

FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – ARTIGO CIENTÍFICO

**ELABORAÇÃO DE *SOFTWARE* PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTOS
DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pedro Germano Ferraz Lima¹

Mayco Velasco de Sousa²

Resumo

Para dar início à um projeto é necessário um anteprojeto, onde determinará a concepção arquitetônica e a estrutural, e é nessa atividade que ocorre conflitos no dimensionamento, pois para um arquiteto seu objetivo é voltado para estética e conforto, enquanto o engenheiro foca em economia, segurança e durabilidade. Mesmo com os dois tendo um objetivo em mente, de executar da melhor forma possível, a questão de compatibilização nem sempre é convergente, ocorrendo assim retrabalhos ou prejuízos na obra como um todo. A ideia de o projetista ter uma base sobre o pré-dimensionamento é de suma importância para o andamento de um anteprojeto adequado. Com base nisso, ter nas “mãos” algo para facilitar essa execução, se torna algo tanto prático, quanto de aprimoração para os projetos. Em função disso uma aplicação de cálculos de pré-dimensionamentos é a melhor opção para essa finalidade, promovendo assim resultado, com fácil acesso. Um pré-dimensionamento mesmo com foco em evitar previsibilidade que ocorrem dos elementos estruturais com a arquitetura, bem feito se torna algo para facilitar os cálculos estruturais, diminuindo recálculos de aço com base nas seções ou dimensões das peças. Nesse sentido, a presente matéria visa criar um *software* para pré-dimensionar elementos de concreto armado, apresentando teorias e cálculos de diversos autores, buscando importar para a aplicação as que mais se adequa ao quesito de facilidade na criação do projeto, determinando os parâmetros escolhidos e os caminhos para chegar no mesmo.

Palavras-chave: Pré-dimensionamento; aplicativo; facilidade.

Abstract

Start a project, a pre-project is needed, which will determine the architectural and structural design, and it is in this activity that conflicts occur because an architect his objective is focused on aesthetics and comfort, while the engineer focuses on economy, security, durability. Even with the two having a goal in mind, to perform in the best way possible, the issue of compatibility is not always convergent, thus causing rework or damage to the work as a whole. of paramount importance for the progress of an adequate draft. Thereat having something “into hands” ease this execution, becomes something both practical, and improvement for projects. Therewith an application of pre-dimensioning calculations is the best option for this purpose, promoting results and easy access. A pre-dimensioning, even with a focus on avoiding

¹Pedro Lima formando do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Paraíso do Ceará. pedrogermano@aluno.fapce.edu.br. Artigo apresentado na data de 17/12/2021 na Faculdade Paraíso do Ceará como parte obrigatória para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

² Mayco Sousa Orientador. Graduado em Engenharia Civil e Mestre em Geotecnia e Construção Civil, Professor da Faculdade Paraíso do Ceará. mayco.velasco@fapce.edu.br.

predictability that occurs from structural elements with architecture, well done becomes something to ease structural calculations, reducing steel recalculations based on the sections or dimensions of the parts. In this sense, this article aims to create software to pre-dimension reinforced concrete elements, presenting theories and calculations from several authors, seeking to import into the application those that best suit the ease of designing the project, determining the chosen parameters and the paths to get there.

Keywords: pre-dimensioning; application; ease.

1 INTRODUÇÃO

A busca por facilidade e eficiência, proporcionou a indústria, comércio e construção uma sede de avanços, e para isso foi desenvolvido ferramentas de cálculo e aprimoração de rotinas previsíveis e repetitivas, com intuito de melhor gerenciamento. Os *softwares*, no âmbito da construção, são um exemplo de tipo dessas ferramentas que aceleram o processo de dimensionamento e o planejamento dos projetos, e que na atualidade são essenciais para o desenvolvimento de uma ideia.

Em todos os campos de estudo e trabalho, se há uma preocupação de viabilidade entre dois ou mais conceitos, na construção civil a compatibilização entre os projetos são exemplos que ainda, após vários avanços tecnológicos, existe a má aplicação no canteiro de obra e na elaboração do projeto.

Os dois projetos mais afetados são estruturais e arquitetônico pelo o fato de serem dimensionados com princípios diferentes, de certa forma o foco do arquiteto é a estética e o conforto, e o engenheiro a segurança, economia e durabilidade. Mesmo com objetivo final de executar e projetar a obra da melhor forma, esses conceitos acarretam de apresentar erros no projeto final, havendo imprevistos e retrabalhos, sendo isso a má compatibilização dos projetos planejados. O mal gerenciamento dessa compatibilização ocasiona desperdício de insumos, retrabalhos, ocasionando vários imprevistos, atrasando assim a obra.

Na construção civil moderna o foco é maior no desenvolvimento, do que a finalização; tendo como princípios a busca por inovações, diversificações de materiais, a preocupação em como planejar e a sua gestão. São elementos que buscam o processo mais que o produto final em si, diferente de construções antigas que focavam na estética que iriam proporcionar. Percebeu-se que aprimorar esses processos através da tecnologia traria otimização tanto de materiais, quanto de tempo; por isso a engenharia civil moderna busca melhor planejamento e execução, pois sabem que focando nisso resultará em um produto melhor em inúmeros conceitos.

Mesmo com esses aperfeiçoamentos buscados, a má compatibilização entre os projetos é um dos aspectos a ser dominado com perfeição, e a falta de compartilhamento de estudos entre os projetistas, torna o processo muito complexo. A ideia então é propor meios de ter uma previsão de como será os elementos estruturais para assim uma adequação da arquitetura, para a dimensão da peça estrutural ou concepção da obra. Segundo Melo (2013), o desenvolvimento de um projeto arquitetônico deve considerar a interação estrutural, pois um simples elemento estrutural pode ocasionar interferência significativa na arquitetura, portanto é necessário um pré-dimensionamento sendo ele empírico ou analítico, afim de obter um resultado aproximado do que realmente acontecerá.

Para obter esse resultado da forma precisa e que seja intuitiva, um meio é a criação de um *software* para prever dimensões, com base em conceitos teóricos de vários autores, de forma que a mesma seja didática e que seja acessível a qualquer momento, é uma aplicação de celular, com possibilidade de apresentar parâmetros e conceitos na palma da “mão”.

Nisso este artigo tem como objetivo facilitar a utilização do pré-dimensionamento por meio de aplicação de celular, apresentando tanto os parâmetros limitados por norma, quanto suas dimensões estimadas segundo autores da construção civil, tornando assim o caminho de projetar e dimensionar mais eficiente, obtendo melhor compatibilização entre arquitetônico e estrutural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ter uma previa do final de algo que se tem como objetivo, é algo que torna o caminho e processo mais simples, no âmbito da construção ter o pré-dimensionamento com menor índice de erro torna os cálculos e caminhos mais objetivos.

Essa previsão não pode propor resultados altos, afins de superdimensionar uma estrutura, tornando economicamente inviável, também não obtendo ser baixo, a ponto de aumentar os retrabalhos dos cálculos e concepções. Essas prévias são conceitos empíricos e analíticos retirados de vários casos estruturais dimensionados, que obtiveram resultados convergentes, dando assim uma linha de margem para aquele tipo de situação, onde cada situação são as diferenças das peças e suas características.

Segundo Rebello (2007) o pré-dimensionamento de uma estrutura serve para que se possa antes de calcular, avaliar as dimensões necessárias e determinar basicamente como o arquitetônico deverá prosseguir, e sua concepção estrutural por consequência.

Tanto para os arquitetos quanto para o engenheiro há uma necessidade de ter um conhecimento empírico para auxiliar no início tanto do projeto, quanto para o cálculo estrutural. E para obter essa prévia, foram retirados de vários casos estruturais dimensionados, e que deram resultados convergentes, obtendo assim um ponto de margem para aquele tipo de situação. Propondo para isso tabelas e fórmulas empíricas que focam em descobrir esse ponto, diversos autores apresentam caminhos diferentes para determiná-los, alguns buscando mais precisão e outros mais praticidade.

