24678
W 410 x 75.0	75	413	180	9.7	16	381	357	95.8	27616
W 410 x 85.0	85	417	181	10.9	18.2	381	357	108.6	31658

W 460 x 52.0	52	450	152	7.6	10.8	428	404	66.6	21370
W 460 x 60.0	60	455	153	8	13.3	428	404	76.2	25652
W 460 x 68.0	68	459	154	9.1	15.4	428	404	87.6	29851
W 460 x 74.0	74	457	190	9	14.5	428	404	94.9	33415
W 460 x 82.0	82	460	191	9.9	16	428	404	104.7	37157
W 460 x 89.0	89	463	192	10.5	17.7	428	404	114.1	41105
W 460 x 97.0	97	466	193	11.4	19	428	404	123.4	44658
W 460 x 106.0	106	469	194	12.6	20.6	428	404	135.1	48978
W 530 x 66.0	66	525	165	8.9	11.4	502	478	83.6	34971
W 530 x 72.0	72	524	207	9	10.9	502	478	91.6	39969
W 530 x 74.0	74	529	166	9.7	13.6	502	478	95.1	40969
W 530 x 82.0	82	528	209	9.5	13.3	501	477	104.5	47569
W 530 x 85.0	85	535	166	10.3	16.5	502	478	107.7	48453
W 530 x 92.0	92	533	209	10.2	15.6	502	478	117.6	55157
W 530 x 101.0	101	537	210	10.9	17.4	502	470	130	62198
W 530 x 109.0	109	539	211	11.6	18.8	501	469	139.7	67226
W 610 x 101.0	101	603	228	10.5	14.9	573	541	130.3	77003
W 610 x 113.0	113	608	228	11.2	17.3	573	541	145.3	88196
W 610 x 125.0	125	612	229	11.9	19.6	573	541	160.1	99184
W 610 x 140.0	140	617	230	13.1	22.2	573	541	179.3	112619
W 610 x 155.0	155	611	324	12.7	19	573	541	198.1	129583
W 610 x 174.0	174	616	325	14	21.6	573	541	222.8	147754