Em relação a vigas de concreto, Di Pietro (2000) apresenta fórmulas relacionadas a dimensão do vão livre e que as mesmas mudam dependendo do tipo da viga, sendo ela biapoiada, continua ou em balanço. Rebello (2007) tem os mesmos princípios, porém alguns parâmetros mudam com a mudança do tamanho da carga, podendo ser pequena, média ou grande.

Nos pilares o pré-dimensionamento é a determinação da área da seção transversal, tanto para Di Pietro (2000) quanto para Rebello (2007), apresentam parecidos fundamentos, porém com valores de cargas divergentes, de forma que os autores diferenciam na majoração do tipo da laje. Pinheiro (2007) formula parâmetros de excentricidade para tipos de pilares de canto, extremidade e internos, convergindo em relação a área de influência como Di Pietro (2000). Aufieri (1997) também formula parâmetros de excentricidade porém com valores diferentes de Pinheiro (2007), e fazendo a separação da carga acidental e o peso próprio da fórmula.

A laje é entre os outros elementos onde os autores mais divergem de formulas e fundamentos, porém todos focam principalmente no menor vão e dimensionam a altura da laje, utilizando aspectos do vão maior e a seu tipo de apoio como preceitos de cálculo. Di Pietro (2000) diversifica todas as lajes e indica formulas diferentes para cada uma delas assim como Rebello (2007), mas com valores diferentes.

Em um pré-dimensionamento para uma finalidade de praticidade é determinada a escolha de uma peça com seção constante, obtendo assim facilidade na produção das peças, tanto em questão de armaduras, quanto da modelagem do concreto em campo.

Melo (2013) relata que em algumas ocasiões a arquitetura pode modificar esse aspecto de uniformidade, sendo necessário um ponto de vista estrutural, focando assim nas cargas. Equações com isso em vista foram desenvolvidas para pré-dimensionamentos, com a preocupação da característica e da intensidade da carga, um autor que teve como propósito isso, foi Rebello (2007).

Para parametrizar as peças estruturais a norma NBR-6118 (2014) determina as dimensões mínimas, para assim o anteprojeto tenha andamento, e o projetista se adequar ao mesmo. Essas peças podem ser menores, porém segundo a norma, deve ser feito um estudo e um levantamento de dados em relação ao aspecto dos materiais da região e assim estabelecer que a peça estrutural irá suportar o previsto.

Para pré-dimensionamento, ter a menor quantidade de variáveis, torna o mesmo mais rápido, porém impreciso, por isso é normal focar em muitas constantes, mas em alguns casos a por falta de precisão, a peça com o projeto finalizado se torna um quesito que pode modificar a estética, ficando inviável para alguns arquitetos ou até mesmo ocorrendo retrabalhos.

Portanto com a ideia de utilizar o meio termo de constante e variável, traz ao aplicativo métodos mais aproximados, continuando ainda um aspecto intuitivo e prático. Existem conceitos com a intenção de tornar a aproximação do dimensionamento mais objetiva, sendo ela:

a) área de influência: área da laje que mais faz influência aos pilares, sendo a parte da laje que será sustentada por o pilar. Existe dois tipos de determinação, dividindo por tipo de apoio (apresentando uma angulação de 45°, 60° ou 90° para apoios iguais, diferentes ou livres, respectivamente), ou apenas a separação ao meio da laje (majorando e facilitando os cálculos).

2.1 PILAR

A finalidade de um pilar tem como principal função transmitir as cargas da estrutura para a infraestrutura, e mesmo com esforços verticais presentes, existe os esforços horizontais que são as ações do vento. E com isso há necessidade do aumento da rigidez da estrutura como um todo (MELO, 2007).

Existem formas de pré-dimensionamentos que utilizam padrões para todos os tipos de pilares, sendo eles interno, canto e extremidade. Porém segundo Giongo (2007) os pilares são submetidos a flexão composta, sendo elas de flexão composta oblíqua (canto), flexão normal composta (extremidade), e a compressão centrada (interno).

Existem comportamentos além desses que determinam parâmetros limites para a peça, como a flambagem, sendo o fenômeno mais problemático conforme Rebello (2007), onde a flambagem do pilar de concreto armado depende do formato da seção, da carga aplicada e pelo seu comprimento não travado.

O estribo no pilar combate a flambagem da barra longitudinal da peça, fazendo com que tenha relação de equivalência os dois, pois quanto maior a barra, menor deverá ser o espaço do estribo, e mais estribos na peça existirá. Junto a isso a NBR-6118 (2014):18.4.3, determina que o valor do espaçamento entre os estribos devem ser, menores que 12 (doze) vezes o diâmetro da barra longitudinal para CA-50.

A mesma norma no item 13.2.3, também designa para a dimensão transversal menor do pilar, que tenha como valor mínimo 19cm de largura, porém a mesma pode ser alterada para menos, com a condição de aumentar com um multiplicador as cargas que o pilar absorve, esses multiplicadores são diretamente proporcionais à valor desejado da largura

- a) 14 cm → Majoração de 25% nos esforços;
- a) 15 cm → Majoração de 20% nos esforços;
- a) 16 cm → Majoração de 15% nos esforços;
- a) 17 cm → Majoração de 10% nos esforços;
- a) 18 cm → Majoração de 5% nos esforços.

Mesmo com isso a norma determina uma área mínima da seção transversal, independente da largura, sendo ela 360cm² (NBR-6118:13.2.3, 2014).

Para pré-dimensionar deve-se encontrar a área de seção transversal aceitável para aquele determinado tipo de pilar (REBELLO, 2007, DIPIETRO, 2000, PINHEIRO, 2007).

2.1.1 Método de Rebello

Rebello (2007) utiliza as equações de acordo com o tamanho do pilar e o valor da carga, assim:

- a) pilar menor que 4 metros de vão livre, sem travamento por vigas ou lajes:

$$A_{seção} = \frac{P}{100} (cm^2) \quad (1)$$

- b) pilar maior que 4 metros de vão livre, sem travamento por vigas ou lajes:

$$A_{seção} = \frac{P}{80} (cm^2) \quad (2)$$

Sendo:

$A_{seção}$ = Área necessária para a seção do pilar em cm²;

P = Carga Atuante no Pilar.

O valor da Carga atuante no pilar é determinado por a equação:

$$P = (A_i \times q_{\text{piso}} \times n) + (A_i \times q_{\text{cobertura}}) \quad (3)$$

Sendo que:

A_i = área de influência do pilar (m^2), no método das metades dos vãos;

n = número de pavimentos da estrutura;

q_{piso} = 800kgf/m², relacionado ao piso por pavimento, incluído nesse valor estão as cargas acidentais, permanentes e a majoração por o tipo de flexão do pilar. Conforme foi relatado no item 2.1 desse artigo;

$q_{\text{cobertura}}$ = 600kgf/m², relacionado a cobertura (incluído cargas permanentes e majoração pelo o tipo de pilar).

2.1.2 Método de Di Pietro

Di Pietro (2000) utiliza a mesma formulação de Rebello, porém com cargas diferentes e propõe a equação com a resistência de cálculo de concreto, onde Rebello deixa fixo 100kgf/cm² e 80kgf/cm². Determinando assim:

$$A_{\text{seção}} = \frac{A_i(m^2) \times Tc(kgf / m^2)}{Fcd(kgf / cm^2)} \quad (4)$$

Onde:

A_i = Área de Influência, a soma da metade da distância entre os dois pilares subsequentes;

Fcd = Resistência de cálculo de concreto = 1 kN/m² = 100kgf/cm²;

Tc = Taxa de carga que é a multiplicação da carga por a quantidade dos pavimentos, onde cada carga é apresentada de forma de uma constante, tendo dentro acidentais, permanentes e majorações para casos de flexão nos pilares:

a) laje de Cobertura ou Baldrame: 500 kgf/m²;

b) laje de Piso: 1000 kgf/m².

2.1.3 Método de Pinheiro

Pinheiro (2007) leva em consideração vários aspectos que os autores anteriores não introduziram de forma perceptiva, que é a divisão dos tipos, sendo eles os pilares de canto, de

extremidade e internos, onde apresentam flexões, compressões, excentricidades diferentes umas das outras. Além de trazer uma nova proposta de calcular a área de influência, com relação a direção do menor ou maior vão. No qual apresenta um valor de 0,45L ou 0,55L, dependendo assim da posição do pilar na estrutura:

- a) 0,45L ou 45%L → pilar de extremidade e de canto, na direção da sua menor dimensão;
- b) 0,55L ou 55%L → complemento dos vãos caso anterior, para assim completar 100%L;
- c) 0,50L ou 50%L → pilar de extremidade e de canto da direção de maior vão.

Para coeficiente de majoração (α) da força normal em relação a excentricidade dos pilares, os valores para cada um são:

- a) $\alpha = 1,3$ → pilares internos ou de extremidade, na direção da maior dimensão;
- b) $\alpha = 1,5$ → pilares de extremidade, na direção da menor dimensão;
- c) $\alpha = 1,8$ → pilares de canto.

A área de seção transversal do pilar é determinada pela seguinte expressão:

$$A_{seção} = \frac{30 \times \alpha \times Ai \times (n + 0,7)}{fck + 0,01 \times (69,2 - fck)} \quad (5)$$

Onde:

$A_{seção}$ = área da seção transversal do pilar (cm²)

α = majoração da força normal

Ai = Área de Influência (m²)

n = número de pavimentos, considerando a cobertura, apresentada na equação com 0,7 ou 70% da carga de um pavimento.

fck = resistência característica do concreto (kN/cm²)

2.1.4 Método de Aufieri

Aufieri (1997) utiliza uma equação mais complexa para o determinar da área transversal, com o objetivo de obter uma dimensão mais precisa e confiável, nisso ele engloba uma expressão que apresenta a tensão de ideal de cálculo do concreto, além da majoração da carga pelo o tipo de pilar, a equação da Área da seção transversal do pilar dada por ele é:

$$A_{seção} = \frac{\Phi \times Ai \times (g + q) \times (n + 0,7)}{\sigma_{id}} \quad (6)$$

Sendo:

$A_{seção}$ = área da seção de concreto (cm²);

Φ = coeficiente de majoração das ações axiais;

A_i = área de influência do pilar (m^2), no método das metades dos vãos;

$(g + q)$ = carregamento uniformemente distribuído (g = peso próprio, q = carga acidental);

$(n + 0,7)$ = número de pavimentos (n), que leva em consideração a cobertura referente a 70% da carga estimada, como apresentada acima no item 2.1.3 - Método de Pinheiro.

No seu método também é separado as cargas de forma que tenha como padrão apenas o coeficiente (Φ) que majoram as ações axiais das solicitações nos pilares, sendo apresentado diferente por outros autores. As majorações do autor, são elas:

a) (Φ) Interno \rightarrow Coeficiente de 1,80

b) (Φ) Extremidade \rightarrow Coeficiente de 2,00

c) (Φ) Canto \rightarrow Coeficiente de 2,30

Onde o valor da tensão ideal de cálculo do concreto:

$$\sigma_{id} = 0,85 \times fcd + \rho \times (fsd - fcd) \quad (7)$$

Sendo:

σ_{id} = tensão ideal de cálculo do concreto;

fcd = resistência de cálculo do concreto (kN/cm^2), sendo a utilização de 70% da resistência característico do concreto;

fsd = resistência de cálculo do aço relativa à deformação de 0,2% (kN/cm^2), classificado por 21,7 kN/cm^2 (CA-25), 42 kN/cm^2 (CA-50), 40 kN/cm^2 (CA-60);

ρ = taxa de armadura (kN/cm^2), adotado normalmente 0,2%.

2.2 VIGA

As vigas são elementos que trabalham de forma a suportar cargas e transferir para os pilares. As mesmas são dimensionadas principalmente por o esforço cortante, torção, momento fletor, ancoragem aplicada, no entanto, para um pré-dimensionamento, apenas é utilizado alguns parâmetros limites e proporcionalidade entre o vão efetivo entre os pilares. Para alguns autores a intensidade da carga distribuída também é um fator importante para fazer uma estimativa da viga. São apresentadas pelo os autores vigas contínuas, biapoiadas e em balanço, com um denominador diferente para cada ocasião.

A NBR-6118:13.2.2 (2014), apresenta o limite de 12 cm para a seção transversal das vigas, esse valor pode ser reduzido para o valor de 10 cm, mas com as condições de:

- a) não interferência entre o alojamento das armaduras e a armação de outros elementos, tendo que ser respeitado os espaçamentos mínimos e os cobrimentos necessários, dependendo da classe de agressividade dada pela norma;
- b) executar de acordo com a NBR-14931 (2004) que redige procedimentos para a execução de estruturas de concreto, tanto no lançamento, quanto na vibração do concreto.

2.2.1 Método de Rebello

Rebello (2007) expõe vários pré-dimensionamentos com relação ao tipo de apoio a estrutura apresenta, dentre elas são as:

- a) viga biapoiada sem balanço: apoiada em dois pilares.
- b) viga biapoiada com balanço: apoiada em dois pilares, porém com um transpasse da viga entre um apoio dos pilares, formando um balanço.
- c) viga contínua sem balanço: apoiada em mais de dois pilares, apresentando assim um momento negativo e positivo ao decorrer da viga.
- d) viga contínua com balanço: apoiada em mais de dois pilares, com transpasse da viga entre o pilar final, em outras palavras, de forma que a viga fique fora de um apoio na sua extremidade.

Em relação a largura utilizada o autor apresenta um valor ideal de 20% ou 33% da altura da viga, porém a mesma não podendo ultrapassar os limites dado pela norma, exposta acima. No entanto, normalmente é modelada pelo tipo da alvenaria, assim o valor máximo para tijolos de uma vez é de 20 cm ou 22 cm, enquanto para tijolos de meia vez adotado 12cm, com o valor de 9 cm ou 11,5 cm sem considerar o acabamento, pois a largura mínima é 10 cm de uma viga.

A intensidade da carga como forma de pré-dimensionar uma viga, é uma questão muito basal e não proporcional, em relação a isso o autor apresenta a grosso modo:

- a) cargas pequenas: laje apoiada apenas em um lado da viga e inexistência de alvenaria.
- b) cargas médias: laje apoiada nos dois lados da viga e existência de alvenaria.
- c) cargas grandes: laje apoiada nos dois lados da viga, existência de alvenarias e apresentar cargas de outras vigas apoiadas sobre ela.

Dado isso, a proporcionalidade é indicada na Tabela 1, onde $L_{vão}$ é o comprimento maior entre um pilar ou o vão maior que a viga deverá atingir. Em casos das vigas em balanço, deverá efetuar o pré-dimensionamento do outro tramo (vão sem balanço) e adotar o maior valor entre os dois.

Tabela 1. Relação vão efetivo e viga, de Rebello

		Porcentagem do vão a ser considerada na altura da viga		
		Pequenas	Médias	Grandes
Biapoiadas	Sem Balanço	$h = L_{vão} \times 8\%$	$h = L_{vão} \times 10\%$	$h = L_{vão} \times 12\%$
	Com Balanço	$h = L_{vão} \times 16\%$	$h = L_{vão} \times 20\%$	$h = L_{vão} \times 24\%$
Contínuas	Sem Balanço	$h = L_{vão} \times 6\%$	$h = L_{vão} \times 8\%$	$h = L_{vão} \times 10\%$
	Com Balanço	$h = L_{vão} \times 16\%$	$h = L_{vão} \times 20\%$	$h = L_{vão} \times 24\%$

Fonte: Adaptado de Rebello (2007)

Sendo:

h = altura mínima a ser adotada da viga;

$L_{vão}$ = Comprimento da viga ou do vão entre os pilares.

2.2.2 Método de Pinheiro

Pinheiro (2007) apresenta uma estimativa grosseira em relação a altura das vigas (h), porém diferente de alguns autores, ele delimita por tramos:

a) tramos internos → um vão que possuem vãos adjacentes dos dois lados:

$$h = \frac{Lo}{12} \quad (8)$$

Sendo:

h = altura da viga em cm;

Lo = comprimento do vão em cm.

b) tramos externos ou vigas biapoiadas → o vão da extremidade, onde apresenta apenas uma continuidade ou nenhuma:

$$h = \frac{Lo}{10} \quad (9)$$

c) balanço → vão da extremidade que apresenta só um apoio:

$$h = \frac{Lo}{5} \quad (10)$$

2.2.3 Método de Di Pietro

Di Pietro (2000) propõe parâmetros com grande grau de confiabilidade para pré-dimensionamentos de vigas, porém com foco de orientação e não como regra geral. Utilizando como os outros autores o comprimento do vão considerando como L.

Além do concreto armado, o autor apresentou parâmetros para concreto protendido, podendo ser outras viabilidades para projetos caso necessite de atingir grandes vãos com largura da viga menor, pois em alguns casos ter como opção uma viga de peça estrutural assim apresenta uma característica tanto na estética, quanto na solução de um problema, exemplo disso é um dimensionamento de uma garagem de um prédio, onde não pode ter muitos pilares, viabilizando o protendido.

Tabela 2. Relação vão efetivo e viga, de Di Pietro

	Biapoiada	Contínua	Em balanço
Concreto armado	$h = \frac{L}{8} a \frac{L}{12}$	$h = \frac{L}{12} a \frac{L}{16}$	$h = \frac{L}{5} a \frac{L}{7}$
Concreto Protendido	$h = \frac{L}{12} a \frac{L}{16}$	$h = \frac{L}{16} a \frac{L}{18}$	$h = \frac{L}{7} a \frac{L}{9}$

Fonte: Adaptado de Di Pietro (2000)

Quanto à largura o autor apresenta valores referente as dimensões dos tijolos, com a intenção de deixar a viga não aparente. Assim ele apresenta larguras de:

- a) 10 ou 12 cm → para tijolos Cerâmicos de 6 furos, contando com o acabamento, pois com base no tijolo sem acabamento o valor fica no tipo de 9 cm e 11,5 cm;
- b) 12 cm → para tijolos cerâmicos de 12 furos.

2.3 LAJE

Elemento estrutural que objetiva repassar as cargas acidentais e cargas permanentes nelas para as vigas, ou até mesmo direto aos pilares no caso de lajes cogumelos ou nervurada. Alguns autores apresentam formulas que indicam uma espessura média, porém nem sempre é confiável pois dependendo do carregamento modifica muito a peça como um todo, exemplo disso é a utilização de caixa d'aguas em cima da laje, onde apresenta uma carga por metros quadrados muito alta em relação com o normal, devendo sempre ser pré-dimensionada com espessura mais elevada.

Os autores apresentam alguns parâmetros para cada tipo de laje, sendo elas, maciças, mista/pré-moldados (treliçadas ou protendidas), lisas, nervurada e cogumelo. Mesmo com essas estimativas, os valores não podem ser menores do que a NBR-6118:13.2.4 (2004) indica, sendo:

- a) 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- d) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- e) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, L/42 para lajes de piso biapoiadas e L/50 para lajes de piso contínuas;
- f) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo.

2.3.1 Método de Di Pietro

Di Pietro (2000) expõe equações para pré-dimensionar vários tipos de lajes de forma simples, porém com grande confiabilidade, em casos de lajes residenciais ou sem altas sobrecargas. Seu foco é basicamente calcular em cima do maior entre os menores vãos de uma laje, afim de tornar uniforme a espessura para o pavimento tipo.

a) laje maciça:

$$h \geq \frac{L_{maior}}{45} \quad (11)$$

Sendo:

h = espessura mínima adequada para a laje;

L_{maior} = maior dos menores vãos.

b) laje mista:

$$h \geq \frac{L_{maior}}{35} \quad (12)$$

c) laje nervurada:

$$h \geq \frac{L_{maior}}{40} \quad (13)$$

d) laje cogumelo com capitel:

$$h \geq \frac{L_{maior}}{35} \quad (14)$$

e) laje cogumelo sem capitel:

$$h \geq \frac{L_{maior}}{30} \quad (15)$$

2.3.2 Método de Rebello

Rebello (2007), apresenta lajes maciças armadas em uma e em duas direções, e além de propor um pré-dimensionamento para uma laje em balanço.

a) laje armadas em cruz (duas direções):

$$h = 2\% \frac{L_{maior} \times l_{menor}}{2} \quad (16)$$

Sendo:

h = espessura mínima adequada para a laje;

L_{maior} = lado maior da laje;

l_{menor} = lado menor da laje.

b) laje armada em uma só direção:

$$h = 2\% \times l_{menor} \quad (17)$$

c) laje em balanço:

$$h = 4\% \times l_{balanço} \quad (18)$$

Sendo:

$l_{balanço}$ = largura do balanço, em relação ao engastamento.

O autor também cita expressões para lajes nervuradas, com base ao espaçamento entre as nervuras:

a) espaçamento entre nervuras em torno de 100 cm → $h = 4\%$ do vão das nervuras, sendo h a espessura da laje;

b) espaçamento entre nervuras em torno de 50 cm → $h = 3\%$ do vão das nervuras.

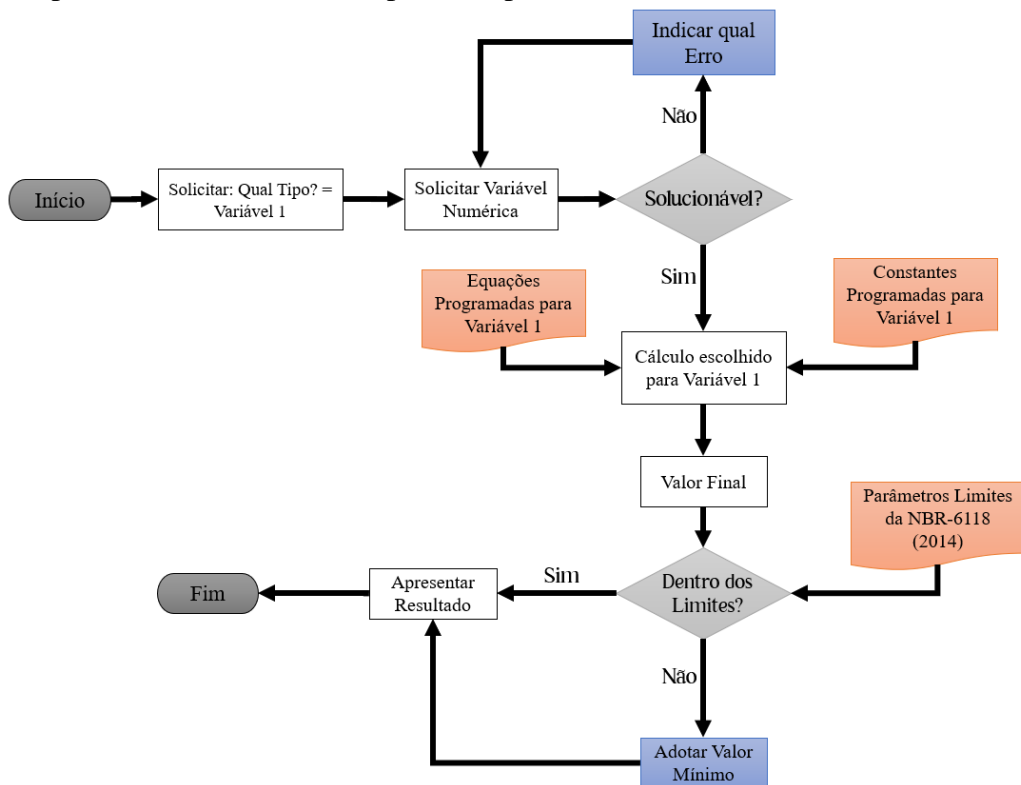
3 METODOLOGIA

A ideia de impor um aplicativo é trazer velocidade e praticidade, então o mesmo não pode fugir desse conceito, trazer um software com parâmetros objetivos e eficazes, com intenção de tornar algo intuitivo, indicando limites que as normas vigentes

Para apresentar um valor como resultado, a aplicação necessitava de constantes programadas (para não solicitar muitas variáveis ao utilizador), equações programadas (com base na fundamentação teórica escolhida), verificações limites e sua majoração se necessário (determinados pela norma que visa no controle de requisitos de uma estrutura de concreto armado).

Para obter o resultado do pré-dimensionamento no meio computacional, é necessário ter peças programadas e deixar quesitos para modificações e solicitações, sendo essas as variáveis que a pessoa que utiliza o aplicativo desejar. Essa variável determinará quais requisitos programados que o sistema utilizará como caminho, para exemplificar, o fluxograma na figura 1 indica o percurso utilizado desde de receber o dado do utilizador (pessoa que usa o aplicativo), até o envio do aplicativo do que está sendo requerido.

Figura 1: Fluxograma do caminho do aplicativo para o pré-dimensionamento. Após solicitar a variável, o próximo passo é verificar se a mesma é aceitável para os

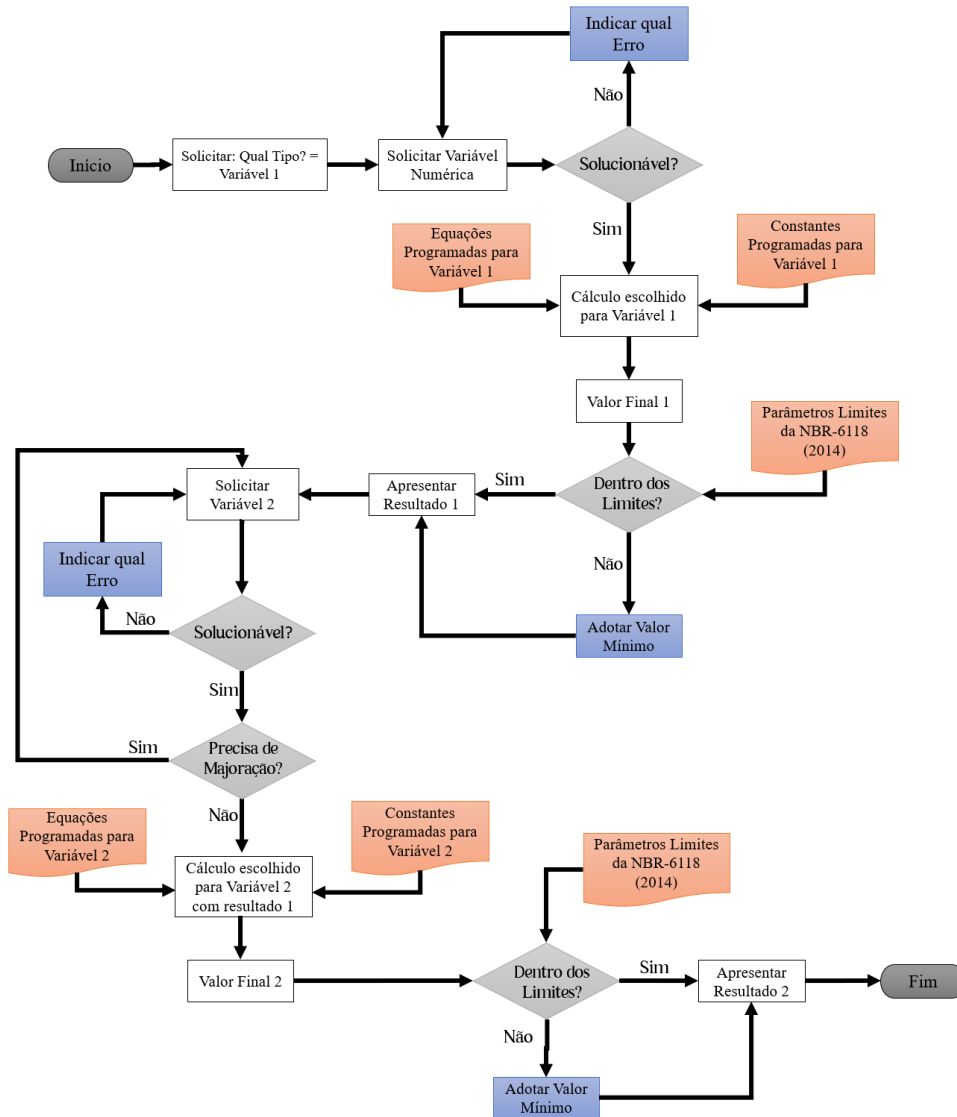


Obs.: Equações e constantes determinadas pelo os autores citados no Referencial Teórico.

cálculos, pois não pode haver valores negativos ou exorbitantes, refazendo o processo de solicitação caso o sistema acuse erro.

Com todos os passos anteriores corretos, o aplicativo calcula com a variável e com constantes programadas (retiradas por autores citados no referencial teórico e NBR's), resultando em um valor que passa por uma outra avaliação, na qual se a mesma apresentar um valor abaixo do limite será descartado e terá a substituição por valor mínimo estabelecido pela a NBR:6118 (2014). Contudo há necessidade para alguns casos de obter mais que uma só solução, e o fluxograma da figura 2 mostra esse novo caminho, com solicitações de novas variáveis e com majorações.

Figura 2: Fluxograma do caminho do aplicativo para o pré-dimensionamento com majoração e nova variável.



Obs: Equações e constantes determinadas pelo os autores citados no Referencial Teórico.

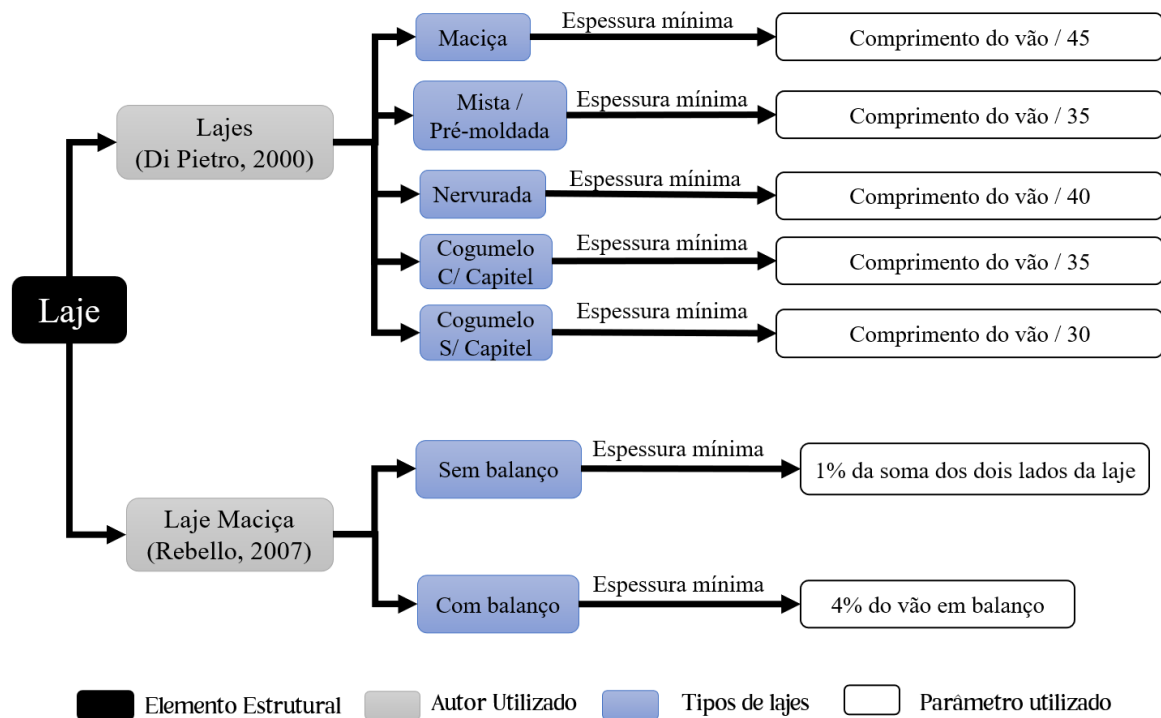
Um exemplo desse caminho é o pré-dimensionamento do pilar que o resultado pelo os autores apresenta a área da seção transversal, logo o aplicativo oferece a possibilidade de obter as dimensões em x e y (dos dois lados), sendo elas limitadas e parametrizadas segundo a norma,

exigindo em certos casos uma majoração das forças já citadas no item 2.1 desse artigo, obtendo assim um valor ainda mais preciso.

Cada peça estrutural necessita de um cálculo diferente, pois apresentam funções diferentes para a concepção, no quesito pré-dimensionamento cada autor apresenta uma equação ou forma distinta para obter o resultado de uma mesma peça, e com isso houve uma necessidade de escolha de um deles, sendo ela feita com finalidade de trazer facilidade e precisão, com isso para cada peça estrutural foi determinado com base em um ou mais autores.

Para laje foi determinado dois caminhos, um com vários tipos de lajes, e outro com foco em laje maciça, sendo respectivamente, de Di Pietro (2000), e de Rebello (2007), onde os autores expõe equações com propósitos de facilidade, tornando o aplicativo mais objetivo. No diagrama representado na figura 3 ilustra os parâmetros utilizados na aplicação de acordo com cada tipo de laje e os dois autores escolhidos.

Figura 3 – Diagrama dos parâmetros do aplicativo para laje



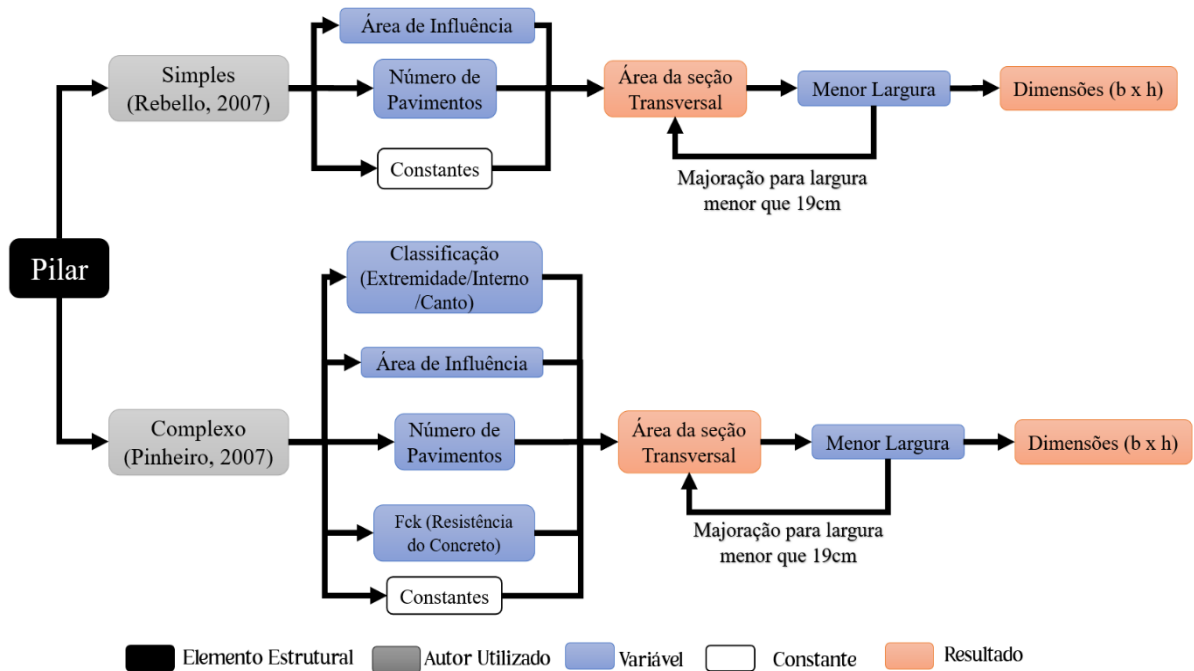
Para os pilares foi introduzido dois métodos, tanto o de Rebello (2007), quanto o de Pinheiro (2000), pois cada um tem suas peculiaridades e objetivos. Com a utilização de dois modelos um simples e outro mais complexo, o aplicativo se torna mais completo atendendo a finalidade de obter resultado com pouca variável, e o outro de precisão utilizando mais variáveis.

O método simples, de Rebello (2007), apenas utiliza a área de influência e a quantidade de pavimentos, obtendo a área da seção transversal. O método complexo, de Pinheiro (2007),

necessita da classificação do pilar (extremidade, canto ou interno), área de influência, quantidade de pavimentos e a resistência do concreto, obtendo também a área da seção transversal.

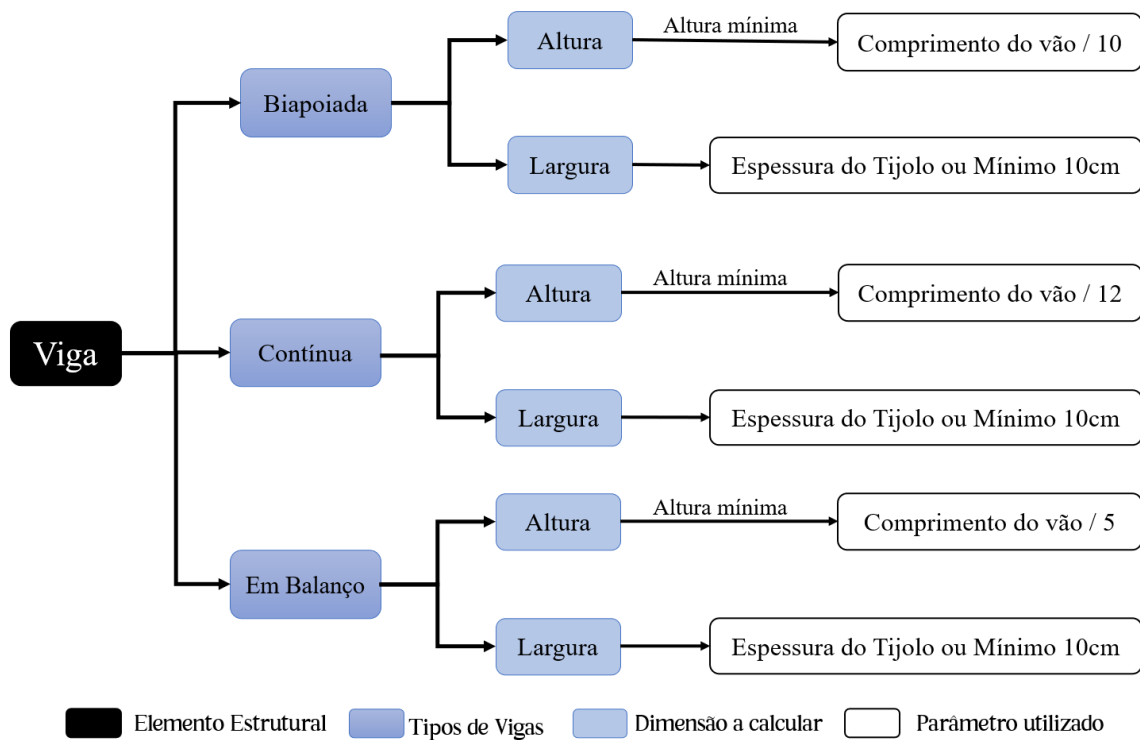
Para isso o aplicativo oferece a opção de simular as dimensões, solicitando o valor da menor largura e fazendo a majoração se necessário; o diagrama da figura 4 além de tornar visualmente mais fácil as variáveis, ele representa o acréscimo da carga com base na dimensão.

Figura 4 – Diagrama de variáveis e constantes do aplicativo para pilar



Para a altura das vigas, dois métodos apresentam parâmetros que se convergem tanto o de Pinheiro (2007), quanto o de Di Pietro (2000). Para a largura, os autores indicam utilizar a largura do tijolo como base, porém a NBR-6118 (2014) a limita para o mínimo 10 cm. O diagrama da figura 5, faz uma representação gráfica da introdução dos conceitos no aplicativo.

Figura 5 – Diagrama de representação do aplicativo para vigas



4 SOFTWARE DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A aplicação realizada pelo o sistema de criação de softwares celulares GLIDE APPs (2021), via *website*, onde ele abrange da construção e publicação, possibilitando a criação da estrutura, *layout*, programação, aparências e upgrades. O sistema foca em uma plataforma com 3 ramos: Base de dados, *layout* e ação das programações, aparência.

Glide APPs (2021) é um *website* de fins empresariais ou educacionais, com a finalidade de propor a empresas a imersão dos seus empreendimentos dentro dos aparelhos eletrônicos celulares. Torna possível a criação de *software* Android ou IOS, por interação entre bases de dados e programações *script* já escritas, facilitando tanto desenvolvimento do aplicativo, quanto a introdução de ações desejadas.

O *website* da oportunidades de conversão de outras planilhas com dados já existentes, para o seu banco de dados, facilitando assim criação de aplicativos para aqueles que já possuem elementos informativos, um exemplo comum são: dados dos clientes de uma empresa transcritos em uma planilha, convertendo para o banco de dados do *software*, podendo se tornar um campo de busca facilitado, ou como uma ferramenta de gestão, sendo acessados e alterados pelo os clientes remotamente, sem que necessite de suporte da empresa.

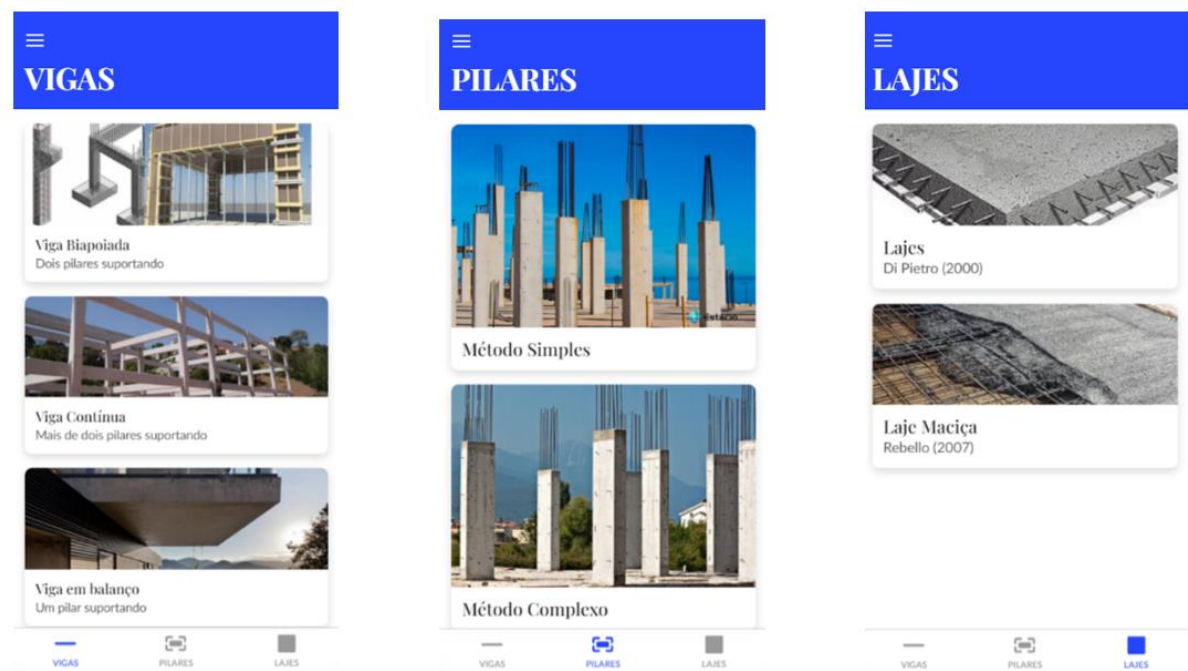
Com auxílios de alguns recursos de criação já programados pelo o *website*, o criador de sites torna o caminho muito interativo e prático, onde seu resultado fica em tempo real atualizando, e demonstrativo para correções.

O banco de dados do projeto foi criado dentro do sistema, assim como os códigos de programação e fórmulas bases do cálculo dos dimensionamentos, com fundamentos das normas e de autores citados no presente artigo.

Nisso, para criação dos cálculos foi utilizado a guia do banco de dados, onde foi criado células de planilha sem comando e outras com, utilizando ferramenta *match* (que dá a oportunidade de formular uma equação) e a função *if-then-else* (para criação de parâmetros de relação, sendo elas de afirmação, negação, “se for”, “se não for”, “menor que”, “maior que”, igual). As outras guias do site, foi utilizada para o layout e aplicar ações das informações.

As janelas de interação, apresenta peças construtivas diferentes, e dentro delas os tipos e característica para pré-dimensionar. Como pode ser visto e representadas nas figuras 6, 7, 8 e 9.

Figura 6 – Layout inicial do aplicativo: Vigas, Pilares e Lajes.



Fonte: Adaptado pelo o site GlideApps (2021)

A figura 6 é uma imagem virtual do software nos dispositivos celulares, nela apresenta o layout inicial de cada peça estrutural, indicando os pré-dimensionamentos existentes ou métodos para seguir os cálculos, onde cada um apresenta ou a junção das ideias de cada autor ou a divisão dos mesmos.

Figura 7 – Layout do aplicativo: Guia Viga Contínua.



Fonte: Adaptado pelo o site GlideApps (2021)

Na figura 7 é uma guia da viga contínua com variáveis (valores) estabelecidas, obtendo assim resultados de pré-dimensionamentos da peça, no layout há várias apresentações de comandos e textos, sendo exemplificados por:

- 1- Variável 1: comprimento do maior vão, ou distancia maior entre dois pilares. Estabelecendo um valor limite de 0 á 12 metros, para limitar valores irrealis para o concreto armado e calculistas;
- 2- Resultado 1: valor da altura da viga. Com limite de 30 cm segundo as normas e parâmetros citados no referencial teórico;
- 3- Variável 2: tipo de tijolo utilizado segundo sua largura;
- 4- Resultado 2: valor da largura da viga. Com limite de 10 cm segundo as normas e parâmetros citados no referencial teórico;
- 5- Aviso: alerta estabelecido para escolha de vigas com larguras menores que 12 cm, de lançamento, vibração e outras restrições conforme a NBR:14931 (2004), conforme citado no referencial teórico;
- 6- Guia de Pesquisa: barra de “buscar mais sobre o assunto”, para caso alguma dúvida em relação a peça ou sua concepção.

Figura 8 – Layout do aplicativo: Guia Pilar Simples e Complexo.



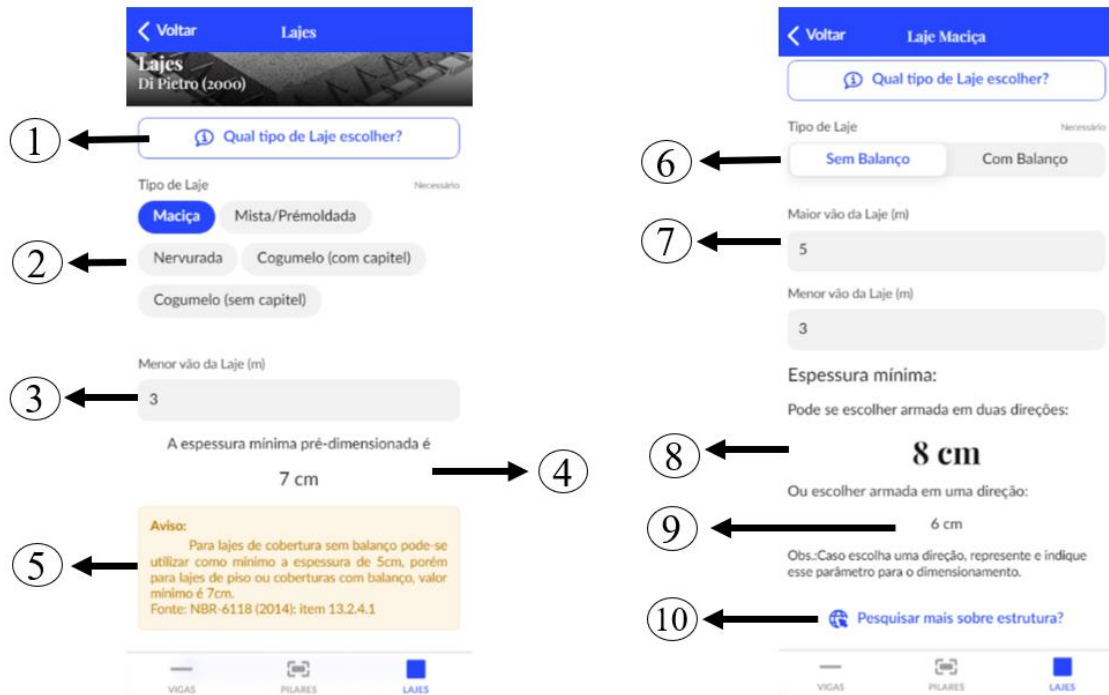
Fonte: Adaptado pelo o site GlideApps (2021)

Na figura 8 apresenta duas guias, tanto do pilar no método simples, quanto do pilar no método complexo, seus comandos e textos são expressos por:

- 1- Variável 1: área de Influência. Apresentando um valor máximo de 36m², para limitar valores irrealis para o concreto armado e calculistas;
- 2- Guia de Pesquisa: função para levar a outra guia onde explica o que é, e como obter a área de influência pelo o projeto arquitetônico;
- 3- Variável 2: quantidade de pavimentos, sem considerar com o pavimento cobertura, pois nos cálculos já estão sendo contados;
- 4- Resultado 1: valor da área da seção transversal. Com limite mínimo de 360 cm² segundo as normas e parâmetros citados no referencial teórico;
- 5- Variável 3: menor largura a ser adotado para o pilar. Com limitação de no mínimo 14 cm, havendo majoração segundo a norma citada no referencial teórico;
- 6- Aviso: alerta sobre a largura adotada, pois se o valor menor que 19cm apresentará majorações para os esforços, segundo a norma citada no referencial teórico;
- 7- Resultado 2: valor de cada dimensão sendo resultado da divisão da área da seção transversal, com majoração se necessario;
- 8- Pesquisa: barra de “buscar mais sobre o assunto”, para caso alguma dúvida em relação a peça ou sua concepção;
- 9- Imagem: imagem para representação gráfica da classificação do pilar, facilitando a identificação do tipo;

10- Variável 4: classificação do pilar para extremidade, canto ou interno, onde cada um apresenta um valor de majoração diferente, estabelecido pelo os autores citados no referencial teórico.

Figura 9 – Layout do aplicativo: Guia de Lajes e Laje Maciça.



Fonte: Adaptado pelo o site GlideApps (2021)

Na figura 9 apresenta duas guias, tanto de lajes, quanto de laje maciça, cada uma apresenta peculiaridade diferentes, citados na metodologia desse artigo, onde seu layout é explicado por:

- 1- Guia de Pesquisa: função para levar a outra guia onde explica os tipos de laje e onde se aplica cada uma;
- 2- Variável 1: tipos de lajes, que são apresentadas pelo o autor Di Pietro (2000), citado no referencial teórico;
- 3- Variável 2: Menor vão da laje. Limite de 0 á 16m, com intuito de limitar valores irrealis para o concreto armado e calculistas;
- 4- Resultado 1: espessura mínima calculada seguindo limites estabelecidos pela NBR 6118:13.2.4 (2014), citado no referencial teórico;
- 5- Aviso: alerta apresentado para escolha de lajes maciças, onde a espessura mínima pode alterar se caso for cobertura e não haver balanço, dados citados no referencial teórico;
- 6- Variável 1 da outra guia: tipo de laje maciça, sendo ela com balanço ou sem, que são apresentadas pelo o autor Rebello (2007), citado no referencial teórico;

7- Variável 2 da outra guia: valor do lado maior da laje, apresentando erro caso o valor apresentado maior seja menor que o outro lado solicitado. Limite de 0 á 16m, com intuito de limitar valores irreais para o concreto armado e calculistas.

8- Resultado 1 da outra guia: espessura mínima para escolha de armaduras nas duas direções, calculada por o autor referente, seguindo limites normativos, citados no referencial teórico;

9- Resultado 2 da outra guia: espessura mínima para escolha de armaduras em uma direção, calculada por o autor referente, seguindo limites normativos, citados no referencial teórico;

10- Pesquisa: barra de “buscar mais sobre o assunto”, para caso alguma dúvida em relação a peça ou sua concepção;

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o âmbito da construção civil a utilização de *software* para agilizar o processo é algo que na atualidade não se veem diferente, por questões de facilidade, correção e ter uma solução rápida, torna prático o processo de projetar e de executar. Alguns programas focam mais em trazer uma gestão melhor, outros de obter valores mais precisos nos cálculos. A finalidade de um aplicativo para pré-dimensionar é trazer acima de tudo praticidade para os projetistas, com intenção de diminuir a má compatibilização dos projetos e retrabalhos no setor arquitetônico e estrutural.

A ideia de ter uma informação objetiva sempre que quiser na palma da mão, é para muitos algo desejável, portanto, ter uma estimativa de uma estrutura, sendo ela calculada com pouca informação e com limitações exigidas pelas normas, torna o anteprojeto mais efetivo e completo.

No entanto o *software* é apenas uma restrição de informações segundo as normas e autores do âmbito, onde mesmo propondo praticidade para os profissionais da construção, não deve ser negligenciado o bom senso, e dimensionando confiando cegamente nisso, pois a programação apresenta uma solução em comum a um nicho de casos, sendo que em um projeto estrutural deve-se levar em conta toda a análise da concepção, pois as peças exercem influência uma sobre a outra, não havendo dimensionamento baseado em uma peça individual.

O intuito do aplicativo é está sempre em atualizações segundo as normas vigente em relação a concreto armado e afins. Objetivando outros alvos, como padrões de construção (dimensões de ambientes, normas de acessibilidade) e pré-orçamentos (cálculo básico do custo da obra, quantidade prévio de alguns materiais). Além de propor ferramentas para efetivar o pré-dimensionamento, como apresentar uma planilha com os elementos já calculados, disponibilizando a função de impressão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14931**. Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, maio 2004.

AUFIERI, F. A. **Diretrizes para o Dimensionamento e Detalhamento de Pilares de Edifícios em Concreto Armado**. 1997.146f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo 1997.

DI PIETRO, J. E. **O conhecimento qualitativo das estruturas das edificações na formação do arquiteto e do engenheiro**. Tese de doutorado Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

GIONGO, J.S. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GLIDE: create apps & websites without code. GLIDE APPS, 2021. Disponível em: < <https://www.glideapps.com/>>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

MELO, P.R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. Tese de Mestrado Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos/SP, 2007.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

REBELLO, Y. C. P. **Bases para projeto estrutural**. São Paulo: Zigurate Editora, 2007.